OLINTO RODRIGUES DE ARRUDA JUNIOR

**Planejamento tático da produção agroindustrial com fluxo divergente e produção em
dois estágios**

São Paulo

2014

OLINTO RODRIGUES DE ARRUDA JUNIOR

Planejamento tático da produção agroindustrial com fluxo divergente e produção em dois estágios

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção

Orientador: Prof. Dr. Miguel Cezar Santoro

Área de concentração: Engenharia de Produção

São Paulo

2014

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, de junho de 2014.

Assinatura do autor _____

Assinatura do orientador _____

Catlogação-na-publicação

Arruda Junior, Olinto Rodrigues de

Planejamento tático da produção agroindustrial com fluxo divergente e produção em dois estágios. / O.R. de Arruda Junior. - --versão corr. -- São Paulo, 2014. 140 p.

Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Produção.

1. Planejamento de Produção 2. Frigoríficos 3. Indústria de Alimentos I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Produção II.t.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Olinto Rodrigues de Arruda Junior

Planejamento tático da produção agroindustrial com fluxo divergente e produção em dois estágios

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção do título
de Mestre em Engenharia de Produção

Área de concentração: Engenharia de Produção

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus em primeiro lugar, pela força, motivação e inspiração concedida para tornar possível a conclusão deste trabalho.

Aos meus pais, Olinto e Suzana, a quem tenho procurado seguir como exemplo de integridade, pela minha criação, educação e formação básica. Agradeço também à minha irmã Juliana e à minha avó Therezinha pelo apoio em São Paulo.

Ao meu orientador, professor Miguel Cezar Santoro, pela confiança depositada em mim, pelos ensinamentos, pela paciência e pelas várias horas despendidas junto a mim no decorrer desta pesquisa.

Agradeço aos professores Marco Aurélio de Mesquita e Rodrigo Gonçalves pelas informações, críticas e dicas sugeridas durante o exame de qualificação.

Às pessoas do meu ambiente de trabalho por prestarem informações valiosas que foram imprescindíveis na elaboração desta pesquisa, e pelo apoio durante os momentos em que precisei me ausentar.

À Escola Politécnica da Universidade de São Paulo pela oportunidade oferecida a mim de realizar este curso de mestrado. Agradeço também aos professores e funcionários da Universidade de São Paulo que forneceram ensinamentos e cooperaram para o enriquecimento deste trabalho.

Obrigado a todas as pessoas que de alguma forma acompanharam o desenvolvimento desta dissertação e colaboraram com sugestões, informações ou paciência durante os momentos dedicados à realização desta pesquisa.

RESUMO

O planejamento tático da produção é importante para as organizações pois permite um correto dimensionamento dos recursos produtivos, para garantir um atendimento adequado da demanda, e influencia nas decisões de produção em médio prazo buscando soluções que colaborem positivamente no resultado operacional. O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um modelo de planejamento agregado da produção para aplicação na indústria da carne suína que contemple simultaneamente as atividades finais da produção agropecuária e o ambiente de produção da indústria frigorífica. O modelo proposto contempla um sistema produtivo em dois estágios onde o primeiro estágio apresenta um fluxo divergente de produção envolvendo coprodução e o segundo estágio consiste em uma linha de montagem. O sistema apresentado é composto por uma sequência de rotinas de programação, utilizadas para a geração dos dados de entrada e um modelo matemático baseado em programação linear inteira mista cuja função objetivo é maximizar a margem global. As rotinas para geração de dados de entradas foram programadas em *Visual Basic For Application* e chamadas de Programa de Geração de Padrões. O modelo de programação matemática foi implementado no software LINGO e suas interfaces com as planilhas do Microsoft Excel. A aplicação do modelo para verificação utilizou dados adaptados de uma empresa envolvida no setor e os resultados obtidos permitiram testar a consistência do modelo para a situação específica. A análise dos resultados demonstrou que o modelo gera soluções que estão alinhadas com os objetivos da organização e responde adequadamente a variações nos dados de entrada.

Palavras chave: Planejamento Agregado da Produção; Programação Matemática; Indústria Frigorífica; Fluxo de Produção Divergente.

ABSTRACT

The tactical planning activities are very important for an organization since it allows an anticipated administration of production resources in order to meet the demand and also because it suggests medium term production decisions that can contribute positively to the operational results of the company. This work aims to develop an aggregate production planning model for the pork industry which takes into consideration factors in the meat processing plant as well as in the final step of farming activities. The presented model approaches a two stage production system where the first stage is characterized by a divergent production flow involving coproduction and the second stage is an assemblage line. The entire system is composed by a sequence of routines used to generate some parameters and a mathematical formulation based on mixed integer linear programming in which the objective function aims to maximize the global margin of the organization. The routines used to generate the parameters were implemented in Visual Basic for Application and were called Pattern Generation Program and the mathematic programming were implemented in LINGO and its interfaces with worksheets of Microsoft Excel. The verification of the model used adapted data from a real company in this industry and could test its consistency for this specific situation. The analyzed results demonstrated that the model generates good solution that contribute to the global objective of the company and the model results response to the changes in the parameter as expected.

Keywords: Aggregate Production Planning; Mathematical Programming; Meat Processing Industry; Divergent Process.

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

LISTA DE TABELAS

LISTA DE FIGURAS

1. Introdução	13
1.1. Histórico e apresentação da indústria	14
1.2. Definição do objeto de estudo	16
1.3. O Problema	17
1.4. O objetivo	18
1.5. A relevância do tema	19
2. Revisão Bibliográfica	21
2.1. Planejamento Programação e Controle da Produção	21
2.2. Planejamento Agregado de Produção (PAP)	23
2.3. Modelos básicos aplicados ao nível tático do PPCP	24
2.4. Aplicações de modelos PAP em sistemas reais.....	32
3. O processo produtivo.....	35
3.1. Descrição do processo produtivo de criação	35
3.1.1. Reprodução e o fluxo produtivo das granjas	35
3.1.2. Recria de leitões	38
3.1.3. Terminação.....	38
3.2. Descrição do processo produtivo na indústria frigorífica.....	39
3.2.1. Abate	39
3.2.2. Resfriamento	45
3.2.3. Processamento	46
3.2.4. Embalagem.....	50
4. O Modelo.....	52

4.1. O modelo conceitual	52
4.2. Programa de Geração de Padrões de Corte	58
4.2.1. Cadastro de cortes para o PGP	59
4.2.2. O programa.....	61
4.3. Formulação Matemática	67
4.3.1. Conjuntos	67
4.3.2. Variáveis de decisão.....	67
4.3.3. Parâmetros	68
4.3.4. Expressões matemáticas	69
4.3.5. Função Objetivo	71
4.3.6. Restrições	71
5. Resultados.....	80
5.1. Dados de entrada para o cenário base	80
5.2. Implementação.....	86
5.3. Resultados do cenário base	87
5.4. Análises de Sensibilidade	94
6. Conclusões e considerações.....	103
7. Referências Bibliográficas.....	105
APÊNDICES	109

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Padrões de rendimento ilustrativo para animais da fase k=1 (98 kg).....	56
Tabela 2. Oferta inicial de animais vivos para abate na primeira semana de planejamento e taxa de incremento (α).	80
Tabela 3. Custo de aquisição de animais para abate posto na planta frigorífica, nas quatro fases e para as dezesseis semanas, em unidades monetárias por kg (\$/kg).	81
Tabela 4. Exemplo de previsão de demanda e custos de falta para alguns produtos nas três primeiras semanas.....	82
Tabela 5. Capacidade horária semanal dos recursos e custo da hora extra.	85
Tabela 6. Agrupamento de produtos quanto ao modo de estocagem e capacidade disponível.	86
Tabela 7. Animais ofertados por faixa de peso (k) em quilos de peso vivo nas oito primeiras semanas.....	88
Tabela 8. Animais processados por faixa de peso (k) em quilos de peso vivo nas oito primeiras semanas.....	88
Tabela 9. Ociosidade dos recursos nas oito primeiras semanas	88
Tabela 10. Horas extras utilizadas em cada recurso nas oito primeiras semanas.....	89
Tabela 11. Geração de cortes no Estágio I nas oito primeiras semanas	90
Tabela 12. Estoque de cortes ao final de cada semana.....	91
Tabela 13. Produtos acabados produzidos nas oito primeiras semanas em quilos.....	92
Tabela 14. Estoque de produtos acabados ao final de cada semana.....	93
Tabela 15. Projeção de resultados financeiros no período de dezesseis semanas para os quatro cenários da análise de sensibilidade	102

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Visão geral do PPCP (adaptado de Davis <i>et al.</i> 2001).....	22
Figura 2. Ciclo reprodutivo das matrizes suínas.....	36
Figura 3. Curva de crescimento dos animais em terminação	38
Figura 4. Fluxo resumido do abate de suínos	45
Figura 5. Cortes primários principais da meia-carcaça suína.....	47
Figura 6. Fluxograma e estruturas produtivas de uma planta frigorífica para o processamento de suínos	51
Figura 7. Passagem de fases dos animais em quatro semanas.	52
Figura 8. Árvore de decisão ilustrativa no fluxo divergente de produção.....	53
Figura 9. Esquema simplificado de produção em dois estágios.	55
Figura 10. Esquema conceitual do sistema produtivo global	57
Figura 11. Representação de decomposição da carcaça (árvore de decisão hipotética).....	58
Figura 12. Estrutura principal após adaptação para o PGP – exemplo hipotético.....	60
Figura 13. Estruturas secundárias após adaptação para o PGP – exemplo hipotético.....	61
Figura 14. PGP - Fluxograma do algoritmo para determinar nPad	63
Figura 15. PGP - Fluxograma do algoritmo das rotinas principais 1, 2 e 3.	65
Figura 16. PGP – Fluxograma do algoritmo da rotina principal 4.	66
Figura 17. Composição média de custos dos produtos acabados em percentual.	83
Figura 18. Previsão de preços para os produtos 16, 26, 55 e 59 para as dezesseis semanas de planejamento.....	84
Figura 19. Previsão de demanda para $i=9$ nas dezesseis semanas.....	93
Figura 20. Equilíbrio entre estoque e produção para atender a demanda sazonal.....	94
Figura 21. Níveis de produção e falta para os produtos $i=55$ e $i=60$ – Cenário Base	95
Figura 22. Níveis de produção e falta dos produtos $i=55$ e $i=60$ - Aumento da capacidade de $r=3$	95
Figura 23. Ociosidade do recurso $r=3$ nas dezesseis semanas – Aumento da capacidade de $r=3$	96
Figura 24. Níveis de produção de $i=34$ nas dezesseis semanas – Aumento de capacidade em $r=3$	97
Figura 25. Níveis de produção de $i=34$ e $i=57$ nas dezesseis semanas – Aumento de capacidade em $r=3$ e aumento de preço em $i=57$	98
Figura 26. Comparação entre a falta do produto $i=32$ entre os cenários, base e com a demanda de $i=31$ elevada, para as dezesseis semanas.	99

Figura 27. Comparativo de horas extras no abate para os dois cenários durante as dezesseis semanas.....	100
Figura 28. Percentual de produção de carcaças nos dois cenários para as dezesseis semanas	101

1. Introdução

O planejamento agregado da produção (PAP) é uma das atividades da função planejamento programação e controle de produção (PPCP) competente à ligação entre os níveis estratégicos e táticos de uma organização. Essencialmente o PAP se incumbirá de definir o que, quando e quanto produzir, quanto e quando estocar e como produzir. Modelos matemáticos abordando o problema do PAP são estudados na literatura desde a década de 1950 (Wagner e Whitin, 1958). Basicamente, as abordagens desses modelos consistem na determinação do nível de produção, estoque e força de trabalho, bem como, a utilização da capacidade, para atender uma demanda flutuante.

Diversas indústrias foram tema para aplicação de modelos PAP na literatura, cada qual com suas peculiaridades e variações. Hax e Candea (1984) demonstram que os modelos evoluíram a partir de um problema básico contemplando um único centro de produção, múltiplas famílias de produtos, produção em único estágio e custos de produção e mão-de-obra constantes para modelos mais complexos envolvendo um ou mais dos fatores a seguir: múltiplas localidades (produtiva e de distribuição), múltiplos pontos de demanda, sazonalidade de custos, múltiplos estágios e demanda estocástica.

Esta dissertação possui a característica de uma pesquisa empírica prescritiva, ou seja, um modelo analítico será proposto para uma situação real com o intuito de sugerir decisões racionais, teoricamente melhores que as decisões intuitivas.

A presente pesquisa se ocupará do emprego da modelagem matemática para o Planejamento Agregado de Produção (PAP) na agroindústria da carne suína. As principais particularidades desta indústria em relação às demais são o fluxo de produção divergente, a produção conjunta e os dois estágios produtivos. Além disso, a indústria se depara com flutuações na demanda, nos custos e nos preços de venda. Espera-se com a nova proposta que as decisões resultem em níveis de produção e estoque que estejam mais alinhados com as condições comerciais e a demanda de mercado, e consequentemente, maximizem a margem global da empresa.

Este trabalho foi estruturado em seis capítulos. Na sequência deste primeiro capítulo, será introduzida a indústria estudada com um breve relato de seu desenvolvimento ao longo dos anos e o objeto de estudo delimitado. Posteriormente, o problema da pesquisa será enunciado e em consequência dele os objetivos propostos serão definidos.

O segundo capítulo apresenta uma revisão bibliográfica abordando o tema de planejamento programação e controle da produção (PPCP), exhibe alguns modelos de programação matemática básicos, aplicados ao tema, e discorre sobre trabalhos anteriores semelhantes a esta pesquisa. No terceiro capítulo os processos produtivos são explicados com aprofundamento necessário para a correta compreensão do problema da pesquisa e da modelagem proposta.

No quarto capítulo a modelagem global da pesquisa é apresentada. Inicialmente, modelo conceitual e todas as etapas de sua concepção são detalhadamente explicados. Na sequência, o programa auxiliar que gera dados de entrada do modelo é exibido através de descrições e fluxogramas e, por último, a formulação do modelo matemático é descrita e interpretada.

O quinto capítulo exhibe os dados de entrada, a implementação e os resultados computacionais obtidos com a aplicação do modelo. Neste capítulo também são reveladas as análises de sensibilidade que corroboram para verificar o modelo. Por fim, o sexto capítulo discorre sobre as conclusões e as limitações e sugere extensões relevantes para esta pesquisa.

1.1. Histórico e apresentação da indústria

A criação de animais é uma atividade realizada pelo homem desde a pré-história e se desenvolveu juntamente a agricultura a cerca de 8.000 anos a.C. No Brasil, a introdução dos rebanhos é atribuída a Martim Afonso de Souza e sua comitiva que, ainda nas primeiras décadas do século XVI, trouxeram os gados bovino e suíno para a capitania de São Vicente.

A criação, a obtenção da carne dos animais e o processamento das mesmas para a alimentação da população manteve-se de maneira artesanal e predominantemente em regime de subsistência até o final do século XVIII. Neste modelo, os animais eram abatidos nas propriedades rurais e também nos quintais dos açougues das cidades que estavam surgindo.

Com a urbanização dos países europeus, houve uma preocupação da sociedade em controlar a qualidade da carne que iria abastecer a crescente população das cidades emergentes. Neste cenário, Brantz (2005) relata que surgiram no início do século XIX os primeiros abatedouros públicos, acompanhando a passagem de uma sociedade europeia predominantemente agrária para uma economia industrial. A autora ainda aponta como marco desta tendência a instalação do primeiro matadouro industrial na cidade de Paris em 1818.

A partir do século XIX começaram a surgir também nos Estados Unidos corporações privadas focadas no abate e processamento de animais. Exemplificando este processo cita-se o surgimento do *Union Stock Yards* em 1865 na cidade de Chicago. Os *stocks yards*, consistiam em currais que recebiam animais, por meio de trens e barcos, de grande parte da região central dos Estados Unidos e abasteciam a grande indústria frigorífica que nascia naquela cidade. O produto destas indústrias visava atender a crescente população dos centros urbanos na costa leste americana e também o mercado externo.

No Brasil, o surgimento da indústria frigorífica está ligado à demanda desencadeada pela primeira guerra mundial a partir de 1914. Prado Junior (1980), relata que o conflito na Europa abriu uma oportunidade de mercado para a carne brasileira, sobretudo congelada, a qual foi rapidamente desfrutada por companhias americanas e inglesas. Para atender os padrões de qualidade europeus e permitir o transporte da carne a longas distâncias, surgiram nesse período os frigoríficos industriais do Brasil, nos moldes estrangeiros, com as primeiras plantas sendo construídas em São Paulo e no Rio Grande do Sul.

Logo após o término da guerra a indústria sofreu um enfraquecimento e o mercado de exportação já havia perdido a pujança, no entanto, os moldes industriais instalados no setor frigorífico no Brasil ficaram e foram replicados pelas empresas locais. Prado Junior (1980, p. 340) narra que:

(...)a produção de carne se estabeleceu no Brasil, em bases modernas e amplas, nas vésperas da I Guerra Mundial, por iniciativa de empreendimentos ingleses e norte-americanos (Armour, Swift, Anglo, Wilson), destinando-se originariamente ao fornecimento do mercado europeu. Através de vicissitudes várias, a produção de carne tornou-se hoje, fundamentalmente, uma atividade integrada na vida brasileira, isto é, voltada essencialmente para as necessidades próprias do país e de sua população.

Nota-se que, nesse ponto, a indústria das carnes foi moldada de forma que pudessem processar o animal vivo até a elaboração de um produto final para o consumidor. Em outras palavras, as plantas modernas de suínos, aves e bovinos passaram a transformar o animal vivo em cortes porcionados, linguiças, defumados, bacon e até mesmo pratos prontos, como é o caso de muitas agroindústrias brasileiras.

Na década de 1970, começou a surgir no Brasil um modelo de produção de carne, sobretudo no setor de suínos e aves, verticalizado. Neste modelo, além das atividades de abate e processamento da carne, toda a etapa da criação também é desenvolvida ou controlada pela mesma empresa. Essa integração entre os elos da cadeia produtiva permitiu que a

agroindústria processadora da carne possuísse oferta constante e conhecida de animais para abate, portanto, as decisões no tocante a qual animal e com que peso abater também passou a ser tomada pela indústria.

1.2. Definição do objeto de estudo

O sistema agroindustrial da carne suína contempla as etapas de produção agropecuária, processamento e distribuição. A produção agropecuária envolve a aquisição de insumos veterinários, insumos para a fabricação de rações, os processos de criação dos animais e a logística para entrega dos mesmos na planta de frigorífica. A etapa do processamento contempla as atividades de abate dos animais vivos, a transformação do mesmo em uma grande variedade de produtos comestíveis e não comestíveis e a comercialização destes produtos para o mercado consumidor. Por fim, segue a etapa de distribuição que se incumbe de transportar os produtos até os pontos de consumo e a venda ao consumidor final.

O objeto de estudo desta pesquisa é o planejamento de produção na agroindústria da carne suína, que por sua vez, será representada pela etapa de processamento e parte da produção agropecuária. Não serão abrangidos neste estudo os aspectos relativos à produção de ração e criação dos animais e tampouco os sistemas de distribuição dos produtos derivados.

A indústria frigorífica é caracterizada por processos produtivos que se enquadram na estrutura do tipo V apresentada por Chase e Aquilano (1995), também chamados de processos divergentes. Neste tipo de indústria um pequeno número de matérias primas são transformadas em uma grande quantidade de produtos finais. Esta pesquisa procurará integrar as variáveis de etapa final da produção agropecuária com o ambiente de planejamento de produção da agroindústria frigorífica, levando em consideração este fluxo divergente.

Uma empresa de porte médio será utilizada como representativa deste setor e nela será realizada a coleta de dados e informações para elaboração dos parâmetros do modelo. A produção agropecuária associada contratualmente à empresa fornece cerca de 2860 animais por semana em condições de abate e a planta possui capacidade para processar até 3300 animais por semana.

1.3. O Problema

A agroindústria da carne suína situa-se em contexto muito peculiar no tocante a cadeia de suprimentos. A montante da planta de processamento, a indústria possui um fluxo constante de fornecimento de matéria-prima altamente perecível que são os animais para abate. Esse elo agropecuário que antecede a planta industrial é representado pelos criatórios industriais que em função de sua natureza biológica possui um fluxo ininterrupto de produção.

Em contrapartida, a jusante do processamento, encontra-se um mercado consumidor com preços altamente flutuantes e com demanda inconstante e distinta entre os diversos produtos derivados do animal. Em meio a isso, a etapa do processamento ainda é representada por um sistema de produção em dois estágios onde a primeira fase apresenta-se em um fluxo divergente com coprodução e processamento alternativo. A coprodução ocorre quando uma única matéria prima submetida a um único processo gera dois ou mais coprodutos simultaneamente. Logo, no primeiro estágio são gerados os coprodutos, ou seja, o fruto do desmembramento do animal nesta situação que neste trabalho serão denominados simplesmente cortes.

Neste cenário o desafio do planejamento da produção nesta indústria é encontrar um arranjo das variáveis que mais colabore com os objetivos estratégicos da empresa, podendo minimizar os custos ou maximizar a lucratividade. A premissa básica do planejamento é de que toda a oferta de animal deve ser abatida em algum momento do horizonte de tempo, no entanto, os animais podem ser abatidos em diferentes faixas de pesos com diferentes custos de produção e impactos distintos nos processos industriais. Cabe ao planejamento decidir a quantidade de animais abatidos em cada fase em cada período.

Outra decisão importante refere-se ao fluxo divergente na determinação dos processos a que se submeterão os animais vivos e definirão quais conjuntos de cortes devem ser gerados e em que quantidades em detrimento de outros nos diferentes períodos. Soma-se a isso a definição dos níveis de estoque dos produtos ao final de cada período.

Um dilema que dever ser igualmente explorado está relacionado à estrutura dos produtos compostos de vários cortes com formulações alternativas. Neste âmbito o desafio consiste em determinar quais quantidades de produtos serão transformadas em outros produtos e quais serão os estoques intermediários entre as duas fases de produção para cada período. Adicionalmente outros aspectos devem ser criteriosamente definidos em relação ao uso da capacidade, da política de horas extras entre outras variáveis.

Visto a inexistência de um sistema analítico para amparar essas decisões na maioria das empresas deste setor, verifica-se que os planejadores tomam as decisões intuitivamente ou com critérios muito superficiais.

Geralmente, os níveis de produção e estoque são definidos de modo a atender, dentro do possível, a demanda dos produtos que geram maior margem de contribuição em detrimento dos que geram menores margens. A capacidade é verificada com auxílio de uma planilha eletrônica e eventuais erros são corrigidos na base da tentativa e erro. A definição das fases em que serão abatidos os animais e também a quantidade que serão abatidos também são balizadas em função de gerar a maior quantidade possível dos produtos mais rentáveis.

Como as variáveis deste sistema são muitas, a qualidade do planejamento ficará a cargo da experiência e intuição do planejador e ainda assim dificilmente serão tomadas as melhores decisões. O que se observa na maioria das vezes é que a escolha dos níveis de produção baseadas somente no critério da margem acabam acarretando a geração compulsória de uma grande quantidade de produtos com baixa demanda e conseqüentemente a elevação do nível de estoque destes produtos com impactos nos custos globais da empresa.

Em algumas situações o planejamento falho ainda gera a necessidade da limpeza do estoque de produtos de baixa demanda devido a capacidade de armazenagem ou validade. Neste caso os gestores são obrigados a forçar a venda por meio da redução dos preços, acarretando em prejuízos ainda maiores para a empresa. A deficiência do planejamento desta indústria ainda é observada no alto custo de horas extras em alguns momentos e também da ociosidade na capacidade em outros.

1.4. O objetivo

O objetivo desta pesquisa é desenvolver um modelo de suporte ao planejamento agregado da produção (PAP) para aplicação na agroindústria suinícola verticalizada. Este sistema deverá contemplar as características da produção em dois estágios, do fluxo produtivo divergente e a coprodução. Os questionamentos que o modelo deve responder para cada período do horizonte de planejamento são:

- Qual a quantidade de suínos em cada faixa de peso deverá ser abatida e processada conforme cada padrão industrial?
- Quanto produzir, consumir em processo e estocar de cada corte (semiacabados e matérias primas)?

- Quanto produzir e estocar de cada produto acabado?
- Qual a quantidade de horas extras que deverá ser utilizada em cada centro produtivo?

O modelo terá como função objetivo a maximização das margens globais e contemplará os custos de produção variáveis e de estoque. Adicionalmente almeja-se identificar como o modelo pode contribuir para decisões não só no âmbito tático, mas também estratégico da empresa. Pretende-se ainda neste trabalho preencher o hiato verificado na literatura em relação a modelos de PAP para esta indústria específica e abrir precedentes para modelos que abranjam outras indústrias de produção conjunta e fluxo divergente.

1.5. A relevância do tema

O setor de carnes tem se consolidado como um importante gerador de divisas para o país e figura como um dos maiores empregadores dentro do agronegócio. Dados da SDPI/RS (2012) estimam que somente a cadeia da carne suína seja responsável por cerca de 634 mil empregos e estatísticas da ABIPECS revelam que 517 mil toneladas de carne suína foram exportadas em 2013 gerando para o país receita de 1,35 bilhões de dólares neste período.

A indústria frigorífica em geral, também tem se destacado tanto pela sua alta capacidade competitiva como pelas proporções gigantescas que empresas brasileiras do setor têm tomado. O Ranking das Transnacionais Brasileiras (2010) revela que entre as dez maiores multinacionais brasileiras, duas pertencem ao setor frigorífico. Ainda assim existe uma grande quantidade de empresas neste segmento de porte médio e que respondem pela maior parte da produção de carnes brasileira.

A despeito da importância do setor para a economia brasileira e do destaque de algumas empresas em nível internacional, a atividade é caracterizada por baixa margem agregada aos produtos e mercado altamente competitivo. Portanto, sistemas de apoio que indiquem boas soluções em relação ao planejamento da produção, são essenciais para que essas empresas mantenham-se competitivas no mercado.

É evidente a necessidade da aplicação de modelos PAP para essa indústria, todavia, são poucos os trabalhos na literatura que abordem este tema. Ainda, modelos desenvolvidos para outras indústrias precisam ser criteriosamente adaptados para o setor da agroindústria frigorífica devido à peculiaridade ímpar da área. Nesta conjuntura, espera-se que este estudo

contribua para as organizações empresariais do setor e também para a comunidade científica como um dos predecessores na aplicação do modelo nesta indústria.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Planejamento Programação e Controle da Produção

A área de Planejamento, Programação e Controle da Produção – PPCP – está ligada a administração da produção a qual é uma função da estratégia corporativa de uma empresa. Davis *et al.* (2001) explica que o mercado consumidor molda esta estratégia que por sua vez reflete como a organização vai planejar suas funções (marketing, finanças e produção) a fim de obter uma vantagem competitiva. A administração da produção define como a empresa irá alocar seus recursos produtivos diretos de maneira que atinja os objetivos almejados pela estratégia corporativa.

O sistema de PPCP de maneira geral apresenta uma estrutura hierárquica dividida em três níveis: estratégico, tático e operacional. O nível estratégico ocupa-se do planejamento de longo prazo, ou seja, com horizonte superior a doze meses, em geral de vários anos à frente. Neste nível são definidas as metas gerais da empresa de maneira mais agregada. Segundo Davis *et al.* (2001), os elementos do planejamento estratégico englobam a delimitação das linhas de produtos que serão produzidas, os níveis de qualidade, a estratégia de precificação e as metas de penetração no mercado para os próximos dois ou três anos.

O nível tático é caracterizado pelo plano de produção de médio prazo, onde o horizonte de planejamento cobre o período de até doze meses. Neste nível, encontram-se o planejamento agregado de produção, a previsão de vendas por família, o programa mestre de produção (PMP) e o planejamento grosseiro da capacidade (Rough-Cut Capacity Planning - RCCP).

Por sua vez, o chamado plano de curto prazo é integrante do nível operacional e nele serão tomadas as decisões na esfera semanal ou diária. Neste plano, encontram-se o Planejamento das Necessidades de Materiais (*Material Requirements Planning* – MRP), o planejamento das necessidades de capacidade, a programação de montagem final, e os controles da produção (controle de atividades e controle de planejamento de compras).

De acordo com Lustosa e Nanci (2008) cada um dos níveis de planejamento orienta e restringe sucessivamente o planejamento do nível inferior. A figura 1 ilustra a visão geral das atividades de planejamento, programação e controle da produção (PPCP) dentro de uma estrutura hierárquica.

Figura 1. Visão geral do PPCP (adaptado de Davis *et al.* 2001)

Conforme discutido anteriormente, o nível tático é aquele que se ocupa do planejamento de médio prazo. O plano agregado faz a ponte entre o plano estratégico e o plano tático. O programa mestre de produção por sua vez, faz a ponte entre os níveis tático e operacional. A previsão de demanda por itens fornece insumos básicos para a determinação do programa mestre de produção. Por último há o planejamento grosseiro da capacidade que avalia se o programa mestre é ou não viável em função das capacidades semanais.

2.2. Planejamento Agregado de Produção (PAP)

O planejamento agregado é a atividade do PPCP que fornece a ligação básica entre os planos estratégicos e o plano tático de médio prazo. Davis *et al* (2001) elucida que este planejamento define a produção mensal ou trimestral para as principais famílias de produto levando em consideração as horas trabalhadas em cada período. O intuito do planejamento agregado é encontrar uma combinação dos níveis de mão-de-obra mensal ou trimestral e dos níveis de estoque para esses mesmos intervalos que minimizem os custos totais de produção.

Para Corrêa *et al.* (2001), uma das principais virtudes no responsável por este planejamento é fazer a correta agregação de produtos. A definição de famílias de produtos para efeito de planejamento é distinta da família de produtos na esfera comercial. Na primeira agregação, os produtos correspondentes a uma mesma família, geralmente são aqueles que consomem os mesmos recursos produtivos, já a agregação comercial é uma questão de aplicabilidade do produto final.

Na mesma lógica encontrada no relato de Corrêa *et al.* (2001), o processo de agregação deve ser realizado, levando em consideração também o fluxo de produção e os métodos de obtenção do produto. Em alguns casos, como será observado nos capítulos adiante, a própria agregação dos produtos em família deixa de ter sentido e opta-se por trabalhar com itens de produto.

Segundo Lustosa e Nanci (2008) “o propósito do planejamento agregado é garantir que os recursos básicos para a produção estarão disponíveis, em quantidades adequadas, quando for decidir sobre quanto produzir de cada produto, antes mesmo que tal decisão seja tomada”.

A previsão de demanda (ou vendas) é um dado de entrada fundamental para o planejamento agregado. Basicamente, existem três estratégias de planejamento intimamente ligadas à demanda. A primeira é a de acompanhamento da demanda e caracteriza-se por balancear os níveis de produção para cada período de modo que esteja em pleno equilíbrio com a demanda. Nesse tipo de estratégia as horas trabalhadas, as admissões e demissões de funcionários variam em função da demanda por produtos.

A segunda estratégia comumente adotada é a da produção estável. Neste tipo de estratégia o nível de produção permanece constante e o que varia são os níveis de estoque, ou

seja, ele acumula nos períodos de baixa demanda e desova nos períodos de demanda intensa. A decisão de uma organização, no que tange a qual estratégia utilizar, está relacionada a diversos fatores particulares, com destaque para: o tipo de produto, o fluxo de produção, os custos de mão de obra e os custos de estocagem.

Existe ainda uma terceira estratégia chamada estratégia mista. Nesta, procura-se encontrar um ponto de equilíbrio entre estoque, custos com mão-de-obra, custos de horas extras e custos com demissão e admissão de funcionários. Esta estratégia mistura um pouco das duas estratégias anteriores e é particularmente nesta que cabem os modelos matemáticos de otimização aplicados ao planejamento da produção.

Um importante conceito que deve ser definido no tocante às atividades de PPCP é o do horizonte de planejamento rolante. Neste conceito, se planeja para os T períodos (de 1 a T) e ao final de cada período $t=1$ substitui-se as última previsões por valores efetivos do período e se faz novamente o planejamento para os próximos períodos de $t=2$ a $T+1$. Isto implica que, o planejamento efetivo é feito para um período ($t=1$) levando em consideração os demais períodos futuros.

No tópico a seguir serão discutidos alguns modelos de programação matemática aplicados para o planejamento agregado na manufatura.

2.3. Modelos básicos aplicados ao nível tático do PPCP

As primeiras pesquisas aplicadas a modelagem matemática no planejamento de produção ocorreram ainda nas primeiras décadas do século XX com o *Economic Order Quantity* (EOQ) (Harris, 1990 *apud* Araujo, 2003). Esse modelo incipiente é compreendido por uma única expressão algébrica que garante uma solução ótima para determinar o lote econômico de compra em uma situação onde a demanda é estacionária, os períodos de tempo são contínuos e o horizonte de planejamento é infinito.

Com base no modelo EOQ surgiram demais formulações para trabalhar com os problemas de dimensionamento de lote (*Lot Sizing*). A partir da década de 1950 com o desenvolvimento da disciplina de pesquisa operacional e a publicação do algoritmo simplex de Dantzig em 1947, os modelos foram sofisticados em programação matemática e a

aplicação dos mesmos passou da área do dimensionamento de lotes para as demais áreas do planejamento da produção.

Segundo Arenales *et al.* (2007) os problemas de planejamento de produção podem ser divididos em: problemas de *mix* de produção (planejamento estático), problemas de seleção de processos (planejamento estático) e planejamento de dimensionamento de lotes (planejamento dinâmico), podendo este último ser monoestágio ou multiestágio. Os modelos atuais utilizados para planejamento agregado são fundamentados nos modelos básicos de dimensionamento de lotes monoestágio.

Segue abaixo uma formulação clássica da literatura ilustrada por Arenales *et al.* (2007) para dimensionamento de lotes monoestágio.

Parâmetros:

d_{it} – demanda do item i no período t ;

R_t - disponibilidade de recursos (renováveis) no período t ;

r_i - quantidade de recursos necessários para a produção de uma unidade do item i ;

c_{it} - custo de produzir uma unidade do item i no período t ;

h_{it} - custo de estocar uma unidade do item i no período t .

As variáveis de decisão são:

x_{it} – o número de itens do tipo i produzidos no período t ;

I_{it} – O número de itens do tipo i em estoque no final do período t .

O modelo é dado por:

$$\text{Minimizar } \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T c_{it} x_{it} + \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T h_{it} I_{it} \quad (\text{f.o. 1})$$

sujeito a,

$$x_{it} + I_{it-1} - I_{it} = d_{it}, \quad \forall i = 1, \dots, n, t = 1, \dots, T \quad (1)$$

$$r_1 x_{1t} + r_2 x_{2t} \dots r_n x_{nt} \leq R_t, \quad \forall t = 1, \dots, T \quad (2)$$

$$x_{it}, I_{it} \geq 0, \quad \forall i = 1, \dots, n, t = 1, \dots, T. \quad (3)$$

As restrições (1) são relativas a conservação do estoque. Para cada item i , o nível de estoque no final do período t é igual ao que se tinha em estoque no final do período anterior ($t-1$), adicionado ao montante que foi produzido no período t , menos o que foi demandado no período t . As restrições (2) referem-se a capacidade de produção. A capacidade requerida para a produção dos itens em cada período t não pode superar a capacidade disponível da fábrica. As restrições (3) são para que as variáveis não assumam valores negativos.

Modelos de planejamento agregado com estrutura similar ao supracitado foram desenvolvidos por diversos autores com aplicações a problemas reais. Essencialmente todos esses modelos são uma extensão do modelo de dimensionamento de lotes com a adição de restrições peculiares da indústria estudada.

Uma variação deste modelo com o objetivo de elaborar um PAP é ilustrada por Lustosa e Nanci (2008), onde os dados de entrada do modelo atingem um detalhamento em pouco maior. Segue abaixo adequação do modelo retratado pelos autores.

Parâmetros:

csl_t – custo de salário no período t ;

chx_t – custo de produzir em horas extras no período t ;

cad_t = custo de admitir um funcionário no período t ;

cdi_t – custo de demitir um funcionário no período t ;

h – custo de estoque;

$cons$ – consumo de horas para se produzir uma unidade do produto;

$hnorm$ – horas normais de trabalho por funcionário;

d_t – demanda no período t .

Variáveis de decisão:

Emp_t – empregados em folha de pagamento no período t ;

Hx_t – horas extras utilizadas no período t ;

Ad_t – número de funcionários admitidos no período t ;

Di_t – número de funcionários demitidos no período t ;

EF_t – estoques totais ao final do período t ;

P_t – produção no período t .

$$\text{Minimizar } \sum_{t=1}^n csl_t Emp_t + chx_t Hx_t + cad_t Ad_t + cdi_t Di_t + hEF_t \quad (\text{f.o.2})$$

sujeito a,

$$Emp_t = Emp_{t-1} + Ad_t - Di_t, \quad \forall t = 2, \dots, n \quad (4)$$

$$P_t \leq Cons (Emp_t Hnorm + Hx_t), \quad \forall t = 1, \dots, n \quad (5)$$

$$EF_t = EF_{t-1} + P_t - d_t, \quad \forall t = 2, \dots, n \quad (6)$$

$$Emp_t \geq Emp_{min}, \quad \forall t = 1, \dots, n \quad (7)$$

$$Emp_t \leq Emp_{max}, \quad \forall t = 1, \dots, n \quad (8)$$

$$Ad_t \leq Ad_{max}, \quad \forall t = 1, \dots, n \quad (9)$$

$$Di_t \leq Di_{max}, \quad \forall t = 1, \dots, n \quad (10)$$

$$Hx_t \leq Hx_{max}, \quad \forall t = 1, \dots, n \quad (11)$$

$$P_t, Hx_t, EF_t, AD_t, Di_t \geq 0, \quad \forall t = 1, \dots, n \quad (12)$$

As restrições (4) são referentes ao equilíbrio da quantidade de funcionários entre um período e outro, ou seja, a quantidade de funcionários ao final de um período t é igual a quantidade que havia no período anterior mais as contratações, menos as demissões. As restrições (5) limitam a quantidade produzida em função do consumo incorrido em horas de trabalho para fabricar uma unidade de produto. Em (6) consta o equilíbrio do estoque e produção em função da demanda. As restrições (7) definem o número mínimo de funcionários por período. Em (8), (9), (10) e (11) são limitadas as variáveis a um nível máximo sendo respectivamente, número de funcionários, total de admissões no período, total de demissões no período e total de horas extras no período. Por fim as restrições (12) limitam as variáveis a números positivos.

A função objetivo do modelo ilustrado acima é minimizar os custos com salários, custos com contratações e demissões, custos com horas extras e com estocagem. Ressalva-se que o modelo acima não faz distinção de produtos, mas corresponde a uma base fundamental para os modelos de PAP mais elaborados.

Os modelos iniciais de planejamento evoluíram também em outra direção. Arenales *et al* (2007) ilustra outro modelo clássico da literatura, conhecido como problema de múltiplos itens com restrição de capacidade (*capacitated lot sizing problem*), que é base fundamental para muitos modelos de planejamento.

Parâmetros:

d_{it} – demanda do item i no período t ;

b_i – tempo para produzir uma unidade do item i ;

C_r – capacidade de produção em horas de uma máquina (recurso) no período t ;

sp_i – tempo de preparação de máquina para processar o item i ;

s_i – custo de preparação do item i ;

h_i – custo unitário de estoque do item i ;

I_{i0} – estoque inicial do item i ;

n – número de itens finais;

T – número de períodos do horizonte de planejamento;

M – limitante.

Variáveis do modelo:

x_{it} – quantidade do item i produzido no período t ;

I_{it} – estoque do item i no fim do período t ;

y_{it} – 1 se o item i é produzido no período t , 0 caso contrário.

Função objetivo:

$$\text{Minimizar } \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T (s_i y_{it} + h_i I_{it}) \quad (\text{f.o. 3})$$

sujeito a,

$$I_{it} = I_{i,t-1} + x_{it} - d_{it}, \forall i = 1, \dots, n \ t = 1, \dots, T \quad (13)$$

$$\sum_{i=1}^n (sp_i y_{it} + b_i x_{it}) \leq C_t, \forall t = 1, \dots, T \quad (14)$$

$$x_{it} \leq M_{it} y_{it}, \forall i = 1, \dots, n \ t = 1, \dots, T \quad (15)$$

$$M_{it} = \min\left(\frac{C_t - sp_i}{b_i}, \sum_{t=1}^T d_{it}\right), \forall i = 1, \dots, n \ t = 1, \dots, T \quad (16)$$

$$x \in R_+^{nT}, I \in R_+^{nT}, y \in B^{nT} \quad (17)$$

As restrições (13) se ocupam do balanceamento do estoque de cada item i em cada período t . As restrições (14) expressam que, em cada período t , o tempo total de preparação e produção é limitado pela capacidade disponível. As restrições (15) implicam que $x_{it} > 0$ somente se $y_{it} = 1$. O limitante M_{it} em (16) é o mínimo entre a capacidade restante no período t se i é produzido neste período, e a demanda acumulada do período t ao período T . Em (17) estão delimitados os espaços das variáveis.

É evidente que o modelo apresentado acima seja mais representativo de uma base para problemas de planejamento a nível operacional, como os problemas de sequenciamento de produção. Entretanto, nota-se que muitos modelos desenvolvidos para problemas de planejamento agregado em situações reais também incorporaram a lógica do *capacitated lot sizing problem*.

De modo geral, o planejamento agregado de produção é uma área bastante estudada na comunidade acadêmica, no entanto, nota-se uma forte tendência na pesquisa em problemas estocásticos e métodos de solução destes problemas. Na literatura nacional os modelos publicados seguem basicamente uma mesma linha abordando um leque muito pequeno de indústrias.

Como discutido anteriormente, um planejamento agregado bem concebido é um importante passo para a elaboração do plano mestre de produção. Na sequência, serão relatadas algumas considerações em relação ao plano mestre de produção (MPS) e também serão referenciados alguns trabalhos que abordaram o MPS. O enfoque pontual neste assunto somente é necessário para que fique evidente a facilidade que a presente proposta trará no momento da elaboração do MPS. Os trabalhos envolvendo o PAP, que é o foco desta pesquisa, serão discutidos com mais detalhes no item posterior deste capítulo.

Os estudos envolvendo o planejamento tático da produção geralmente consistem em um modelo de programação matemática para a resolução do plano agregado e uma rotina para a desagregação e a geração do programa mestre de produção. Nesta proposta, Hax e Candea (1984) propõem uma técnica para a desagregação baseada em um modelo que leva em conta a participação histórica de cada produto nas vendas da família.

Corrêa *et al.* (2001) sugerem que o plano mestre seja desenvolvido através do registro básico de MPS para ficarem de acordo com o formato da etapa seguinte do planejamento hierárquico, que é o planejamento das necessidades de materiais (Material Requirement Planning - MRP).

Lustosa e Nanci (2008) relatam que conforme o horizonte de planejamento é reduzido, as demandas previstas devem ser mais detalhadas e algumas até se tornam pedidos firmes. É imprescindível saber neste momento a quantidade precisa de cada item que será vendido nas próximas semanas. Com base nisso, o planejamento deve ter as famílias de produtos desagregadas em itens, e a demanda e a capacidade, desagregadas em semanas, surgindo neste momento o Programa Mestre de Produção (*Master Production Schedule* - MPS).

Lustosa e Nanci (2008) definem que os seguintes parâmetros básicos devem estar disponíveis para entrada no MPS: estoque inicial do período anterior, previsão de demanda desagregada e pedidos firmes dos clientes. Os mesmos autores revelam que são produtos do MPS as seguintes variáveis: estoque projetado por período de planejamento, recebimento do MPS (quando e quanto produzir de cada produto) e o disponível para entrega (*available-to-promise* – ATP).

Outro fator de importância relevante relacionado com o programa mestre de produção é o auxílio que ele apresenta a equipe de vendas de uma organização. Com base nos dados de saída ATP a equipe comercial fica orientada para saber que produto pode ser vendido naquelas datas ou ainda quando o produto estará disponível para a comercialização (Vollmann, 1997).

Entretanto, Zapfel e Missbauer (1992) revelam que o MPS não é o mesmo em todas as organizações. Ele dependerá da natureza competitiva do mercado e da estratégia escolhida pela empresa, ou seja, o plano mestre de produção diferirá de acordo com a estratégia: produzir para estoque, fabricar produtos finais a pedido e produtos intermediários para estoque, ou, desenvolver produtos de acordo com especificações do cliente.

O MPS é normalmente elaborado de forma intuitiva com base na tentativa e erro a partir da desagregação do plano agregado. Dessa forma, o plano deve ser revisado pelo planejamento grosseiro da capacidade, também chamado de RCCP (*Rough-cut Capacity Planning*), e caso esteja em desacordo com a capacidade disponível deve ser reelaborado. Esse ciclo deve ser repetido sucessivamente até encontrar um equilíbrio entre o plano e a capacidade semanal.

Não obstante, alguns autores elaboraram o programa mestre de produção (MPS) a partir de uma programação matemática, como é o caso de Vaccaro *et al.* (2006) e Cassel *et al.* (2006). Neste caso o modelo deve levar em consideração o planejamento grosseiro da capacidade. Assim sendo, a previsão de vendas por item é um dado de entrada para um modelo que engloba tanto o MPS e como o RCCP.

Vollmann *et al.* (1997) salientam que como o MPS considera limitações de capacidade e o desejo de usar a capacidade plena do sistema, alguns itens podem ser produzidos antes de sua necessidade e outros podem não ser produzidos em um período mesmo que houvesse demanda para ele, gerando assim previsão de vendas perdidas.

Chu (1995) desenvolveu um modelo para resolução do problema de programa mestre de produção através da programação matemática baseada no *capacitated lot sizing problem* exposto anteriormente.

Lewis *et al.* (1992) estudaram sistemas de produção contra pedido e encontraram uma dificuldade em trabalhar com a restrição dos recursos e com a dinâmica da demanda dos clientes. Neste estudo foi desenvolvido um modelo misto baseado nos modelos de dimensionamento de lotes com restrição de capacidade com múltiplos itens, multiestágio e com múltiplos objetivos.

Vaccaro *et al.* (2006) também utilizaram modelagem matemática para definir um planejamento de produção na agroindústria. O modelo elaborado foi aplicado em uma indústria frigorífica de aves e envolvia a determinação de *mix* ótimo e com múltiplos objetivos. Neste trabalho o autor também incorporou princípios da teoria das restrições para amparar a metodologia do custeio. Neste trabalho, entretanto, como não haviam estruturas alternativas na corte das aves, não foram utilizadas colunas de padrões de corte para abordar o fluxo divergente. Ainda, os autores não levaram em consideração a curva de crescimento das aves no campo no modelo de planejamento.

A despeito dos autores que trabalharam com programação linear na elaboração do programa mestre de produção destacam-se outros autores que utilizaram outros métodos analíticos. King e Benton (1987) propuseram um modelo baseado em simulação para o programa mestre de produção em uma organização com produção sobre pedido ou ATP. Li et al. (1992) também aplicou um modelo de simulação computacional para a resolução do problema do MPS.

Com base no exposto acima foi possível constatar que a utilização de modelagem nas áreas de planejamento da produção a nível tático é um assunto antigo e já discutido na literatura. Santoro e Mesquita (2004) em um estudo de caso corroboram para a utilização de modelagem aplicada ao nível tático de planejamento, no entanto, constataram baixa utilização de modelos analíticos para as atividades de PPCP a nível operacional dentro das indústrias.

2.4. Aplicações de modelos PAP em sistemas reais

Diversos autores abordaram a aplicação de modelos para suporte do PAP em sistemas reais desde a década de 1980. Aplicações de modelos foram desenvolvidas em Tang *et al.* (1981), Bloemen e Maes (1992), Junqueira e Morabito (2006), Paiva e Morabito (2007), Carvalho (2009), Munhoz e Morabito (2010) e outros inúmeros autores.

Um modelo clássico de planejamento agregado foi desenvolvido por Tang *et al.* (1981) para uma indústria de máquinas pesadas. O modelo de programação linear formulado pelos autores tinha como objetivo minimizar custo da mão-de-obra (definido como variável), custos de contratação e demissão, custos de estoque e custos com venda perdida. Apesar da pequena dimensão, em virtude dos recursos computacionais da época, o modelo foi validado em uma grande companhia e garantiu uma economia superior a 10% nos custos de produção totais.

Bloemen e Maes (1992) desenvolveram um sistema de apoio à decisão para auxiliar no PAP de uma planta de agroquímicos de uma grande empresa. A fábrica estudada produzia herbicidas embalados para o mercado, herbicidas a granel para serem embalados em outras plantas e também produtos intermediários para posterior elaboração em outras plantas da empresa. Os autores modelaram o sistema em dois estágios produtivos, sendo, o primeiro para

fabricação dos produtos a granel e o segundo englobando o processo de embalagem do herbicida.

O sistema de Bloemen e Maes (1992) foi fundamentado em um modelo de programação linear e pretendia equilibrar custos de produção, estoque e de contratação de contêineres para transporte entre as plantas. Para a situação real da fábrica o sistema foi considerado eficaz e além de contribuir para a redução de custos diminuiu também o tempo para a elaboração do planejamento.

A integração entre PAP e distribuição foi proposta por Junqueira e Morabito (2006) em empresas produtoras de sementes de milho, mediante a modelo linear. Como o problema trabalhado envolvia transporte, além dos custos triviais do sistema, o modelo abordou custos tributários com o ICMS (Imposto sobre circulação de mercadoria e serviços). É importante observar que na concepção do sistema de PAP os produtos não foram agregados em famílias, em virtude das características da indústria estudada. Na mesma linha, Proto (2006) também desenvolveu um modelo para planejamento agregado envolvendo produção e distribuição que considerava custos com ICMS para o setor cimenteiro.

Carvalho (2009) construiu um modelo para PAP fundamentado em programação inteira mista para indústria do setor sucroalcooleiro. Como o planejamento envolvia a escolha de processos produtivos para cada período e apenas um processo poderia ser escolhido em cada período, o modelo contemplou variáveis de decisão binárias.

Munhoz e Morabito (2010) apresentaram um comparativo de duas formulações para o planejamento agregado da produção em indústrias de suco de laranja. Uma baseada em programação linear e outra baseada em programação por metas. Os autores trabalharam em uma situação com produção em dois estágios e com oferta de matéria prima sazonal e demanda por produtos acabados flutuantes. Ambas as formulações ofereceram bons resultados, no entanto, como o produto final apresentava um parâmetro de qualidade que deveria ser respeitado dentro de um limite, a programação por metas ofereceu sugestões mais seguras para a tomada de decisão.

Outros modelos de planejamento agregado também foram desenvolvidos para uma situação de incerteza. Geralmente esses problemas trabalharam com demandas incertas, gerando então os modelos estocásticos. A maioria dos estudos, que adotaram esta abordagem na resolução de problemas de planejamento agregado, foram formulados como programação

estocástica e programação estocástica robusta. Entre os trabalhos recentes que utilizaram esta abordagem para planejamento agregado destacamos Silva Filho *et al.* (1995), Paiva e Morabito (2011), Mizapour Al-e-hashem *et al.* (2011).

Mula *et al.* (2005) fazem destaques para modelos que se fundamentam na lógica *fuzzy*. Esses modelos *fuzzy* questionam os modelos estocásticos robustos e fazem uma distinção entre imprecisão e aleatoriedade. Wang e Fang (2001) discutem as limitações dos modelos de programação matemática e propõem um modelo baseado na lógica *fuzzy* para resolver um problema de planejamento agregado com múltiplos objetivos.

Observa-se através das pesquisas que há uma dificuldade para obter soluções ótimas para problemas estocásticos de planejamento agregado em dimensões industriais. Isso implica que a resolução de tais problemas fica a cargo de heurísticas (Al-E-Hashem *et al.*, 2011, Raa *et al.*, 2013) que podem garantir uma boa solução para o problema.

A indústria frigorífica foi alvo de estudos recentes envolvendo o planejamento de produção em Schutz e Tommasgard (2011). A pesquisa foi aplicada a um problema de planejamento agregado na indústria da carne com demanda não determinística, o que resultou em um modelo de programação estocástica. Para abordar a particularidade do fluxo divergente os autores utilizaram padrões de corte. Entrup (2005) já havia utilizados esses padrões para trabalhar o fluxo divergente na indústria de processamento de abate de aves em um modelo de planejamento a nível operacional.

A metodologia desenvolvida na presente pesquisa para abordar o planejamento agregado na indústria frigorífica é embasada nos modelos clássicos da literatura com influências das aplicações recentes de modelos em sistemas reais. Além disso, a pesquisa incorpora conceitos utilizados em Entrup (2005), Cassel *et al.* (2006), Vaccaro *et al.* (2006), e Schutz e Tommasgard (2011). Ainda que, os trabalhos referenciados tenham semelhanças com o presente trabalho por abordarem a mesma indústria e alguns utilizarem os padrões de corte, eles não incorporaram na modelagem a atividade agropecuária em nenhum estágio. Ademais, os padrões de corte utilizados eram muito poucos pois foram empregados no processamento de apenas parte do animal e ao contrário do presente trabalho não utilizaram nenhuma rotina de programação para a geração das colunas desses padrões.

3. O processo produtivo

Este capítulo relata os processos envolvidos na cadeia agroindustrial da carne suína desde a criação até o processamento. A descrição a seguir foi obtida com base nos processos de uma empresa e que se assemelha com a maioria das organizações do setor.

3.1. Descrição do processo produtivo de criação

A evolução tecnológica pressionada pela competitividade e pela necessidade de produção de alimentos a custos baixos modificou a suinocultura moderna de modo que esta passasse a ser realizada nos moldes industriais. O sistema de produção atual permite que as granjas suínícolas garantam uma oferta constante e padronizada de suínos para abate assemelhando o fluxo produtivo a uma linha de produção incessante.

Adiante, segue uma descrição breve do sistema de produção na suinocultura industrial e para efeito desta pesquisa o sistema será dividido em três etapas: reprodução, recria de leitões e terminação.

Tecnicamente e setorialmente existem inúmeras denominações para descrever as estruturas envolvidas na produção e os sistemas empregados na suinocultura moderna e que variam em função da região e da empresa. O intuito da presente pesquisa não é realizar definições conceituais acerca das técnicas modernas aplicadas à suinocultura e, portanto, a descrição que segue abordará em linhas gerais a essência do sistema da suinocultura moderna para uma empresa e que se assemelha aos demais sistemas encontrados e outras partes do Brasil e do mundo.

3.1.1. Reprodução e o fluxo produtivo das granjas

A reprodução é a etapa onde os leitões nascem e recebem os primeiros cuidados para posteriormente serem transformados em animais para abate. Esta etapa é realizada em três estruturas distintas dentro de uma granja sendo: central de inseminação artificial, gestação e maternidade.

Na central de inseminação, apresentam-se os reprodutores machos e é onde realiza-se a coleta do sêmen para preparação das doses que devem atender a demanda semanal para cobertura das reprodutoras fêmeas, as matrizes do plantel. As doses de sêmen são

encaminhadas diariamente para a gestação onde as matrizes são cobertas e onde elas aguardarão até aproximadamente três dias que antecedem a data do parto. A gestação da porca dura em média 114 dias, portanto em condições ideais, as fêmeas devem ser transferidas para a maternidade em 111 dias após a data da cobertura.

Na maternidade é que as fêmeas darão a luz e amamentarão os leitões até que os mesmos completem em média 25 dias de idade (21 a 28 dias) para serem então desmamados. Na ocasião do desmame, os leitões são encaminhados para a creche e as fêmeas são novamente transferidas para a gestação. Do terceiro ao quinto dia após o desmame as fêmeas começam novamente a entrar em cio e, portanto, podem ser cobertas outra vez para iniciar o novo ciclo, melhor representado na figura 2. De modo geral, a cobertura nas fêmeas em produção é realizada em até seis dias após o desmame.

Figura 2. Ciclo reprodutivo das matrizes suínas.

O planejamento e o manejo da reprodução é que define o fluxo produtivo de uma granja e consequentemente a oferta de animais para abate. Na imensa maioria das granjas industriais o plantel de matrizes é dividido em lotes semanais para facilitar a programação e o controle do tráfego das fêmeas entre as estruturas da granja, aumentar a eficiência reprodutiva e também garantir boas práticas sanitárias.

Como pode ser observado nas descrições e na figura anterior, a duração total de um ciclo reprodutivo é de aproximadamente 145 dias ($114 + 25 + 6$) e, como os lotes são semanais, define-se que a granja é dividida em 21 lotes de fêmeas ($145 \div 7 = 20,71$). Para

efeito de planejamento da produção agropecuária, convencionou-se que as fêmeas em granjas de reprodução são sempre divididas em 21 lotes, dessa forma o objetivo de parições da granja é calculado dividindo o número total de matrizes em produção por 21. Logo, em uma empresa que possui um plantel associado de 6.000 matrizes suínas, o número de partos semanais almejados é de 285,7. Para esclarecer este fluxo, segue abaixo conjunto de fórmulas e definições das premissas para o planejamento da granja.

$$NP = N^{\circ} \text{ Matrizes} \div 21$$

Em que,

NP: número de partos por semana;

Nº Matrizes: número de fêmeas em produção no plantel.

$$NC = NP \div TP(\%)$$

Em que,

NC: número de coberturas por semana (quantidade de fêmeas inseminadas);

TP(%): estimativa da taxa de parição da granja, ou seja, qual a porcentagem das fêmeas cobertas que efetivamente parem após 114 ± 2 dias (perdas ocorrem por mortes, fecundação falha ou abortos).

$$LDS = NP * NVF * (100 - Mmat (\%))$$

Em que,

LDS: número leitões desmamados por semana;

NVF: média de leitões nascidos vivos por fêmea em cada parto;

Mmat(%): taxa de mortalidade de leitões na maternidade.

Na empresa estudada pode-se estimar os índices em 90% para TP(%), 11,8 para NVF e 8% para Mmat (%). Dessa forma infere-se que neste sistema, serão necessárias aproximadamente 317 coberturas por semana e serão desmamados (transferidos para a etapa da creche) aproximadamente 3.100 leitões. Com base nas fórmulas apresentadas nota-se que as instalações de gestação, maternidade, creche e terminação, bem como o número de machos reprodutores e a coleta de sêmen, devem estar adequados para atender as necessidades deste fluxo.

3.1.2. Recria de leitões

A recria de leitões, também conhecida como creche, é a fase que sucede o desmame e possui duração de aproximadamente 49 dias. Nesta fase os animais se adaptarão definitivamente com a alimentação a base de ração após o estresse decorrido da ausência do leite materno. O peso da entrada dos leitões da creche situa-se em torno de 6 kg e na ocasião da transferência para a terminação esse valor sobe para 26 kg.

3.1.3. Terminação

A terminação é a fase posterior a creche e apresenta uma duração mínima de 13 semanas (91 dias). Neste período, os animais saltam de 26 kg de peso vivo para 102 kg. Alternativamente, caso haja disponibilidade de instalações, os animais podem ser mantidos em até três semanas seguintes.

Baseados nos dados da empresa, considera-se para efeito de planejamento que não existe a possibilidade de serem mantidos os animais a partir da 16ª semana de terminação devido ao peso limite para processamento (120 kg) e a falta de instalações para manter os animais. Abaixo segue figura 3 ilustrando a curva de crescimento dos animais na etapa da terminação.

Figura 3. Curva de crescimento dos animais em terminação

3.2. Descrição do processo produtivo na indústria frigorífica

3.2.1. Abate

-Recepção dos animais

Esta é a primeira etapa envolvida no processamento dos animais e se inicia a partir do momento em que os animais, oriundos das granjas terminadoras (localizadas em áreas rurais), são transportados em caminhões apropriados até a planta de abate. Os animais são conduzidos para fora do caminhão, por rampas de descarga, até a pocilga de recepção e, neste local, é realizada a pré-lavagem externa, com duchas de água, para remover sujidades superficiais acumuladas na epiderme.

Na sequência é realizada a inspeção *ante-mortem* dos animais pelo Serviço de Inspeção Federal (SIF). Caso os agentes identifiquem sintomas de doenças infectocontagiosas em algum indivíduo, ele é separado dos demais para posterior abate sanitário e à sua carne é dado destino específico, de acordo com o padrão infeccioso.

Após a descarga, a lavagem e a inspeção, os animais são pesados e é aferido o peso vivo do animal. Sobre esse peso é que a indústria pagará ao produtor ou a empresa agropecuária o preço acordado. Não são raras as empresas que aplicam uma correção no preço em função da porcentagem de carne magra aferida na carcaça do animal. Neste caso, a aferição é realizada apenas em etapas posteriores do processo de abate.

Após a pesagem, os animais ficam em jejum hídrico nas pocilgas de espera por um período de no mínimo 8 horas e no máximo 24 horas. Com isso, além de aliviar o estresse sofrido durante o transporte, provoca-se o esvaziamento do conteúdo gastrointestinal e, evita-se assim, futuras contaminações na carcaça nas etapas seguintes.

-Insensibilização

Decorrido o tempo do jejum os animais são conduzidos para o abate por corredores onde sofrem uma aspersão de água clorada, a 1,5 atm de pressão, por cerca de 3 minutos. O banho além de remover sujidades superficiais aumenta a eficiência da insensibilização.

Após o banho os animais adentram ao restrainer, equipamento este que os imobiliza e os transporta até o ponto onde serão insensibilizados pelo choque elétrico de duração aproximada de 4 segundos. Os eletrodos são posicionados nas fossas temporais, a intensidade

do choque é de aproximadamente 1,5 A e a voltagem para os animais padrão em torno de 450 a 500 V. Segundo Weinber (1980) *apud* Pardi et al. (2005) esta insensibilização provoca a inconsciência imediata do animal, reduzindo o período crítico da dor e tornando assim o abate mais humanitário. Além disso, a insensibilização reduz o estresse e permite a obtenção de uma carne de qualidade superior.

-Sangria

Após a insensibilização, os animais são derrubados em uma mesa vazada de aço inoxidável onde são sangrados por um operador por meio da perfuração da veia cava superior. O tempo decorrente da insensibilização até a sangria não deve ultrapassar 30 segundos. Com a perfuração dos vasos parte do sangue é expelida para fora do animal e, em seguida, a carcaça é pendurada por uma das patas traseiras no trilhamento aéreo, onde será transportada pela nória por uma distância de 20 metros. Esta distância é suficiente para que a sangria do animal tenha duração superior a 4,5 minutos. Ao final deste percurso, quando a maior parte do sangue foi escoada e houve paralização completa dos órgãos vitais, as carcaças recebem outro banho por aspersão com pressão de 3 atm.

-Escaldagem

Na sequência do banho por aspersão as carcaças são despenduradas dos transportadores aéreos com o auxílio de um pistão pneumático de acionamento automático e são submersas em um tanque de água quente onde ficarão por cerca de 5 minutos. A temperatura da água do tanque deve situar-se entre 62 – 65°C para que ocorra a dilatação dos poros da pele e facilite a depilação mecânica.

O aquecimento do tanque é proporcionado pelo vapor da caldeira que também alimenta os digestores da graxaria, os esterilizadores de utensílios, os tanques de cozimento da triparia e as estufas de defumação e cozimento.

-Depilagem

As carcaças são retiradas do tanque de escaldagem por uma estrutura automática e são encaminhadas de duas em duas para a depiladora mecânica. Nesta etapa as carcaças ficam cerca de 50 segundos e tem as cerdas e cascos retirados em quase sua totalidade. Ao final deste equipamento os operários fazem a incisão nos tendões traseiros e as carcaças são novamente penduradas nas nóreas transportadoras (desta vez pelas duas patas).

-Toalete externa

Após penduradas na nórea transportadora as carcaças passam por uma sequência de operações de toalete, sendo respectivamente, a flambagem a gás para queimar os pelos restantes, a retirada das unhas, a retirada dos ouvidos, a retirada dos pelos restantes com faca e o polimento final do couro, este realizado em equipamento com aspersão de água a 3 atm de pressão. Nesta fase é que termina a área suja, como é chamada pelo serviço de inspeção, a seção onde são realizadas as fases descritas até o momento.

Essas operações, bem como, as que serão descritas na sequência são realizadas em linha de produção por operários ou máquinas.

-Evisceração e Inspeção

Feita a toalete final da epiderme as carcaças adentram a área limpa (assim oficialmente chamada esta seção da planta pelo SIF) onde são encaminhados para a evisceração.

Os processos de evisceração e inspeção são feitos concomitantemente e, portanto, devem seguir um rigor imposto pelo Serviço de Inspeção Federal. Pardi et al. (2005, p. 544 e 545) define que:

A evisceração será realizada na zona limpa após a prévia desarticulação da cabeça, que entretanto deve ficar presa à carcaça até o fim da inspeção sanitária. A operação consiste no corte ventral das cavidades pélvica, abdominal e torácica com faca provida de protetor, na abertura da papada, retirada do pênis no macho e do útero nas fêmeas, corte da sínfise púbica com alicate apropriado, retirada das vísceras brancas (estômago, intestinos, baço e pâncreas) e das vísceras vermelhas (língua, coração, pulmões e fígado- “fissura”) que serão, a seguir, inspecionados.

A inspeção das vísceras (brancas e vermelhas) ocorre em uma esteira de bandejas e caso haja suspeita de contaminação elas são destinadas automaticamente ao setor de graxaria. As vísceras próprias para consumo são deslocadas das bandejas para os chutes que as

transportam para a seção da planta encarregada de continuar o processamento. No caso das vísceras brancas o destino é a triparia e no caso da vermelha é a seção de miúdos internos.

Como a planta em questão possui dois pisos, o setor de abate fica no piso superior, e, os chutes transportam os produtos por gravidade do piso superior para a seção competente no piso inferior. No caso, a graxaria, a triparia e a seção de miúdos ficam em áreas distintas do piso inferior. Em plantas térreas esse transporte deve ser feito por esteiras transportadoras.

Concomitante a inspeção de vísceras, as carcaças já evisceradas são divididas mediante a serragem ao longo da coluna vertebral, em duas meias-carcaças. Neste ponto as carcaças consideradas impróprias ou suspeitas pelo SIF (através dos vários pontos de inspeção) são deslocadas da linha de produção, mediante a um desvio na trilhagem aérea, e são encaminhadas para o Departamento de Inspeção Federal (DIF). Nesta seção um médico veterinário do SIF faz o exame detalhado e confere a destinação final da carne: aproveitamento condicional, total, parcial ou condenação total.

-Preparo das meias-carcaças

As meias-carcaças que não apresentaram nenhuma suspeita continuam no fluxo normal da trilhagem aérea e são submetidas a toalete final com a respectiva sequência de operações: retirada da cabeça, retirada da papada, retirada da pata dianteira, retirada do unto (banha em rama), retirada dos rins, retirada da medula e retirada de impurezas diversas (restos da sangria, órgãos, gorduras).

Assim como ocorre com as vísceras, cada produto retirado do animal é transportado pelos chutes para as seções específicas, neste caso específico, no piso inferior. Os produtos comestíveis são direcionados para a seção de miúdos externos, e os demais produtos e impurezas são encaminhados para uma seção específica ou para a graxaria.

Após a toalete, as meias-carcaças são lavadas com água hipoclorada, à pressão de 3 atm, carimbadas em três pontos com o número do SIF do estabelecimento, pesadas, classificadas (por peso e qualidade) e, ao final, encaminhadas para as câmaras de resfriamento (ou equalização). É neste ponto que se faz a aferição do teor de gordura que em alguns casos balizará uma correção no preço do animal vivo.

No caso desta planta específica as câmaras de resfriamento também ficam situadas no piso inferior, portanto, as meias-carcaças depois de lavadas e carimbadas, são conduzidas pelo trilhamento para serem pesadas e classificadas no piso inferior.

-Seção de miúdos internos

As vísceras vermelhas que são aprovadas pelo SIF chegam a este setor continuamente em função da velocidade do abate. O trabalho desempenhado neste setor dependerá do programa estabelecido pelo departamento de PPCP, podendo variar ao longo do dia para atender as metas de produção. As vísceras vermelhas podem ser vendidas completas (fressura suína), neste caso, os operários do setor realizam uma toalete final no conjunto de órgãos e posteriormente encaminham para o resfriamento.

Alternativamente as vísceras vermelhas podem ser desmembradas nos cortes língua, coração, fígado, traqueia, pulmão e outros resíduos para graxaria. Ainda o programa pode estabelecer que apenas um elemento ou uma parte de um elemento será retirado da víscera e o restante será comercializado conjuntamente. De qualquer forma, no caso do desmembramento total ou parcial da víscera, os cortes devem ser resfriados e embalados separadamente.

-Seção de triparia

As vísceras brancas chegam continuamente neste setor, acompanhando o fluxo produtivo do abate. Diferentemente do processamento das vísceras vermelhas, neste caso o processo é considerado imutável respeitando sempre o mesmo padrão. Nesta seção retira-se o pâncreas e o estômago, e os intestinos são encaminhados para o maquinário de beneficiamento de tripas. Do intestino fino são obtidas as tripas finas e do grosso, as tripas grossas (crespas). Deste processamento ainda são obtidas as mucosas intestinais e estomacais, as quais serão comercializadas *in natura*.

As tripas finas são calibradas e dispostas em maços de 90 metros e, juntamente com as tripas grossas, são submetidas a salga para posterior comercialização. O estômago é respectivamente limpo, cozido, resfriado, embalado e congelado. O pâncreas e as demais glândulas, gorduras, e impurezas são encaminhados para o setor de graxaria.

-Seção de miúdos externos

Oficialmente, o Ministério da Agricultura considera como miúdos comestíveis a língua, o coração, o fígado, os rins, o cérebro, no entanto, é usual chamar os demais produtos

menos nobres da carcaça suína de miúdos externos. Esta seção da planta se ocupará da cabeça, da papada, das patas, e da banha em rama, cada corte em seu setor específico.

Da cabeça do animal será primeiramente retirada a orelha, a máscara e o focinho. Nesta operação em especial podem ser feitos dois padrões sendo, a orelha com a máscara com o focinho ou os três cortes separados. Na sequência desloca-se o maxilar e a carne da região é separada dos ossos e cartilagens dando origem a uma determinada quantidade do corte retalho magro.

Em outro setor a papada é limpa e preparada de acordo com o padrão demandado. Pode ser comercializada inteira ou, alternativamente, pode ser descourada originando dois cortes distintos. A papada ou seus cortes, os produtos originados a partir do processamento da cabeça, a banha em rama e os pés são todos padronizados e direcionados para o resfriamento.

A figura 4 explica o fluxo e os processos envolvidos na fase do abate do animal e a destinação para as fases seguintes de processamento.

Figura 4. Fluxo resumido do abate de suínos

3.2.2. Resfriamento

O resfriamento é a etapa onde os cortes originados no abate tem sua temperatura baixada para evitar a deterioração e ficar em condições para embalagem ou processamento posterior.

As meias-carcaças, antes de entrarem na câmara fria de equalização, apresentam uma temperatura de aproximadamente 38° C, no entanto, a temperatura de saída da câmara deve ser de no máximo 7° C. Nas condições desta planta, o tempo decorrido para baixar a temperatura das meias carcaças para aproximadamente 4° C é de 16 horas. O rebaixamento da temperatura aumentará a durabilidade do produto em virtude do retardamento da atividade enzimática e da inibição da atuação dos microrganismos de putrefação.

As vísceras e demais miudezas também são obtidas em temperaturas de 36° C e devem ser rebaixadas abaixo de 7°C. No entanto, os recursos utilizados para esse fim são câmaras específicas (não se pode misturar meias-carcaças com miudezas) ou *chillers* de resfriamento. Neste caso, o tempo de refrigeração é inferior ao decorrido para as meias-carcaças.

Dentro da indústria frigorífica de suínos, os únicos produtos que não passam pelo resfriamento para sua comercialização ou processo, são as tripas (intestinos), o sangue (exceto quando é aproveitado para linguças) e os resíduos que vão para a graxaria.

3.2.3. Processamento

Esta etapa é onde os cortes resfriados gerados a partir do abate são transformados em produtos acabados para comercialização. Para isso, pode-se incorrer desde processos simples como a embalagem de cortes *in natura*, até uma sequência de processos que pode envolver diversas etapas (corte, moagem, cozimento) até finalizar com a embalagem do produto acabado para venda.

Na planta analisada, o sistema de resfriamento utiliza como fluido refrigerante a amônia (NH₃) e possui três compressores alternativos de pistão monoestágio, dos quais, dois operam na linha de alta (-10° C) e um na linha de baixa (-35° C). Todas as seções descritas abaixo são climatizadas com temperaturas variando de 10 a 15°C.

- Desossa

Ao final da linha de abate faz-se a classificação das carcaças, que recebem uma etiqueta que as distingue de acordo com essa classificação. Após o resfriamento essa carcaça pode receber uma embalagem e ser expedida para comercialização ou pode ser encaminhada para a desossa.

O processo de desossa ocorre em sala climatizada (10 – 12° C) com utensílios e mesas apropriadas e consiste na separação das partes da meia-carcaça em cortes comerciais ou em matérias primas para um processamento mais elaborado. Existem vários padrões em que uma meia-carcaça pode ser recortada, e, nem todos os cortes são gerados em todos os padrões. Isso significa que, conforme o padrão adotado ocorrerá geração de determinado conjunto de produtos em detrimento da geração de outro.

As meias-carcaças entram na sala de desossa a uma temperatura variando de 4 a 7° C e, sob a atuação dos operadores, são subdivididas em paleta, sobrepaleta, carré, entrecosto (ou costado), pernil e pé traseiro conforme ilustrado na figura 5. Cada um destes produtos pode ainda ser subdividido em outros cortes ou podem ser encaminhados para comercialização ou processamento, no estado em que se encontram.

Figura 5. Cortes primários principais da meia-carcaça suína

De modo geral, a desossa é um processo de produção conjunta onde a partir da meia-carcaça são geradas dezenas de produtos para a comercialização ou matérias primas para a elaboração de outros produtos.

Os produtos que vão para o mercado *in natura*, após a desossa e a padronização, são enviados para a seção de embalagens primárias e na sequência embalagens secundárias, quando esta última for necessária. No caso de produtos que serão comercializados resfriados, após a embalagem estes vão para a câmara de estocagem de resfriados antes da expedição.

- Congelamento

Quando, os produtos *in natura* oriundos da desossa são comercializados congelados ou venham a servir como matéria prima, de outros produtos processados, em períodos futuros, eles devem ser submetidos ao processo de congelamento.

Este processo ocorre em túneis de congelamento com temperatura do ar variando de -30° C a -35° C. Os produtos cárneos após embalados em caixas ou sacos, adentram ao túnel em uma temperatura de 7°C e dentro de 16 horas atingem a temperatura de -12 °C, sendo que, para atingir valores abaixo de -18° C gasta-se 24 horas.

-Salga

Os cortes frescos ou congelados são encaminhados para o setor de salga onde serão imersos em solução de salmoura por aproximadamente 50 minutos. Na sequência os produtos são cobertos de sal comum (NaCl). O processo de salga ocorre em mesas com queda central para facilitar a drenagem e acelerar a processo.

-Temperados

Na sequência da desossa os cortes *in natura* resfriados são direcionados para o setor de temperados para o processamento final. A seção de temperados possui um equipamento provido de uma esteira, uma injetora de salmoura, uma bomba pressurizadora e um reservatório de solução. Os cortes são dispostos na esteira que alimenta descontinuamente a injetora de salmoura.

Os cortes, que serão comercializados temperados, são enviados para a seção de embalagens primária e secundária, respectivamente, e posteriormente para a armazenagem na câmara de produtos resfriados. Alternativamente, alguns cortes (barriga para bacon, lombo para defumação, etc) temperados podem ser encaminhados para uma câmara de cura para futuramente serem direcionados ao setor de defumados.

Anexa a ala de temperados está a seção de preparo da salmoura, cujos ingredientes basicamente são constituídos por conservantes, antioxidantes e temperos diversos. Os produtos temperados, mesmo que conservados em ambientes resfriados, apresentam vida de prateleira muito superior aos produtos *in natura*.

-Embutidos

O setor de embutidos é subdividido em duas seções, sendo a primeira denominada preparação de massa. Nessa seção, os cortes oriundos das meias-carcaças e outras partes do animal (cabeça, papada, banha, miúdos) são moídos, padronizados e misturados entre eles e com outros ingredientes, até que a massa apresente as características desejadas. Sequencialmente, a massa pronta é disposta em caixas de aço inoxidável onde serão encaminhadas para a segunda seção, podendo ou não apresentar um período de descanso antes de seguir ao embutimento.

A segunda seção do setor é o embutimento onde a massa preparada anteriormente é, por meio das máquinas embutideiras, colocada nos envoltórios (tripas naturais ou artificiais) com o padrão específico de cada produto.

Ressalva-se que o padrão da moagem (fina, grossa, média), os ingredientes, as proporções da mistura (carne magra, carne gorda, toucinho, banha, miúdos, condimentos e aditivos), o tipo de tripa e padrão de embutimento (tamanho de gomos, peso), dependerão do produto final fabricado.

Finalizado o processo de embutimento, os produtos frescos seguem para o setor de embalagens e posteriormente para armazenagem e, os produtos defumados, seguem para o setor seguinte.

-Defumados

Esta seção recebe tanto produtos embutidos como produtos curados originários da seção de temperados. Ela é composta por estufas de cozimento e defumação que, dependendo do produto a ser fabricado, pode operar em diferentes temperaturas, com fumaças naturais (geradores de fumaça), artificiais (fumaça líquida) ou apenas com o vapor para cozimento. A temperatura de vapor ou fumaça circulante dentro das estufas varia de 55° C a 90° C.

Os produtos são dispostos em carros de aço inoxidável com varais, de modo que, a fumaça ou vapor possa circular livremente por toda a superfície do produto. As estufas são carregadas em bateladas e o tempo de processamento oscila dependendo do produto fabricado, podendo variar de 1 a 4 horas.

Após o processamento os produtos são lavados e resfriados até que atinjam temperatura inferior a 7° C e, na sequência, são porcionados e embalados conforme o padrão comercial.

3.2.4. Embalagem

A embalagem pode representar o último estágio na elaboração dos produtos acabados da indústria ou apenas uma preparação para a estocagem de matérias primas para processamento futuro. A embalagem na indústria da carne é dividida em primária e secundária. A primeira refere-se a embalagem que tem contato direto com o produto (filme plástico do vácuo, bandeja de PVC, etc) e a segunda é aquela que protege a embalagem primária (caixas de papelão, sacos de rafia, etc).

Na planta estudada não existe um setor específico de embalagem primária, mas vários anexos que realizam esta função. A meia-carcaça para a venda é um exemplo de produto que não possui embalagem secundária, apenas a primária, e esta é colocada no tendal de expedição após a pesagem.

Com raras exceções, todos os produtos finais da indústria devem ser embalados e direcionados para o setor de armazenagem, sendo, secos, resfriados e congelados.

A figura 6 ilustra o fluxo produtivo da planta de processamento dos animais.

Figura 6. Fluxograma e estruturas produtivas de uma planta frigorífica para o processamento de suínos

4. O Modelo

Para melhor compreender o funcionamento do sistema real e para auxiliar a transformação do problema da indústria estudada em um conjunto de equações matemáticas, o processo de abstração foi realizado em duas etapas. A primeira, corresponde a representações esquemáticas do sistema produtivo e a segunda a formulação matemática do modelo.

4.1. O modelo conceitual

A representação do sistema e do problema por meio de uma descrição verbal e de esquemas são as linhas de bases para o início da modelagem.

A originação dos animais para abate representa a fase inicial do sistema. A granja fornece um fluxo constante de animais que podem ser abatidos em quatro diferentes faixas de pesos, aqui denominadas fases. A fase $k=1$ é composta pelos animais com peso médio de 98 kg que serão ofertados sempre na mesma quantidade em todas as semanas. Os animais da fase $k=1$ que não forem abatidos em determinado período, passarão na semana seguinte para a fase $k=2$ representada por animais de peso médio de 105 kg. Nota-se que a oferta de $k=2$ em cabeças dependerá de quantos animais abatidos em $k=1$ na semana anterior e da mortalidade dos animais da granja, no entanto, a oferta destes animais em kg dependerá destas variáveis, mas será acrescida em função do ganho de peso. O mesmo ocorrerá para todas as fases $k=3$ (112 kg) e $k=4$ (120 kg). A figura 7 abaixo ilustra essa passagem de uma fase para a outra no período de quatro semanas.

Figura 7. Passagem de fases dos animais em quatro semanas.

Como descrito na etapa do processo produtivo, os animais são desmontados em uma linha de produção e são gerados os cortes dependendo do padrão de corte adotado.

Na figura 8, ilustra-se o fluxo divergente na fase de coprodução da indústria frigorífica, onde os quadrados representam pontos de decisão. O corte 1 origina os produtos 1.1, 1.2 e 1.3, que podem ser vendidos ou podem ser processados de maneiras diferentes. Os processos por sua vez originarão novos produtos que por sua vez podem ainda ser processados ou comercializados e assim subsequentemente. Nota-se que para cada processo adotado elimina-se a existência de determinada gama de cortes e que cada corte gerado possuirá um custo associado e um preço de venda associado. É importante lembrar que esta árvore é apenas ilustrativa e no sistema real ela atinge proporções bem maiores com dezenas de possibilidades de produtos e processos, o que aumenta consideravelmente a complexidade do problema.

Figura 8. Árvore de decisão ilustrativa no fluxo divergente de produção

Sabe-se que quando um animal passa de uma fase k para $k+1$ existe uma mudança na composição da carcaça. Praticamente a estrutura óssea se mantém e a quantidade de gordura aumenta proporcionalmente em determinadas regiões e diminui em outras. Isto implica que o

rendimento dos cortes varia de uma fase para outra. Além disso, existem produtos que só podem ser obtidos a partir de uma faixa de peso do animal.

Os cortes (coprodutos) gerados no abate podem ainda ser submetidos a outros processos e podem ser misturados entre eles para originar outros produtos como é o caso dos embutidos.

Para representar esse sistema a planta de processamento foi dividida em duas fases. A primeira caracteriza-se pela fase da produção conjunta onde os animais serão desmontados e serão gerados diversos cortes espontaneamente. A variação do conjunto e quantidade de cortes gerados dependerá do padrão de processo escolhido. Essa fase será denominada Corte.

A segunda fase é a produção de produtos finais para a venda ou estoque e será chamada de Montagem. Essa fase se assemelha a uma linha de montagem onde as matérias primas seguem um fluxo de processamento até que sejam transformadas em produtos acabados. Na concepção deste modelo, até mesmo o menos processado dos produtos, que é o caso dos cortes resfriados *in natura*, somente transformarão em produtos para a venda a partir da segunda fase, ocasião em que recebem a embalagem. A figura 9 abaixo representa uma evolução do sistema retratado na figura 8. Segue fluxo produtivo ilustrativo em dois estágios ilustrados.

Figura 9. Esquema simplificado de produção em dois estágios.

Nota-se na figura 9 que o produto 1 hipotético tem como única matéria prima o corte 1. Percebe-se também que, utilizando como matéria prima apenas o corte 2, é possível gerar dois tipos de produtos distintos. Existe ainda o produto 17 que possui como matérias primas três cortes diferentes e o produto 18 que é igualmente fabricado através da união de vários cortes, no entanto, com duas alternativas de combinação.

Uma dificuldade encontrada em modelar o Estágio I da figura 9 está relacionada às alternativas de cortes que podem ser optadas no processamento da carcaça animal. Observa-se que o corte 1 pode ser desmembrado em 3 diferentes formas que gerarão conjunto de cortes distintos. Para facilitar e linearizar o modelo, nesta proposta concebeu-se o fluxo divergente

mediante a tabelas de rendimento, assim como os padrões de cortes discutidos anteriormente. A tabela 1 abaixo esclarece de maneira esquemática a transformação do desmembramento de uma carcaça, ilustrado na figura 9, em padrões de corte.

Tabela 1. Padrões de rendimento ilustrativo para animais da fase k=1 (98 kg)

Rendimento em kg dos cortes para o animal da fase k=1								
Cortes	Padrão 1	Padrão 2	Padrão 3	Padrão 4	Padrão 5	Padrão 6	Padrão 7	Padrão 8
1	30				30			
2	50	50	50	50	50	50	50	50
3	10	10	10	10				
4		10				10		
5		20				20		
6			12				12	
7			16				16	
8				8				8
9				20				9
10				2				10
11					7	7	7	7
12					2	2	2	2
13					1	1	1	1

Observa-se que o número de padrões possíveis de corte dependerá da estrutura de desmembramento da carcaça. Essas tabelas de rendimento revelam as alternativas de cortes que podem ser gerados utilizando a mesma matéria prima. Ou seja, na tabela ilustrativa é mostrado que com 98 kg de animal na fase k=1 é possível gerar 30 kg do corte 1, 50 kg do corte 2 e 10 kg do corte 3 (padrão 1), ou alternativamente, 50 kg do corte 2, 10 kg do corte 3, 10 kg do corte 4 e 20 kg do corte 5 (padrão 2) e assim sucessivamente.

Ressalva-se que, para cada fase do animal k e para cada padrão, existe um rendimento de cortes distinto. É importante enfatizar também que, as figuras 8 e 9 e a tabela 1 são apenas ilustrativas.

A figura 10 ilustra uma evolução da figura 9 com a concepção geral do sistema em duas fases, desde a recepção da matéria prima (animais em até 4 fases) passando pelos estoques intermediários até a elaboração dos produtos acabados e a estocagem dos mesmos.

Figura 10. Esquema conceitual do sistema produtivo global

Conforme demonstrado anteriormente houve uma evolução no processo de abstração do sistema real e resultou no modelo ilustrado pela figura 10. A partir desta linha de base é que se iniciou a formulação matemática do problema da pesquisa.

Para atingir os objetivos propostos no trabalho, foi elaborado um modelo matemático na lógica do PAP. Anteriormente discutiu-se que o PAP agrega o tempo em meses e os produtos em famílias. Na presente proposta, a agregação do tempo foi feita em semanas para coincidir com a oferta dos animais, em função do fluxo da granja. Os recursos da produção também foram agregados em grupos para simplificar o problema e oferecer uma análise da capacidade compatível para o PAP. Os produtos por sua vez, em virtude da natureza do processo com produção conjunta que se caracteriza o primeiro estágio, não foram agregados em família, mas sim, trabalhados em nível de item. Dessa forma, verifica-se que a previsão de demanda para entrada no modelo também deve ser estimada por item e não por família.

Outra peculiaridade desta proposta é que o horizonte de planejamento é de apenas 16 semanas, ou seja, aproximadamente 4 meses diferindo dos modelos PAP que geralmente ocupam-se de no mínimo 6 meses. Isso se deve primeiramente ao fato de coincidir com o tempo de alojamento de animais em terminação. Um horizonte de 16 semanas ajuda a prever espaços nas granjas que serão necessários nas granjas evitando problemas de superalojamento. Outro fator que contribui para que o horizonte seja mais curto é a dificuldade de se prever preços para os produtos.

Em seguida serão demonstradas as rotinas de geração de padrões e a proposta de formulação matemática para o problema será descrita através da programação inteira mista.

4.2. Programa de Geração de Padrões de Corte

Como descrito anteriormente na conceitualização do modelo, o primeiro estágio produtivo é caracterizado pelo fluxo divergente com alternativa de cortes. Nesta ótica o processo de corte representado no estágio I poderia ser intuitivamente ilustrado em uma árvore de decisão onde é necessário decidir, cortar ou não cortar, e em caso positivo, de que maneira cortar.

A figura 11 baseada na figura 9 ilustra um exemplo hipotético desta árvore decisão. Cada retângulo possui o número de determinado corte e seu rendimento em percentual do peso vivo do animal. Observa-se que no corte 1 deve-se tomar uma decisão se este corte será novamente fracionado em cortes menores, e em caso afirmativo, quais conjuntos de cortes serão produzidos. Para solucionar este problema da árvore de decisão foram criadas tabelas de padrões de corte onde cada padrão representa um conjunto de todos os possíveis cortes que podem ser gerados simultaneamente a partir do mesmo animal.

Figura 11. Representação de decomposição da carcaça (árvore de decisão hipotética)

Neste exemplo hipotético seria possível combinar os cortes em quatro diferentes conjuntos que são os padrões de corte: {1, 2, 3}; {4, 5, 2, 3}; {6, 7, 2, 3}; e {8, 9, 10, 2, 3}.

Como em problemas reais desta natureza o número de padrões são centenas, realizar esta tarefa manualmente pode ser extremamente dispendioso e com uma alta probabilidade de erros. Desta forma, um programa de geração de padrões (PGP) foi desenvolvido com o objetivo de facilitar a atividade e evitar a ocorrência de erros.

4.2.1. Cadastro de cortes para o PGP

Apesar da natureza do processo envolvido ser de desmontagem da carcaça do animal, a lógica norteando o PGP é exatamente oposta e procura responder a seguinte questão: quais são todas as maneiras de combinar os cortes de modo que a junção deles seja a carcaça completa?

Como a estrutura de corte possui alternativas e resultam em conjuntos de cortes alternativos e mutuamente excludentes, é impossível utilizar diretamente uma lista de materiais como as utilizadas em sistemas MRP (*Material Requirement Planning*). Portanto, algumas adaptações devem ser realizadas na estrutura real de corte para que o programa consiga ser executado.

As ramificações da árvore onde existem conjuntos de cortes alternativos devem ser modificadas. O corte que dá origem as alternativas deve ser desmembrado em pequenos cortes fictícios de modo que qualquer corte daquela ramificação, inclusive o corte principal, possa ser montado usando estes cortes fictícios como componentes. Utilizando esta nova estrutura adaptada com os novos cortes fictícios constrói-se a tabela da estrutura contendo a relação pai – filho. Esta adaptação resultará em uma estrutura principal e outras estruturas secundárias e permitirá trabalhar com a lista de materiais comum. Na figura 12 está ilustrada a estrutura principal adaptada.

Figura 12. Estrutura principal após adaptação para o PGP – exemplo hipotético

O corte 1 foi dividido em 6 cortes sendo 5 fictícios e um já pertencente a estrutura real (corte 10). Isso foi feito pois o corte 10 já se encontrava no nível mais baixo e juntamente com os outros 5 cortes possibilitaria montar todos os outros cortes da árvore real. A figura 13 ilustra as estruturas secundárias resultantes da adaptação. Nota-se no exemplo ilustrativo que são seis estruturas secundárias, cada uma corresponde a um corte alternativo e cada corte é montado utilizando-se dos cortes de nível mais baixo da estrutura principal. Isso implica que os cortes que utilizam os mesmo componentes não podem ser gerados simultaneamente.

Figura 13. Estruturas secundárias após adaptação para o PGP – exemplo hipotético

A tabela de estruturas com a relação pai – filho deve ser escrita manualmente e exige habilidade profissional e um conhecimento aprofundado no setor de corte e desossa. Observa-se que existirão alguns padrões onde os cortes fictícios estarão presentes, no entanto, como não há demanda para eles, tais padrões não serão utilizados e não haverá implicações no modelo.

4.2.2. O programa

O programa de geração de padrões de corte (PGP) foi concebido em duas fases. A primeira são as rotinas auxiliares que criam matrizes e indicadores, e na segunda, as rotinas principais que utilizam dos resultados das rotinas auxiliares para montar os padrões e organizá-los em uma tabela de padrões. Apesar deste conjunto de rotinas não representar um software livre (programa) a nomenclatura foi utilizada apenas para os efeitos deste trabalho.

Após a montagem manual e organização da tabela de estruturas contendo a relação pai – filho, os dados são submetidos às rotinas auxiliares. A primeira rotina auxiliar incumbe-se de determinar os níveis de cada corte. Os cortes de nível mais baixo, ou seja, aqueles que não possuem filhos, são rotulados no nível 1. Os pais dos cortes de nível 1 são rotulados com

nível 2 e assim por diante até o nível mais alto da estrutura, neste caso, o animal vivo. A segunda rotina cria a matriz de descendência, uma tabela relacionando cada corte e todos os seus descendentes. Em seguida, a terceira rotina cria a matriz descendência de nível 1 relacionando todos os cortes e seus descendentes de nível 1, os descendentes de nível mais baixo.

A quarta rotina auxiliar, buscará na tabela de estruturas apenas dentro da estrutura principal os cortes que possuem filhos e rotulará estes cortes como nós (nó). Na sequência, outra rotina procurará entre esses nós, os ramos alternativos, ou seja, aqueles outros cortes que possuem filhos em comum e criará uma tabela de cortes alternativos para cada nó, caso eles tenham. Por fim, a sexta e última rotina auxiliar determinará a quantidade máxima de combinações de cortes, dado que a união deles deve formar o animal vivo, que correspondem a quantidade de padrões. Esta última rotina criará a variável Npad (número máximo de padrões). A figura 14 ilustra um fluxograma para o algoritmo da rotina do Npad. Em suma, o PGP possui como entrada o cadastro de cortes, em uma relação pai – filho, e como saída todas as possíveis combinações de corte que podem ser gerados, ou seja, todas as colunas dos padrões de corte.

Figura 14. PGP - Fluxograma do algoritmo para determinar nPad

Com o término das rotinas auxiliares ficam disponibilizadas as informações básicas para a execução das rotinas principais e a determinação dos padrões de corte. O programa possui quatro rotinas principais que serão descritas textualmente de maneira breve e com maior rigor através de ilustrações. A primeira rotina principal gerará o padrão base (vBase) que corresponde ao padrão composto por todos os cortes do nível mais baixo (nível 1) e a partir da combinação de seus integrantes pode-se gerar todos os outros padrões.

A segunda rotina fará uma permuta incluindo no padrão base todos os nós (um para cada padrão) e retirando os seus descendentes de nível 1. Logo, esta rotina gerará os padrões associados a cada nó. Na terceira rotina, os padrões gerados na segunda rotina serão utilizados como base para a combinação entre os nós e a geração de todos os outros padrões associados a estrutura principal.

Neste ponto, todos os padrões associados a estrutura principal já foram gerados nas rotinas 1, 2 e 3 e resta gerar os padrões associados aos cortes alternativos. Para tanto, a quarta rotina avalia cada padrão já gerado e se possível, inclui os cortes alternativos. Esse procedimento é realizado até atingir o número máximo de padrões. Com esse procedimento finaliza-se o PGP e algumas rotinas organizam as tabelas da maneira que permita a entrada de dados no modelo de otimização. As figuras 15 e 16 ilustram graficamente o algoritmo envolvido nas quatro rotinas (PPG1, PGP2, PGP3, PGP4).

Pra facilitar a compreensão das rotinas segue definição das variáveis utilizadas nos fluxogramas.

- Npad = número máximo de padrões (combinações possíveis)
- mCorte() = lista de todos os cortes numerados (matriz dos cortes) onde o contador i indica a posição do corte na lista
- .temp = rótulo temporário criado nas rotinas auxiliares como parte do procedimento para determinar Npad (coluna da matriz mCorte)
- .nivel = nível do corte determinado no programa (coluna da matriz corte)
- .filho = representa o filho de determinado corte que é obtido na tabela de estrutura
- .filho.temp = rótulo temporário igual ao .temp mas neste caso indica o valor do .temp (coluna de Corte) em determinada posição para o filho de determinado corte
- Qtcorte = quantidade de corte (número de linhas da matriz mCorte)
- vTemp = vetor temporário criado nas rotinas utilizado para organizar dados

- Vetor = vetor temporário utilizado para organizar dados e inclui um novo padrão gerado na matriz mPadroes a cada ciclo.
- vBase = é o primeiro padrão formado por todos os cortes de nível mais baixo
- mPadroes = matrix dos padrões que recebe uma nova coluna a cada novo padrão gerado pelas rotinas principais. A dimensão de mPadroes após o programa é Qtcorte x Npad.
- i, j, l, p, e coluna são contadores

Figura 15. PGP - Fluxograma do algoritmo das rotinas principais 1, 2 e 3.

Figura 16. PGP – Fluxograma do algoritmo da rotina principal 4.

Nos Apêndices desta dissertação encontram-se os dados de entrada deste programa e também explicações dos dados de saída do mesmo.

4.3. Formulação Matemática

A formulação do problema foi inicialmente proposta por meio de um modelo de programação linear inteira mista onde ela é inteira apenas em uma restrição que exige a produção de determinados produtos em lotes padronizados.

4.3.1. Conjuntos

- N = conjunto dos produtos acabados i
- J = conjunto dos cortes (coprodutos intermediários) j
- K = conjunto das fases do animal $k \in K$
- P = conjunto dos padrões de abate e corte p
- R = conjunto dos recursos r para a produção dos produtos i
- T = conjunto finito dos períodos (semanas) t
- N^{emb} = subconjunto de produtos i embutidos $N^{emb} \subseteq N$
- N^{secos} = subconjunto de produtos i secos $N^{secos} \subseteq N$
- N^{resf} = subconjunto de produtos i resfriados $N^{resf} \subseteq N$
- N^{cong} = subconjunto de produtos i congelados $N^{cong} \subseteq N$

4.3.2. Variáveis de decisão

- Q_{kpt} = quantidade em kg de suínos na fase k processados conforme o padrão p na semana t
- O_{kt} = oferta de animais na fase k na semana t
- P_{it} = quantidade do produto i produzido na semana t
- C_{jit} = quantidade do corte intermediário j consumido para produzir o produto i na semana t
- P_{jt} = quantidade do corte intermediário j produzido na semana t
- S_{it} = quantidade do produto i estocada ao final do período t

- S_{jt} = quantidade do corte intermediário j estocado ao final do período t
- Y_{jt} = quantidade de cortes intermediários j congelados no período t
- F_{it} = demanda não atendida do produto i na semana t
- $CapEx_{rt}$ = quantidade de horas extras contratadas no período t para ampliar a capacidade do recurso r
- $CapAbEx_t$ = quantidade de horas extras contratadas no período t para ampliar a capacidade de abate
- $CapDesExt$ = quantidade de horas extras contratadas no período t para ampliar a capacidade de desossa

4.3.3. Parâmetros

- m_{jkp} = quantidade obtida do corte intermediário j quando o animal na fase k for processado conforme o padrão p
- pc_{kt} = preço de compra (custo de originação) do animal em R\$/kg vivo na fase k na semana t
- d_{it} = demanda prevista do produto i na semana t
- pv_{it} = preço de venda do produto i na semana t
- cv_{it} = custo variável do produto i na semana t
- $ccong_j$ = custo de congelamento e preparo de produtos intermediários j para estocagem
- hex_r = custo de contratação de horas extras para o recurso r para o aumento de uma unidade
- $hexAb$ = custo de contratação de horas extras para uma unidade adicional no abate
- $hexDes$ = custo de contratação de horas extras para uma unidade adicional na desossa
- $CapNorm_{rt}$ = Capacidade do recurso r em horas máquina para cada semana t
- $CapEsCong$ = Capacidade de estocagem de congelados
- $CapEsResf$ = Capacidade de estocagem de resfriados
- $CapEsSecos$ = Capacidade de estocagem de secos (salgados)
- $CapProNorm$ = Capacidade de processamento de animais da planta (abate e desossa) utilizando horas normais
- $cons_{ri}$ = quantidade consumida do recurso r (em horas máquina) para fabricar 1 kg do produto acabado i

- consAb_{pk} = quantidade consumida da capacidade da estrutura de abate (horas disponíveis) para processar 1 kg de animal k de acordo com o padrão p
- consDes_{pk} = quantidade consumida da capacidade da desossa (horas disponíveis) para processar 1 kg de animal k de acordo com o padrão p
- o_{1t} = Constante - produção semanal de animais para abate de acordo com o fluxo produtivo das granjas, ou seja, toda a oferta de $k=1$ é contante ao longo das semanas
- o_{21} = oferta de animais na fase $k=2$ na primeira semana de planejamento $t=1$
- o_{31} = oferta de animais na fase $k=3$ na primeira semana de planejamento $t=1$
- o_{41} = oferta de animais na fase $k=4$ na primeira semana de planejamento $t=1$
- α_k = taxa de incremento em kg de animal vivo associada a passagem dos animais de uma fase $k-1$ para outra fase k
- ε_{ji} = fator de transformação do corte j para produto acabado i , representa o quantidade de i produzida com 1 kg do corte j
- $q_{\min_{ji}}$ = quantidade mínima do produto j na formulação do produto i
- $q_{\max_{ji}}$ = quantidade máxima do produto j na formulação do produto i
- l_i = fator de correção para produtos embutidos em percentual
- lot_i = tamanho do lote do produto i
- limEx = limite de contratação de horas extras em percentual de horas normais.

4.3.4. Expressões matemáticas

O modelo matemático desenvolvido é dado pelas seguintes expressões matemáticas:

$$\begin{aligned}
 \text{Max } & \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N p v_{it} (d_{it} - F_{it}) - (\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N F_{it} c f_{it} + \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N S_{it} s_i + \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^J S_{jt} s_j + \\
 & \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T P_{it} c v_{it} + \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K \sum_{p=1}^P Q_{kpt} p c_{kt} + \sum_{r=1}^R \sum_{t=1}^T \text{CapEx}_{rt} \text{hex}_r + \\
 & \sum_{t=1}^T \text{CapAbEx}_t \text{hexAb} + \sum_{t=1}^T \text{CapDesEx}_t \text{hexDes} + \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T Y_{jt} c \text{cong}_j) \quad (1)
 \end{aligned}$$

Restrições:

$$\sum_{p=1}^P Q_{pkt} \leq O_{kt}, \quad \forall t \in T, \quad k \in K \quad (2)$$

$$O_{kt} = \text{Constante}, \forall k = 1, t \in T \quad (3)$$

$$O_{kt} = O_{k1}, \forall k = 2 \dots, K \quad t = 1 \quad (4)$$

$$O_{kt} = \alpha_k (O_{k-1,t-1} - \sum_{p=1}^P Q_{k-1,p,t-1}), \forall t = 2, \dots, T \quad k = 2, \dots, K \quad (5)$$

$$\sum_{p=1}^P Q_{kpt} = O_{kt}, \quad \forall k = 4, \quad t \in T \quad (6)$$

$$P_{jt} = \sum_{k=1}^K \sum_{p=1}^P Q_{kpt} m_{jpk}, \quad \forall j \in J, \quad t \in T \quad (7)$$

$$S_{jt} = S_{j,t-1} + P_{jt} - \sum_{i=1}^N C_{jit}, \quad \forall j \in J, \quad t \in T \quad (8)$$

$$Y_{jt} \geq S_{jt} - S_{j,t-1}, \quad \forall j \in J, \quad t \in T \quad (9)$$

$$Y_{jt} \geq 0, \quad \forall j \in J, \quad t \in T \quad (10)$$

$$P_{it} = \sum_{j=1}^J C_{jit} \varepsilon_{ji}, \quad \forall i \notin N^{Emb}, \quad t \in T \quad (11)$$

$$P_{it} = (\sum_{j=1}^J C_{jit}) * l_i, \quad \forall i \in N^{Emb}, \quad t \in T \quad (12)$$

$$C_{jit} \leq q_{\max_{ji}} P_{it}, \quad \forall i \in N^{Emb}, j \in J, \quad t \in T \quad (13)$$

$$C_{jit} \geq q_{\min_{ji}} P_{it}, \quad \forall i \in N^{Emb}, j \in J, \quad t \in T \quad (14)$$

$$P_{it} = Z_{it} \text{lot}_i, \quad \forall i \in N^{Emb} \quad (15)$$

$$S_{i,t-1} + P_{it} - d_{it} = S_{it} - F_{it}, \quad \forall i \in N, \quad t \in T \quad (16)$$

$$S_{i,t} \leq P_{it} + S_{i,t-1} \quad \forall i \in N, \quad t = 2, \dots, T \quad (17)$$

$$S_{i,1} \leq P_{it} + \text{estIni}_i \quad \forall i \in N, \quad (18)$$

$$\sum_{i=1}^N P_{it} \text{cons}_{ri} \leq \text{CapNorm}_{rt} + \text{CapEx}_{rt}, \quad \forall r \in R, \quad t \in T \quad (19)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{p=1}^P Q_{kpt} \text{consAb}_p \leq \text{capAbNorm} + \text{CapAbEx}, \quad \forall t \in T \quad (20)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{p=1}^P Q_{kpt} \text{consDes}_p \leq \text{capDesNorm} + \text{CapDesEx}, \quad \forall t \in T \quad (21)$$

$$\sum_{i \in N_{\text{cong}}} S_{it} + \sum_{j \in J} S_{jt} \leq \text{CapEsCong}, \quad \forall t \in T \quad (22)$$

$$\sum_{i \in N_{\text{resf}}} S_{it} \leq \text{CapsEsResf}, \quad \forall t \in T \quad (23)$$

$$\sum_{i \in N_{\text{socos}}} S_{it} \leq \text{CapEsSecos}, \quad \forall t \in T \quad (24)$$

$$\text{CapAbEx}_t \leq \text{limEx capAbNorm}, \quad \forall t \in T \quad (25)$$

$$\text{CapDesEx}_t \leq \text{limEx capDesNorm}, \quad \forall t \in T \quad (26)$$

$$\text{CapEx}_{rt} \leq \text{limEx capNorm}_r, \quad \forall r \in R, \quad t \in T \quad (27)$$

$$P, F, Q, S, Y, \text{CapEx}, \text{CapAbEx}, \text{CapDesEx} \in R^+ \quad (28)$$

$$Z \in Z^+ \quad (29)$$

Na sequência serão explicadas as finalidades de cada uma das expressões.

4.3.5. Função Objetivo

$$\begin{aligned}
 Max \quad & \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N pv_{it}(d_{it} - F_{it}) - \left(\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N F_{it} cf_{it} + \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N S_{it} s_i + \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^J S_{jt} s_j \right. \\
 & + \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T P_{it} cv_{it} + \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K \sum_{p=1}^P Q_{kpt} pc_{kt} + \sum_{r=1}^R \sum_{t=1}^T CapEx_{rt} hex_r \\
 & \left. + \sum_{t=1}^T CapAbEx_t hexAb + \sum_{t=1}^T CapDesEx_t hexDes + \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T Y_{jt} ccong_j \right)
 \end{aligned}$$

A função objetivo (expressão 1) maximiza a margem global da empresa. O primeiro termo representa o faturamento da empresa, ou seja, a quantidade efetivamente vendida (demanda menos a falta) multiplicado pelo preço. A margem global é o faturamento, representado pelo primeiro termo, menos todos os custos variáveis, representados pelos nove termos restantes.

O segundo termo da função objetivo representa os custos com vendas perdidas (falta do produto). No terceiro e quarto termo, os custos com estoques de produtos acabados e de cortes (intermediários) são representados, respectivamente. No quinto termo estão apresentados os custos variáveis (excluindo a matéria prima principal). O sexto termo apresenta os custos com matérias primas (suínos vivos). No sétimo, oitavo e nono termos estão os custos com horas extras nos recursos produtivos, no abate e na desossa, respectivamente. Por último, o décimo termo apresenta os custos com o congelamento dos cortes que foram estocados no período.

4.3.6. Restrições

Conforme observado na formulação geral do problema as restrições do modelo são compostas por vinte e oito expressões matemáticas (2 a 29). Neste tópico essas restrições foram agrupadas quanto ao modo de funcionamento e a finalidade que elas exercem no modelo em dezessete grupos de restrições.

Restrições 1: Restrição da oferta de matéria prima (expressão 2)

$$\sum_{p=1}^P Q_{pkt} \leq O_{kt}, \quad \forall t \in T, \quad k \in K$$

A quantidade de animais processados em todos os padrões p é limitada pela oferta de animais em cada fase k e em cada semana t.

Restrições 2: Balanceamento da oferta de suínos nas semanas (expressões 3,4 e 5)

$$O_{kt} = \text{Constante}, \forall k = 1, t \in T$$

$$O_{kt} = O_{k1}, \forall k = 2 \dots, K \quad t = 1$$

$$O_{kt} = \alpha_k (O_{k-1,t-1} - \sum_{p=1}^P Q_{k-1,p,t-1}), \forall t = 2, \dots, T \quad k = 2, \dots, K$$

Este conjunto de restrições controla a oferta de animais de uma semana para a outra. Teoricamente os animais passam de uma fase para outra no período de uma semana (k_{t-1} para k_t). Logo, a oferta de animais em determinada fase k (exceto $k=1=\pi$), exceto na primeira semana que é o estoque inicial, é a oferta de animais na fase anterior (k-1) na semana anterior (t-1), menos a quantidade destes animais que foram abatidos, multiplicadas pelo fator de correção α (estimativa do ganho de peso dos animais descontada a mortalidade).

Restrições 3: Toda a oferta de animais na fase 4 deve ser abatida (expressão 6)

$$\sum_{p=1}^P Q_{kpt} = O_{kt}, \quad \forall k = 4, \quad t \in T$$

Essa restrição tem como intuito forçar o abate de todos os animais que venham a atingir a fase 4. Isso é necessário pois acima desta fase os animais atingem um peso fora das especificações para utilização industrial nos padrões atuais. Além disso a taxa de conversão alimentar tende a elevar impactando em altos custos de produção.

Restrições 4: Quantidade produzida de produtos intermediários j é limitada conforme os rendimentos industriais em função do padrão de processamento (expressão 7)

$$P_{jt} = \sum_{k=1}^K \sum_{p=1}^P Q_{kpt} m_{jpk}, \quad \forall j \in J, \quad t \in T$$

Isto é, a produção dos cortes intermediários j , é igual a, quantidade de animais de todas as fases k , processados em todos os padrões p , multiplicada pelo rendimento do corte j obtido em cada padrão p em cada fase k .

Restrições 5: Equilíbrio de estoque, produção e demanda de cortes intermediários j (expressão 8)

$$S_{jt} = S_{j,t-1} + P_{jt} - \sum_{i=1}^N C_{jit}, \quad \forall j \in J, t \in T$$

Estas restrições estabelecem que o estoque dos produtos intermediários j no final do período t deve ser igual ao estoque dos mesmos no final do período anterior, mais a produção do período, menos a quantidade deste produto consumida em processo para fabricação dos produtos acabados i .

Restrições 6: Custo de congelamento e preparo de estoques intermediários (expressões 9 e 10)

$$Y_{jt} \geq S_{jt} - S_{j,t-1}, \quad \forall j \in J, t \in T$$

$$Y_{jt} \geq 0, \quad \forall j \in J, t \in T$$

Estas expressões definem a variável Y que significa a quantidade de cortes que entraram para estoque de um período para o outro. Como a validade do produto fresco é muito pequena todo o estoque deve ser congelado e portanto terá um custo de congelamento que será minimizado na função objetivo.

Restrições 7: Quantidade produzida de produtos i (excluindo os produtos embutidos) acabados é limitada a sua composição em função dos produtos intermediários j (expressão 11)

$$P_{it} = \sum_{j=1}^J C_{jit} \varepsilon_{ji}, \quad \forall i \notin N^{Emb}, \quad t \in T$$

Isto é, a quantidade produzida do produto i , exceto aqueles que pertencem ao subconjunto dos produtos embutidos, é igual a razão entre, a quantidade consumida em processo do produto intermediário j para a produção de i , pelo fator de eficiência de transformação dos produtos intermediários para os produtos acabados.

Restrições 8: Quantidade produzida de produtos i embutidos é igual a quantidade de todos os cortes j consumidos para sua produção corrigidos pelo fator de correção (expressão 12).

$$P_{it} = \left(\sum_{j=1}^J C_{jit} \right) * l, \quad \forall i \in N^{Emb}, \quad t \in T$$

Nestas restrições define-se que, a quantidade produzida por período dos produtos i , que pertencem ao subconjunto dos embutidos, somatória dos cortes j consumidos para sua elaboração corrigido por um fator l_i que indica a agregação dos outros ingredientes (aditivos, condimentos e água).

Restrições 9: Composição dos produtos embutidos (expressões 13 e 14)

$$C_{jit} \leq qmax_{ji} P_{it}, \quad \forall i \in N^{Emb}, j \in J, t \in T$$

$$C_{jit} \geq qmin_{ji} P_{it}, \quad \forall i \in N^{Emb}, j \in J, t \in T$$

Essas expressões garantem que as quantidades de cortes j inseridas na formulação dos produtos embutidos respeitem um limite mínimo e máximo. No caso de um produto embutido que pode conter uma determinada quantidade de um corte menos nobre o limite máximo ($qmax_{ji}$) impede que o produto tenha suas propriedades modificadas em função de um aumento de percentual deste corte na formulação. Em contrapartida, o limite mínimo garante a inserção de alguns cortes que devem repetir um percentual mínimo na formulação do produto para assegurar a qualidade.

As restrições 8 e 9 trabalham em conjunto em garantir a formulação agregada do produto a um custo adequado uma vez que o modelo procurará inserir maior quantidade de cortes cujos derivados apresentem pouco ganho e menor quantidade dos cortes cujos derivados apresentem maior ganho.

Restrição 10: Lotes de produção dos produtos embutidos (expressão 15)

$$P_{it} = Z_{it} \text{lot}_i, \quad \forall i \in N^{Emb}$$

Como os embutidos são produzidos em lotes, a quantidade do produto i (embutidos), deve ser 0 ou múltipla do lote de produção de i (lot_i). Logo, a razão entre a produção de i no período t e tamanho do lote de produção do produto i deve ser igual a uma variável Z discreta.

Esta restrição foi desconsiderada para obter os resultados do modelo relaxado devido ao pequeno benefício obtido com a sua inclusão, já que as quantidades produzidas semanalmente são muito maiores do que os lotes, e há um excesso de tempo decorrido para encontrar solução viável, em geral em torno de uma hora.

Restrição 11: Equilíbrio de estoque, produção e demanda de produtos acabados i (expressão 16)

$$S_{i,t-1} + P_{it} - d_{it} = S_{it} - F_{it}, \quad \forall i \in N, \quad t \in T$$

Isto é, o estoque dos produtos acabados i de período anterior, mais a produção do período atual, menos a demanda do período atual, devem ser iguais, ao estoque do final do período atual menos a falta do produto i no período atual. Esta restrição faz com que a variável de falta absorva a quantidade de produto que não atendeu a demanda para determinado período.

Restrições 12: Restrições operacionais para evitar a formação de estoques espontâneos (expressões 17 e 18)

$$S_{i,t} \leq P_{it} + S_{i,t-1} \quad \forall i \in N, \quad t = 2, \dots, T$$

$$S_{i,1} \leq P_{i1} + \text{estIni}_i \quad \forall i \in N,$$

Estas restrições foram incluídas no modelo para não ocorrer surgimento espontâneo de estoques com o intuito de diminuir o valor da falta (F_{it})

Restrições 13: Quantidade de produtos i deve ser limitada a capacidade dos recursos r (expressões 19)

$$\sum_{i=1}^N P_{it} \text{cons}_{ri} \leq \text{CapNorm}_{rt} + \text{CapEx}_{rt}, \quad \forall r \in R, \quad t \in T$$

Cada produto acabado consome uma quantidade de cada recurso para ser produzido. Este consumo por sua vez é calculado em horas e, portanto, a capacidade dos recursos é dada pela quantidade de horas normais disponíveis mais as horas extras que podem ser contratadas. O conjunto de restrições acima limita a produção do i através da capacidade dos recursos disponíveis para cada período t .

Restrições 14: Padrões do processamento do animal (abate e desossa) devem respeitar a capacidade (expressões 20 e 21).

$$\sum_{k=1}^K \sum_{p=1}^P Q_{kpt} \text{consAb}_p \leq \text{capAbNorm} + \text{CapAbEx}, \quad \forall t \in T$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{p=1}^P Q_{kpt} \text{consDes}_p \leq \text{capDesNorm} + \text{CapDesEx}, \quad \forall t \in T$$

Este conjunto de restrições respeita a mesma lógica do conjunto anterior, no entanto, eles foram separados devido a natureza do processo produtivo. Como os produtos acabados i

são produzidos independentemente, utilizando como matéria prima os intermediários j , é possível calcular um consumo de capacidade por quantidade de produto. No caso do conjunto dos cortes intermediários j , não é possível fazer o cálculo de consumo por produto, já que os mesmos são originados em um processo de produção conjunta. Por esse motivo a capacidade de geração destes produtos intermediários j é limitada através do consumo de capacidade por quantidade de animais k (matéria prima) para cada padrão de abate e desossa p adotado.

Restrições 15: Capacidade de estocagem limita os estoques de produtos acabados i e produtos intermediários j (expressões 22, 23 e 24).

$$\sum_{i \in N_{cong}} S_{it} + \sum_{j \in J} S_{jt} \leq CapEsCong, \quad \forall t \in T$$

$$\sum_{i \in N_{resf}} S_{it} \leq CapsEsResf, \quad \forall t \in T$$

$$\sum_{i \in N_{secos}} S_{it} \leq CapEsSecos, \quad \forall t \in T$$

Estas restrições limitarão o estoque de produtos em função do local de armazenagem. Para efeitos do planejamento foi considerado que o estoque de produtos resfriados deve ser zero, ou seja, toda a produção é para atender a demanda da semana, visto que a validade do produto é reduzida (3-10 dias).

Restrições 16: Limite de contratação de horas extras (expressões 25, 26 e 27).

$$CapAbEx_t \leq limEx\ capAbNorm, \quad \forall t \in T$$

$$CapDesEx_t \leq limEx\ capDesNorm, \quad \forall t \in T$$

$$CapEx_{rt} \leq limEx\ capNorm_r, \quad \forall r \in R, \quad t \in T$$

Isto é, a contratação de horas extras deve ser limitada a uma quantidade das horas normais para todos os setores da indústria.

Restrições 17: Espaço das variáveis (expressões 28 e 29).

$$P, F, Q, S, Y, CapEx, CabAbEx, CabDesEx \in R^+$$

$$Z \in Z^+$$

Todas as variáveis são contínuas exceto Z que pertence aos números inteiros.

5. Resultados

Este capítulo exhibe a implementação do modelo e os resultados que ele apresentou para o planejamento da produção. Os dados que serão apresentados na sequência são baseados nos dados reais, porém com adaptações para a pesquisa de modo a preservar as informações da empresa.

Primeiramente foram coletados dados de entrada para traçar um cenário base e avaliar se as sugestões do modelo estão alinhadas aos objetivos reais da empresa e verificar se as soluções propostas garantem uma rentabilidade satisfatória para o modelo.

Na sequência serão apresentados os dados de entrada que foram utilizados na implementação do modelo de forma sintetizada. Os dados faltantes estão disponíveis nos Apêndices deste trabalho.

5.1. Dados de entrada para o cenário base

A condição básica inicial do modelo é a oferta constante dos animais na fase $k=1$ de 2.860 cabeças por semana que equivale a 280.280 kg de peso vivo disponíveis para processamento na planta. Em contrapartida existe uma demanda pelos produtos acabados, derivados desses animais, que foi prevista para o período de 16 semanas onde foi possível captar um efeito da sazonalidade na procura por alguns produtos.

A tabela 2 apresenta as ofertas iniciais de animais em cada fase e a tabela 3 estão os preços de aquisição de animais vivos para cada fase em unidades monetárias por kg (\$/kg).

Tabela 2. Oferta inicial de animais vivos para abate na primeira semana de planejamento e taxa de incremento (α).

Fases (k)	O_{kt} (t=1)	α_k
Leves (k=1)	280.280	1
Médios (k=2)	150.120	1,0612
Pesados (k=3)	101.200	1,0614
Industrial (k=4)	104.520	1,0602

Tabela 3. Custo de aquisição de animais para abate posto na planta frigorífica, nas quatro fases e para as dezesseis semanas, em unidades monetárias por kg (\$/kg).

Fases(k)	p _{C_{kt}} (\$/kg) – Semanas															
	t=1	t=2	t=3	t=4	t=5	t=6	t=7	t=8	t=9	t=10	t=11	t=12	t=13	t=14	t=15	t=6
Leves (1)	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2
Médios (2)	3,15	3,15	3,15	3,15	3,15	3,15	3,15	3,15	3,15	3,15	3,15	3,15	3,15	3,15	3,15	3,15
Pesados (3)	3,12	3,12	3,12	3,12	3,12	3,12	3,12	3,12	3,12	3,12	3,12	3,12	3,12	3,12	3,12	3,12
Industrial (4)	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1

A previsão de demanda, o custo de falta (venda perdida), e o preço de venda, previstos para a entrada no modelo foram obtidos de duas maneiras distintas, levando em consideração a característica comercial de cada produto acabado no mercado em questão.

Alguns produtos produzidos na indústria possuem uma elasticidade preço da demanda muito elevada, portanto, é negociado no mercado como qualquer outra *commodity*. Para este tipo de produto, as margens de comercialização são mais baixas, e os preços de venda são dados do mercado. As demandas neste caso foram consideradas de forma mais imprecisa e não foi considerado o custo da falta para este tipo de produto.

Para outros produtos por sua vez, apesar de também se comportarem de maneira semelhante às *commodities* no mercado, é possível prever uma venda segura a determinado nível de preço. Para estes produtos as previsões de demanda são mais precisas e o custo da falta é empregado.

Esse arranjo entre os parâmetros demanda, preço de venda, e custo de falta induz o modelo a encontrar soluções de produção que procurem atender as demandas dos produtos cuja previsão é mais acurada e simultaneamente priorizem a produção das *commodities* que garantam maiores margens de contribuição para a empresa.

A tabela 4 exemplifica as demandas, e custos de falta de alguns produtos acabados para as três primeiras semanas do horizonte de planejamento. É possível observar que os produtos $i=9$, $i=23$ e $i=50$ possuem um custo de falta, ou seja, a previsão de demanda é precisa para estes produtos. Os demais produtos já não apresentam os custos de falta, permitindo ao modelo encontrar facilmente uma solução que não atenda a demanda prevista caso haja também demanda de produtos alternativos que mais contribuam para a margem global.

Tabela 4. Exemplo de previsão de demanda e custos de falta para alguns produtos nas três primeiras semanas.

Produto (i)	Descrição	Demanda (d_{it})			Custo Falta (cf_{it})		
		t=1	t=2	t=3	t=1	t=2	t=3
9	Pé Salgado	400	400	400	2,8	2,8	2,8
16	Carcaça Leve Resfriada	236.413	208.163	232.256	0	0	0
20	Pernil c/ Pele c/Osso cx 20 kg	3.740	3.625	4.219	0	0	0
23	Pernil Desossado Congelado cx 18 kg	3.000	3.000	3.000	5,75	5,75	5,75
50	Picanha Temp. Resfr. Cx 15 kg	3.500	3.500	3.500	6,75	6,75	6,75
58	Linguiça de Carne Suína pte 5 kg	8.177	10.118	10.033	0	0	0

Os custos variáveis de produção por quilo de produto acabado foram fundamentados na proposta do custeio totalmente variável, portanto, o custo da matéria prima principal (animais vivos) não está incorporado neste custo variável. Uma vez que se trata de um fluxo divergente e a função objetivo procura minimizar esses custos de aquisição de matéria prima, a solução procurará naturalmente indicar os produtos que contribuam positivamente para a margem.

A figura 17 apresenta um gráfico com a participação dos custos de matéria prima (animal vivo) e dos demais custos variáveis em percentual do custo variável total de produção dos produtos acabados. Nestes custos variáveis exceto matéria prima, estão os custos com embalagens, custos industriais variáveis, que podem ser mensurados, e custos de matérias primas secundárias. Ressalva-se que, o custo com mão-de-obra foi considerado fixo e os adicionais de horas extras estão na função objetivo do modelo, assim como, o custo da matéria prima principal. Logo, o custo variável considerado dos dados de entrada (cv_{it}) refere-se somente ao custo variável exceto a matéria prima principal.

Figura 17. Composição média de custos dos produtos acabados em percentual.

Como a maior parte dos custos variáveis (exceto MP) dos produtos fabricados é composta por embalagens e aditivos e é prática manter os estoques por pelo menos cinco semanas, é possível visualizar nos Apêndices que a previsão dos custos é estável para as primeiras semanas e para as restantes variam em um patamar mais elevado.

De modo geral, a maioria dos produtos comercializados na indústria da carne comporta-se como commodities, caracterizados por uma grande oscilação de preços em função do equilíbrio de mercado. Dessa forma, a previsão de preços para esta indústria é uma atividade de difícil realização. Na maioria dos casos os preços dos produtos acabados variam com uma correlação positiva em relação às variações no preço do animal vivo. Logo, como os preços do animal vivo foram considerados constantes, o preço de venda da maioria dos produtos também foi considerado constante. Para outros produtos, que possuem baixa correlação em relação de preços em relação ao da matéria-prima, a previsão tentou captar a tendência com base em série histórica. Todos os preços utilizados como entrada foram FOB (Free on Board) planta frigorífica e deduzidos os impostos já que o modelo não contempla custos tributários e logísticos.

A figura 18 ilustra quatro tipos de comportamento de preços utilizados na previsão para quatro produtos diferentes. Um produto cujo preço está intimamente ligado ao preço da matéria-prima ($i=16$), outro cujo preço situa-se dentro da mesma faixa e independe do valor

da matéria prima ($i=59$) e outros dois produtos ($i=26$ e $i=55$) com uma tendência de alta em função da sazonalidade.

Figura 18. Previsão de preços para os produtos 16, 26, 55 e 59 para as dezesseis semanas de planejamento.

.

Os dados de entrada referente às capacidades dos recursos foram definidos em horas semanais disponíveis. Os recursos foram agrupados em 10 grandes grupos sendo dois do primeiro estágio produtivo representados pelo abate e pela desossa, e oito recursos ($r= 1, \dots, 8$) do segundo estágio produtivo. A tabela 5 apresenta as capacidades para cada recurso disponível e também o custo da hora extra.

Tabela 5. Capacidade horária semanal dos recursos e custo da hora extra.

Recursos	Capacidade Normal (horas/semana)	Custo da hora extra (\$/h)
Fase I –Corte e Desossa		
Abate (capAbNorm)	44	410
Desossa (capDesNorm)	44	182
Fase II – Montagem (capNorm_r)		
Preparação de Massas (r=1)	44	43
Embutimento (r=2)	44	50
Cozimento (r=3)	144	0
Injeção (r=4)	44	50
Salga (r=5)	144	0
Congelamento (r=6)	144	0
Embaladeira a Vácuo (r=7)	44	30
Termoformadora (r=8)	44	30

O consumo da capacidade foi definido por produto para o estágio II e por padrão de corte no estágio I. Basicamente definiu-se a quantidade de horas de determinado recurso consumida para produzir um quilo de produto acabado ou processar um quilo de animal vivo em determinado padrão de corte. Caso seja possível, o modelo poderá sugerir o aumento dessa capacidade utilizando horas extras que ficam limitadas até 25% da capacidade em horas normais. Alguns recursos, onde a capacidade independe da força de trabalho, foi computada a capacidade utilizando-se como base 24 horas por dia de trabalho e, nesses recursos, não foi permitida a utilização de horas extras.

Em relação às capacidades de estocagem os produtos foram divididos quanto ao seu modo de estocagem sendo, produtos secos, resfriados e congelados. A tabela 6 apresenta os grupos de produtos e o limite de estocagem dos mesmos em kg.

Tabela 6. Agrupamento de produtos quanto ao modo de estocagem e capacidade disponível.

Subconjunto Produtos (i)	Produtos (i)	Capacidade de Estocagem (kg)
Secos ($i \in N^{\text{secos}}$)	2, 3, 8, 9, 26	0
Resfriados ($i \in N^{\text{resf}}$)	4, 5, 6, 16, 17, 18, 19, 29, 30, 31, 32, 34, 35, 37, 39, 40, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60	0
Congelados ($i \in N^{\text{cong}}$)	1, 7, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 20, 21, 22, 23, 27, 28, 33, 36, 38, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49	80.000

Os demais dados de entrada resumem-se as tabelas de padrões de corte, consumos de capacidade, formulações e fatores de correção dos produtos, tamanho dos lotes, estoques iniciais, custos de congelamento para cortes e custos de estocagem. Estes dados podem ser encontrados nos Apêndices deste trabalho. Na sequência, será explicada a implementação do modelo.

5.2. Implementação

O programa de geração de padrões (PGP) foi implementado na linguagem Visual Basic for Application (VBA) devido a facilidade de trabalhar com os dados no Microsoft Excel e para a posterior organização dos dados para a resolução da programação inteira mista. O tempo decorrente para a execução dos padrões foi de aproximadamente 10 segundos e após algumas adaptações foi possível criar a tabela de padrões de corte com 436 padrões para cada fase (faixa de peso).

Conforme será demonstrado nos Apêndices o PGP gerou 580 padrões, no entanto, somente 436 foram utilizados para os parâmetros já que 144 padrões eram compostos pelos cortes fictícios.

Finalizada as tabelas de padrões de corte e levantado os demais dados de entrada o modelo relaxado apresentou 78.269 variáveis contínuas e 52.670 restrições. O modelo de programação linear inteira mista apresentou mais 960 variáveis inteiras. Abaixo segue tamanho dos conjuntos:

Produtos (i): $N=60$, $N^{\text{emb}} = 3$, $N^{\text{secos}} = 5$, $N^{\text{cong}} = 26$, $N^{\text{resf}} = 27$;

Coprodutos(j): $J=46$;

Semanas(t): $T=16$;

Padrões (p): $P=436$;

Fases(k): $K=4$;

Recursos(r): $R=8$;

O modelo de programação linear foi implementado no software LINGO 10.0 com as interfaces com planilhas eletrônicas do MS Excel utilizando novamente recursos do VBA. Este software foi escolhido devido à facilidade da comunicação com planilhas eletrônicas do Excel cuja utilização é muito difundida entre as empresas. O tempo necessário para atingir a solução ótima no modelo relaxado foi de 15 segundos e considerando o tempo de interface com as planilhas mais as rotinas do Excel e do VBA o tempo total da execução foi de 65 segundos. Para o modelo inteiro o tempo necessário para gerar a solução ótima para o cenário base foi de aproximadamente 20 minutos.

Os resultados exibidos e a análise dos dados foram baseados na solução do modelo relaxado. A restrição que torna o modelo inteiro apresenta tamanho de lotes muito pequenos em relação aos níveis de produção semanal. Isso implica que o ganho com a utilização destas variáveis inteiras é muito pequeno para efeito de planejamento agregado. Em relação à função objetivo a diferença entre o valor apresentado para o modelo relaxado foi apenas 0,02% superior aquela apresentada pela modelo inteiro. Como qualquer variação mínima nos dados de entrada pode representar muito mais do que isso, não há perda de qualidade para efeito deste trabalho, em utilizar o modelo relaxado.

Nos Apêndices desta dissertação será apresentado o script do LINGO utilizado para representar a formulação matemática exposta anteriormente.

5.3. Resultados do cenário base

Serão exibidas nesta seção as soluções de produção apresentadas pelo modelo relaxado para as oito primeiras semanas do planejamento e algumas análises gráficas em

relação ao planejamento para as dezesseis semanas. Os resultados completos encontram-se nos Apêndices.

A tabela 7 exhibe a oferta de animais vivos, em quilos, sugerida pelo modelo no cenário base. Analisando em conjunto com a tabela 8 é possível verificar que o modelo sugere uma tendência de acumulação de peso dos animais e procura gerar produtos a um custo mais baixo.

Tabela 7. Animais ofertados por faixa de peso (k) em quilos de peso vivo nas oito primeiras semanas

Animais Ofertados	k	Semanas							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Animais Leves(kg)	1	280.280	280.280	280.280	280.280	280.280	280.280	280.280	280.280
Animais Médios (kg)	2	150.120	271.419	297.433	297.433	297.433	297.433	297.433	297.433
Animais Pesados (kg)	3	101.200	106.578	117.424	218.471	234.809	227.061	259.540	244.545
Animais Industriais (kg)	4	104.520	107.292	112.994	112.994	140.682	188.523	205.163	228.015
Oferta total de animais (kg)		636.120	765.570	808.132	909.179	953.204	993.297	1.042.417	1.050.273

Tabela 8. Animais processados por faixa de peso (k) em quilos de peso vivo nas oito primeiras semanas

Animais Abatidos e Processados	k	Semanas							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Animais Leves(kg)	1	24.514	0	0	0	0	0	0	0
Animais Médios (kg)	2	49.716	160.798	91.619	76.228	83.527	52.930	67.057	42.682
Animais Pesados (kg)	3	0	0	10.846	85.778	56.991	33.547	44.472	33.744
Animais Industriais (kg)	4	104.520	107.292	112.994	112.994	140.682	188.523	205.163	228.015
Total de animais processados (kg)		178.750	268.090	215.460	275.000	281.200	275.000	316.692	304.441

Tabela 9. Ociosidade dos recursos nas oito primeiras semanas

Recursos	Ociosidade/Semanas							
	1	2	3	4	5	6	7	8
r=1 (horas)	36	34	36	35	35	40	34	32
r=2 (horas)	36	34	36	35	35	40	34	32
r=3 (horas)	0	0	0	0	0	0	0	0
r=4 (horas)	39	39	40	39	40	39	39	39
r=5 (horas)	136	133	133	132	133	134	133	124
r=6 (horas)	37	38	39	38	40	36	36	36
r=7 (horas)	40	40	40	40	40	40	40	40
r=8 (horas)	24	23	25	23	24	22	22	22

Tabela 10. Horas extras utilizadas em cada recurso nas oito primeiras semanas

Recursos	Horas extras/Semanas							
	1	2	3	4	5	6	7	8
r=1 (horas)	0	0	0	0	0	0	0	0
r=2 (horas)	0	0	0	0	0	0	0	0
r=3 (horas)	0	0	0	0	0	0	0	0
r=4 (horas)	0	0	0	0	0	0	0	0
r=5 (horas)	0	0	0	0	0	0	0	0
r=6 (horas)	0	0	0	0	0	0	0	0
r=7 (horas)	0	0	0	0	0	0	0	0
r=8 (horas)	0	0	0	0	0	0	0	0
Abate (horas)	0	0	0	0	1	0	0	11
Desossa (horas)	0	0	0	0	0	0	0	0

A seguir serão expostas as tabelas referentes a solução do modelo para os níveis de produção e estoque nas primeiras oito semanas do horizonte de planejamento. Nas tabelas a seguir os valores nulos para as dezesseis semanas tiveram a linha ocultada. A tabela mostra a quantidade de cortes que devem ser gerados no estágio I da produção e as tabelas 12 indica a quantidade destes cortes que deve ser armazenada para processamento nas semanas seguintes. Os níveis de produção de produtos acabados são apresentados nas tabelas 13 e os níveis de estoque destes produtos nas tabelas 14.

Tabela 11. Geração de cortes no Estágio I nas oito primeiras semanas

Geração de Cortes (kg) / Semanas								
Cortes (j)	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1.317	1.975	1.588	2.026	2.072	2.026	2.334	1.317
2	14.676	22.012	17.690	22.579	23.088	22.579	26.002	14.676
3	903	1.355	1.089	1.389	1.421	1.389	1.600	903
4	1.844	2.766	2.223	2.837	2.901	2.837	3.267	1.844
5	1.073	1.609	1.293	1.650	1.687	1.650	1.900	1.073
6	0	302	350	350	350	350	350	0
7	2.540	3.598	2.817	3.663	3.751	3.663	4.256	2.540
8	376	564	454	579	592	579	667	376
9	564	847	680	868	888	868	1.000	564
10	0	0	278	300	163	300	300	0
11	564	847	650	836	870	836	968	564
12	2.822	4.233	3.252	4.181	4.352	4.181	4.839	2.822
13	376	564	434	557	580	557	645	376
14	66	99	76	98	102	98	113	66
16	0	52.924	15.920	53.817	58.970	37.368	47.342	0
17	0	0	0	0	0	15.943	31.442	0
18	74.000	75.963	80.000	80.000	80.000	80.000	80.000	74.000
21	3.067	2.777	3.004	3.410	2.586	3.000	3.125	3.067
22	5.936	7.542	6.653	6.977	7.576	7.426	7.973	5.936
23	1.678	1.940	1.806	1.939	1.914	1.955	2.083	1.678
24	624	721	671	721	711	727	774	624
25	883	1.021	951	1.021	1.008	1.030	1.097	883
28	6.050	6.995	6.513	6.991	6.901	7.052	7.512	6.050
30	1.642	1.225	1.672	1.301	2.078	554	319	1.642
31	613	457	624	486	776	207	119	613
32	701	523	713	555	887	237	136	701
33	3.667	4.826	4.031	4.756	4.005	5.456	6.048	3.667
34	3.470	4.567	3.815	4.501	3.790	5.163	5.723	3.470
35	695	804	749	804	793	811	863	695
36	3.205	3.218	3.497	3.685	3.064	3.126	3.737	3.205
37	3.363	3.404	3.030	3.331	3.517	3.657	3.105	3.363
38	1.234	1.880	1.692	1.786	1.786	1.786	2.286	1.234
39	2.159	2.588	2.316	2.499	2.574	2.631	2.727	2.159
40	551	661	591	638	657	672	696	551
41	2.473	2.964	2.652	2.861	2.948	3.013	3.122	2.473
42	3.374	4.659	3.938	4.662	4.636	4.790	5.422	3.374
43	483	655	556	666	673	668	749	483
44	2.821	3.262	3.037	3.260	3.218	3.288	3.502	2.821
45	3.036	3.795	3.304	3.821	3.830	3.841	4.243	3.036
46	981	1.304	1.169	1.249	1.270	1.285	1.471	981
Total	153.829	231.446	185.779	237.648	242.986	237.601	273.859	262.263

Tabela 12. Estoque de cortes ao final de cada semana

Estoque de cortes (kg) / Semanas								
Cortes (j)	1	2	3	4	5	6	7	8
3	894	822	416	213	617	1.207	1.787	2.497
5	1.410	2.418	3.111	4.161	5.046	5.894	6.992	8.017
6	48	0	0	0	0	0	0	0
8	935	1.100	1.153	1.332	1.322	1.299	1.364	1.403
9	53	53	0	0	0	0	0	0
10	359	159	137	137	0	0	0	0
11	231	210	27	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	706	1.230
13	275	275	275	275	275	275	667	667
14	200	200	181	154	145	145	170	170
20	93	93	93	93	93	93	93	93
21	156	0	0	0	0	0	0	0
22	862	0	0	0	0	0	0	0
25	1.882	2.904	3.855	4.876	5.883	6.913	7.959	7.328
28	0	0	0	0	0	3.235	549	549
30	777	777	777	777	1.837	834	0	2.181
34	560	560	560	560	560	0	0	0
38	0	94	0	0	0	0	0	191
40	204	0	0	0	0	0	0	0
41	1.055	1.087	1.210	1.876	1.896	1.896	1.997	1.997
42	2.491	4.277	4.992	6.620	6.620	9.786	9.786	14.295
43	1.174	0	0	0	0	0	0	0
44	394	497	497	905	905	905	3.236	5.274
46	531	834	1.004	1.253	1.253	1.253	1.271	1.740
Total	14.584	16.360	18.288	23.232	26.452	33.735	36.576	47.629

Tabela 13. Produtos acabados produzidos nas oito primeiras semanas em quilos

Produção (kg) / Semanas								
Produtos (i)	1	2	3	4	5	6	7	8
1	2.249	1.975	1.588	2.026	2.072	2.026	2.334	2.243
2	15.158	22.012	17.690	22.579	23.088	22.579	26.002	24.996
3	884	1.427	1.494	1.593	1.017	799	1.020	828
4	2.793	2.766	2.223	2.837	2.901	2.837	3.267	3.141
5	200	200	200	200	200	200	200	200
6	350	350	350	350	350	350	350	350
7	1.660	2.012	1.625	2.277	2.354	2.966	2.561	2.132
8	400	400	400	400	602	602	602	602
9	400	400	400	400	602	602	602	602
10	944	847	734	868	888	868	1.000	961
11	200	200	300	300	300	300	300	600
12	828	776	707	769	743	799	931	818
13	3.415	4.233	3.252	4.181	4.352	4.181	4.132	3.960
14	493	564	434	557	580	557	254	598
15	108	99	95	124	110	98	88	105
17	0	52.924	15.920	53.817	58.970	37.368	47.342	30.133
18	0	0	0	0	0	15.943	31.442	23.857
19	74.000	75.963	80.000	80.000	80.000	80.000	80.000	80.000
20	779	0	0	0	0	0	0	0
21	28	0	0	0	0	0	0	0
22	3.067	2.933	3.004	3.410	2.586	3.000	3.125	2.875
23	0	0	174	0	0	2.740	3.000	2.561
26	0	0	0	0	0	0	51	2.000
27	565	0	0	0	0	0	0	0
28	120	0	0	0	0	0	0	0
29	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
30	341	0	0	0	0	0	0	0
31	1.642	1.225	1.672	1.301	1.018	1.558	1.153	1.029
32	1.288	457	624	486	776	207	119	1.198
33	989	523	713	555	887	237	136	1.369
34	689	1.122	328	1.052	301	2.216	2.807	1.863
35	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
36	849	804	749	804	793	811	863	1.078
37	0	0	0	0	0	0	0	0
38	3.566	3.218	3.497	3.685	3.064	3.126	3.737	3.024
39	3.575	3.404	3.030	3.331	3.517	3.657	3.105	3.997
40	0	0	0	0	0	0	501	1.281
42	344	356	84	266	342	399	494	1.478
43	1.303	865	591	638	657	672	696	948
44	2.268	2.932	2.529	2.195	2.928	3.013	3.021	4.249
45	2.004	2.149	2.418	2.270	3.791	1.477	4.323	269
46	2.309	1.829	556	666	673	668	749	791
47	2.099	2.885	2.657	2.570	2.835	3.178	1.061	2.097
48	3.136	3.795	3.304	3.821	3.830	3.841	4.243	4.767
49	550	1.000	1.000	1.000	1.270	1.285	1.453	1.579
50	1.077	808	752	807	797	814	867	1.082
51	2.541	2.173	2.023	2.171	2.143	2.190	2.333	2.911
52	3.540	4.000	4.000	4.000	4.000	3.500	3.500	3.500
53	1.910	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
54	3.000	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500
55	1.382	2.413	1.706	2.351	1.683	3.500	3.500	2.660
58	2.936	3.433	2.848	3.676	3.185	0	9.074	6.949
59	7.206	11.145	8.114	9.095	9.660	6.334	6.741	11.092
60	2.853	1.822	2.529	1.885	2.553	735	735	1.575
Total	167.039	231.939	185.814	234.813	241.919	231.734	273.316	253.850

Tabela 14. Estoque de produtos acabados ao final de cada semana

Produtos (i)	Estoque (kg) / Semanas							
	1	2	3	4	5	6	7	8
10	0	31	0	0	0	86	386	369
11	0	0	0	0	0	0	0	300
13	0	0	222	57	0	317	0	43
14	0	107	0	25	143	248	0	92
15	0	19	0	0	28	0	0	0
22	67	0	4	414	0	0	125	0
44	0	0	0	0	0	94	957	2.712
45	0	0	0	0	1.013	28	2.037	0
47	0	222	0	329	596	1.031	0	0
49	0	0	0	0	270	51	0	75
Total	67	378	226	825	2.050	1.856	3.504	3.591

Com base nos resultados apresentadas no cenário base, uma análise do comportamento de sincronia entre demanda, produção nos dois estágios e níveis de estoque foi realizada para verificar se as soluções apontadas estão alinhadas com a expectativa. A figura 19 ilustra uma previsão de demanda para um produto extremamente sazonal (pé salgado) onde existe demanda principalmente em determinada época do ano.

Figura 19. Previsão de demanda para i=9 nas dezesseis semanas

Nota-se pela figura 20 que o modelo sugere o comportamento esperado para níveis de estoque entre cortes (coprodutos intermediários) e produtos finais. Observa-se que a produção do corte j=5 (pé dianteiro) é relativamente constante pois é uma estrutura de geração espontânea no processamento da carcaça. Observa-se apenas uma ligeira tendência de alta em função do aumento dos abates. Esse corte (j=5) é a matéria prima utilizada para produzir o

produto $i=9$ (pé salgado). Logo, constata-se que para atender a demanda futura, deste produto acabado, o modelo sugere a estocagem do corte $j=5$ para futuramente ser transformado em produto acabado. Esta estratégia sugerida evita que ocorra falta do produto $i=9$ em todo o período de planejamento.

Figura 20. Equilíbrio entre estoque e produção para atender a demanda sazonal.

5.4. Análises de Sensibilidade

Com o intuito de verificar a robustez do modelo algumas alterações propositais foram realizadas nos dados de entrada para provocar respostas condizentes com o objetivo global. Quatro fatores foram eleitos para provocar esta variação: capacidade, oferta de animais, demanda e preços de venda.

Para avaliar as alterações no fator capacidade um recurso será utilizado para esta finalidade. Nota-se que o recurso $r=3$ (cozimento) é um gargalo de produção, pois não possui ociosidade. Este recurso é utilizado na produção dos produtos $i = 55, 56, 57$ e 60 . Neste cenário observa-se que o modelo não indica a produção dos produtos $i=56$ e $i=57$ e nenhuma das semanas de planejamento ocorrendo falta destes produtos em todo o período. Isso ocorre, pois, como o recurso é escasso, os produtos $i=60$ e $i=55$ oferecem maior rentabilidade, portanto são priorizados.

A situação simulada baseia-se no fato de um suposto investimento em máquinas de cozimento para triplicar a capacidade. As figuras 21, 22 e 23 ilustram as modificações nas soluções para o cenário base e o cenário da capacidade aumentada.

Figura 21. Níveis de produção e falta para os produtos i=55 e i=60 – Cenário Base

Figura 22. Níveis de produção e falta dos produtos i=55 e i=60 - Aumento da capacidade de r=3

Figura 23. Ociosidade do recurso $r=3$ nas dezesseis semanas – Aumento da capacidade de $r=3$

Observa-se que com o aumento da capacidade do recurso $r=3$ a demanda pelo produto $i=55$ é plenamente atendida e a falta da $i=60$ que no cenário base era alta, ocorre apenas em algumas semanas. Os produtos $i=56$ e $i=57$ não foram produzidos mesmo com o aumento da capacidade e, como a figura 23 revela ociosidade no recurso, pressupõe-se que os produtos alternativos a eles e também ao $i=60$ podem estar apresentando maiores ganhos para o objetivo global.

Partindo das constatações em relação à ociosidade do recurso $r=3$ neste cenário de capacidade aumentada, o efeito preço será analisado a partir desta premissa. O produto $i=57$ sofrerá um aumento de preço de 25% e seus níveis de produção serão analisados no cenário onde a capacidade está aumentada. Na figura 24, é possível notar o plano de produção para o produto $i=34$ que é alternativo ao produto $i=57$ no cenário onde a capacidade de $r=3$ está triplicada e o preço de venda de $i=57$ está estável. Como já observado, não houve indicação de produção do produto $i=57$ neste cenário.

Figura 24. Níveis de produção de i=34 nas dezesseis semanas – Aumento de capacidade em $r=3$

Após os reajustes de preço, o comportamento dos níveis de produção foi alterado conforme ilustrado na figura 25. A solução do modelo para apontar a produção de i=34 e sugere a produção de i=57 em determinada quantidade. Nota-se também que a falta do produto i=55, que era nula no cenário onde apenas a capacidade de $r=3$ estava aumentada, foi positiva em algumas semanas. Como as variáveis que influenciam as decisões do modelo são muitas, a solução indica uma pequena produção da i=34 na décima terceira semana e uma paralização na produção de i=57 na décima quarta. Neste caso específico constatou-se que houve um aumento na demanda para o produto i=55, portanto, o modelo indicou paralisar a produção de i=57 que utiliza o mesmo recurso e produzir um pouco de i=34 para dar vazão à matéria prima (corte). Destaca-se que, neste cenário a ociosidade de $r=3$ foi nula durante as dezesseis semanas, mesmo com a capacidade triplicada.

Figura 25. Níveis de produção de i=34 e i=57 nas dezesseis semanas – Aumento de capacidade em $r=3$ e aumento de preço em i=57

Na verificação do efeito da demanda o produto i=31 foi utilizado já que é um dos produtos acabados cuja falta é nula nas dezesseis semanas do cenário base. A demanda deste produto foi aumentada em 35% e o modelo apresentou uma solução com várias alterações em relação ao cenário base. Na figura 26 é possível observar uma comparação entre a falta do produto i=32 no cenário base e no cenário com a demanda de i=31 elevada. Como os dois produtos são originários de cortes “irmãos”, ou seja, são complementares, a elevação na demanda de i=31 permitiu que mais quantidade de i=32 fosse gerada para atender sua demanda potencial.

Figura 26. Comparação entre a falta do produto $i=32$ entre os cenários, base e com a demanda de $i=31$ elevada, para as dezesseis semanas.

A última análise feita para colaborar com a verificação do modelo foi o teste do fator oferta de animais vivos. Um incremento de 20% nos animais da fase $k=1$ foi provocado para avaliar os efeitos. Se o incremento fosse muito elevado, a solução poderia ser inviável já que a capacidade de abate é um impedimento e as horas extras são limitadas a 25%. A figura 27 apresenta as horas extras decorridas do aumento da oferta.

Figura 27. Comparativo de horas extras no abate para os dois cenários durante as dezesseis semanas

Como previsto, o aumento da oferta impactou positivamente no aumento do faturamento da empresa, entretanto, a margem global da função objetivo diminuiu conforme pode ser observado na tabela 15. A causa desta diminuição da função objetivo foi o aumento do custo da falta. O aumento do abate impulsionado pela oferta ocasionou a inevitável geração de muitos cortes. Como a demanda continuou inalterada o modelo precisou indicar a fabricação de produtos que contribuíssem para a vazão destes cortes já que a estocagem é limitada. Dessa forma, muitos produtos com demanda estável foram preteridos a outros que contribuíssem para a vazão destes cortes.

Esta resposta do modelo era esperada uma vez que houve um descompasso entre oferta de matéria prima e demanda por produtos acabados. Mesmo que alguns produtos possuam demanda muito elevada outros, derivados de cortes de geração inevitável no abate, apresentam a demanda bastante reduzida.

Ainda foi notado que, a margem de contribuição (excluindo os custos de falta) apesar de ter aumentado em relação ao cenário base não aumentou na mesma proporção. Isso pode ser explicado basicamente pelo fato de que o aumento do abate levou o modelo a sugerir vendas de produtos menos rentáveis. Novamente, como a coprodução gera produtos de baixa demanda ou que necessitam um processamento para a venda, as capacidades e demandas não foram o suficiente para absorver toda a oferta de animais e simultaneamente garantir um

aproveitamento rentável dos mesmos. A figura 28 ilustra a comparação da participação da produção das carcaças (i=16, 17, 18 e 19), produtos que integram boa parte dos produtos gerados do animal, para o cenário base e o cenário de oferta elevada. Em média, com o aumento da oferta de animais, a participação das carcaças na produção foi 6% superior.

Figura 28. Percentual de produção de carcaças nos dois cenários para as dezesseis semanas

Como a finalidade de qualquer modelo matemático é alcançar maior rentabilidade, na sequência será apresentado um resumo de resultados financeiros prováveis que seriam atingidas com as soluções apontadas pelo modelo no cenário base e na avaliação dos quatro parâmetros de entrada discutidos anteriormente. A tabela 15 apresenta os dados dos supostos resultados financeiros em unidades monetárias.

Tabela 15. Projeção de resultados financeiros no período de dezesseis semanas para os quatro cenários da análise de sensibilidade

	Cenário Base	Fator Capacidade	Fator Preço	Fator Demanda	Fator Oferta
	Base	3 x capRec (r=3)	3 x capRec(r=3) 1,25 x pv (i=57)	1,35 x d (i=31)	1,2 x O _{k,1} (k=1)
A - Margem Global (Função Objetivo)	2.082.435	2.239.821	2.268.140	2.107.780	2.067.099
B - Receitas Projetadas	18.554.351	18.766.025	18.809.957	18.551.766	20.345.85
(-) Custos Totalmente Variáveis	564.388	647.415	641.888	567.787	602.580
(-) Custos Congelamento Cortes(j)	10.483	9.650	10.281	10.638	10.158
(-) Custo Estoque Cortes (j)	24.987	25.227	25.160	24.988	29.320
(-) Custo Estoque Produtos (i)	923	1.152	1.274	1.019	697
(-) Custo Horas Extras	41.153	40.997	40.997	41.046	61.551
(-) Custo Animais Vivos	15.163.401	15.166.664	15.183.464	15.157.830	16.693.05
C- Custos Variáveis Totais	15.805.335	15.891.105	15.903.065	15.803.308	17.397.36
D - Margem de Contribuição (B - C)	2.749.016	2.874.920	2.906.893	2.748.459	2.948.495
E - Custo de Falta (D - A)	666.581	635.099	638.752	640.678	881.395
F - Custo Fixo	1.800.000	1.800.000	1.800.000	1.800.000	1.800.000
G - Lucro Esperado (D - F)	949.016	1.074.920	1.106.893	948.459	1.148.495
	5,11%	5,73%	5,88%	5,11%	5,64%

Nos Apêndices será possível visualizar o relatório de saída do modelo e verificar que o planejamento está em sintonia com os dados de entrada e também dos objetivos propostos para a resolução do problema.

6. Conclusões e considerações

A pesquisa apresentada nesta dissertação procurou criar um modelo de apoio a decisões que fosse genérico para a agroindústria frigorífica utilizando dados embasados em um problema real de uma empresa representativa deste setor. A concepção do sistema de produção estudado em um modelo conceitual foi o passo inicial na elaboração do modelo, seguida de um programa de geração de dados (Programa de Geração de Padrões – PGP) e uma formulação matemática baseada e programação inteira mista (PIM).

O modelo de planejamento agregado da produção construído (PAP) apresentou agregação apenas nos tempos e nos recursos, facilitando um procedimento para desagregação do modelo e a elaboração do plano mestre de produção (PMP) e os demais planejamentos de nível operacional.

A solução de planejamento apontada pelo modelo foi consistente para a situação estudada no que se refere ao nível tático. As decisões sugeridas pelo modelo apresentaram resultados superiores às aquelas possivelmente tomadas intuitivamente ou suportada por simples planilhas de simulação. Foi constatado também que o modelo se mostrou robusto em função das oscilações nos dados de entrada, gerando soluções mais alinhadas com os objetivos. Outro ponto de destaque foi que o modelo também apresentou boas soluções no tocante a otimização de mix de produtos, priorizando sempre o que apresentasse maiores margens globais.

De modo geral, o trabalho desenvolvido criou um modelo com validade para a situação específica de uma empresa. Entretanto, para aplicações e outros sistemas algumas adaptações devem ser realizadas. Acredita-se que, o modo de concepção do modelo bem como as rotinas que antecederam a formulação matemática tenham gerado uma contribuição importante na aplicação de modelos de planejamento para a agroindústria frigorífica e também para outras indústrias envolvendo processos divergentes e coprodução. Espera-se que este trabalho incentive demais pesquisas aperfeiçoando a aplicação de modelos de planejamento nestas indústrias.

Ainda, sem prejuízo para a qualidade da solução apresentada pelo modelo, algumas limitações devem ser elencadas de modo a sugerir alterações que colaborem para a qualidade da solução em aplicações futuras em diferentes sistemas.

A primeira limitação que deve ser discutida refere-se às restrições de oferta de animais vivos que neste modelo são consideradas lineares. Ou seja, o modelo pressupõe que os animais têm um ganho de peso constante e que sempre atingirão o peso mínimo de abate na décima terceira semana. Essa consideração pode ser feita para efeito de planejamento agregado em sistemas verticalizados onde a condição sanitária do plantel é muito homogênea, no entanto, o desempenho do lote de animais (ganho de peso) pode variar de uma granja para a outra em função da sanidade e nutrição, causando impacto no suprimento de animais para abate.

No modelo apresentado, esse desvio pode ser minimizado no momento em que se atualiza o estoque inicial de animais nas fases (faixas de peso) e o valor da taxa de incremento de peso (α_k). Soma-se a isso o fato de que o uso do modelo deve levar em consideração o conceito do horizonte de planejamento rolante. Todavia, para uma abordagem mais precisa deste problema, deveriam ser modificadas as restrições de modo que o acompanhamento da oferta seja realizado com pelo menos quatro semanas de antecedência. Também poderia ser considerado o suprimento de animais por diferentes origens, cada qual com uma taxa de incremento específica.

Outra limitação constatada é que modelo não leva em consideração o capital de giro necessário para manter o fluxo de caixa da empresa equilibrado. Como este trabalho foi desenvolvido para uma situação que produz produtos de ciclo de produção curto e cujos prazos de venda são reduzidos, essa limitação tem impactos minimizados. Entretanto, caso a lucratividade almejada englobe as operações de produção agropecuária também, o capital de giro passa a ser uma variável fundamental no modelo. Os níveis de oferta de animal vivo sugerida pelo modelo indicam que há um aumento de estoque de animais vivos para atender a demanda por animais pesados e, portanto, fica evidente a alta exigibilidade de capital envolvida.

Além das duas limitações ressalva-se que o modelo apresentado trabalha com demanda determinística o que não é frequentemente a realidade da indústria. Apesar da percepção de que, trabalhar com demandas estocásticas, possa não apresentar melhores soluções para o planejamento tático, esta seria uma extensão imediata deste trabalho. Uma segunda extensão seria considerar as variações no crescimento dos animais vivos e a disponibilidade de capital de giro, conforme discutido anteriormente.

7. Referências Bibliográficas

ABIEPCS. Associação Brasileira das Indústria Exportadoras de Carne Suína. Disponível em www.abiepcs.com.br. Acesso em 10 de fevereiro de 2014.

ARAUJO, S. A. **Modelos e Métodos para planejamento e programação da produção aplicados no setor de fundições**. Tese de Doutorado. Programa de doutorado em Ciência de Computação e Matemática Computacional – ICMC-USP. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2003.

ARENALES, M.; ARMENTANO, V., MORABITO, R.; YANASSE, H. **Pesquisa Operacional**. 1ª edição. Elsevier. Rio de Janeiro, 2007.

BALLOU, R.H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos**. 4ª ed. Porto alegre: Bookman, 2001.

BLOEMEN, R.; MAES, J. *A DSS for optimizing the aggregate production planning at Monsanto Antwerp*. European Journal of Operational Research. 1992. V.70 p 30-40.

BRANTZ, D. **Animal Bodies, Human Health and the Reform of Slaughterhouses in Nineteenth-Century Berlin**. Food & History, 2005. V. 3, n. 2. P. 193-215.

CARVALHO, M. D. **Proposta de um modelo de planejamento agregado da produção numa usina de açúcar e álcool vinculado a flutuação de preços em mercados á vista e no mercado futuro**. Dissertação de Mestrado. São Paulo. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade de São Paulo, 2009.

CASSEL, R. A; ANTUNES Jr., J. A. V; OENNING, V. **Maximização da lucratividade em produção conjunta: um caso na indústria frigorífica**. Produção, v. 16, n. 2, p. 244-257, Maio/Ago. 2006.

CHASE, R. B.; AQUILANO, N. J. **Production and Operation Management: manufacturing and services**. 7ª ed. Chicago: Irwin. 1995.

CHU, S. C. K. *A mathematical programming approach towards optimized master production scheduling*. International Journal of Production Economics, Volume 38, Issues 2–3, March 1995, pp 269-279.

CORRÊA, H. L.; GIANESI, G. N.; CAON, M. **Planejamento, programação e controle da produção**. 4ª edição. Atlas. São Paulo, 2001.

DAVIS, M. M.; AQUILANO, N. J., CHASE, R. B. **Fundamentos de administração da produção**. 3ª edição. Editora Bookman. Porto Alegre, 2001.

ENTRUP, M. L. *Advanced Planning in Fresh Food Industries: integrating shelf life into production planning*. Physica-Verlag Heidelberg. Belin, 2005.

HAX, A. C.; CANDEA, D. *Production and Inventory Management*. Presentice-Hall, New Jersey, 1984

JUNQUEIRA, R. A. R.; MORABITO, R. Um modelo de otimização linear para o planejamento agregado da produção e logística de sementes de milho. *Prod.*, Dez 2006, vol.16, no.3, p.510-525. ISSN 0103-6513

KING, B. E.; BENTON, W. C. *Alternative master production scheduling techniques in an assemble-to-order environment*. Journal of Operations Management, Volume 7, Issues 1–2, October 1987, pp. 179-201.

LEWIS, H. S.; SWEUGART, J. R.; MARKLAND, R. E. *Master scheduling in assenble-to-order enviroments - A capacitated multiobjctive lot-sizing model*. Decision Sciences, v. 23, n. 1, p. 21-43, 1992.

LI, Z.; TANG, H.; TU, H. *An expert simulation system for the master production schedule*. Computers in Industry, Volume 19, Issue 1, April 1992, pp. 127-133.

LUSTOSA, L.; NANJI, L. C. “Planejamento Agregado e Planejamento Mestre da Produção”. In: Lustosa, L., *et al.*, Planejamento e Controle da Produção. 1ª edição. Capítulo 8. Editora Campus/Elsevier. Rio de Janeiro, 2008.

MESQUITA, M. A.; SANTORO, M. C. **Análise de Modelos e práticas de planejamento e controle da produção na indústria farmacêutica**. Produção, Vol. 4, n. 1, pp. 64-77. 2004

MIELE, M.; WAQUIL, P. D. **Transação entre suinocultor e agroindústria em Santa Catarina**. Comunicado Técnico 428. Embrapa Suínos e Aves, Concórdia, SC, 2006.

MIRZAPOUR AI-E-HASHEM, S.M.J.; MALEKLY, H.; ARYANEZHAD, M. B. *A multi-objective robust optimization model for multi-product multi-site aggregate production*

planning in a supply chain under uncertainty. International Journal of Production Economics, Volume 134, issue 1, November 2011. pp. 28-42

MULA, J.; POLER, R.; GARCIA-SABATER, J. P.; LARIO, F. C. *Models for production planning under uncertainty: A review*. International Journal of Production Economics. Vol 103, issue 1. September 2006. pp. 271-285.

MUNHOZ, J. R.; MORABITO, R. **Otimização no planejamento agregado de produção em indústrias de processamento de suco concentrado congelado de laranja**. *Gest. Prod.*, 2010, vol.17, no.3, p.465-481. ISSN 0104-530X

PAIVA, R. P. O.; MORABITO, R. **Um modelo de otimização para o planejamento agregado da produção em usinas de açúcar e álcool**. *Gest. Prod.*, Abr 2007, vol.14, no.1, p.25-41. ISSN 0104-530X

PAIVA, R. P. O.; MORABITO R. **Programação estocástica robusta aplicada ao planejamento agregado de safra em usinas cooperadas do setor sucroenergético**. *Gest. Prod.*, 2011, vol.18, no.4, p.719-738. ISSN 0104-530X

PARDI, M.C.; SANTOS, I. F.; SOUZA, E. R.; PARDI, H. S. **Ciência, higiene e tecnologia da carne. Volume I**.

PRADO JUNIOR, C. **História Econômica do Brasil**. 24ª Edição. São Paulo: Editora Brasiliense, 1980.

PROTO, L.O.Z. **Um modelo para planejamento agregado da produção e distribuição, com múltiplas localidades produção em dois estágios**. Dissertação de mestrado. São Paulo. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade de São Paulo, 2006.

RAA, B.; DULLAERT, W.; AGHEZZAF, E. *A metaheuristic for aggregate production-distribution planning with mould sharing*. International Journal of Production Economics, 2013, vol. 145. pp 29-37.

SDPI/RS. **Programa Setorial, Agroindústria, Carne Suína 2012-2014**. Secretaria de desenvolvimento e promoção do investimento do estado do Rio Grande do Sul. 2012.

SILVA FILHO, O. S.; CARVALHO, M. F. H.; HENRIQUE, M. M. e FERNANDES, C.A. **Planejamento agregado da produção ótimo com limite mínimo de estoque influenciado pelas incertezas de demanda**. *Gest. Prod.* 1995, vol.2, n.1, pp. 8-24. ISSN 0104-530X.

SCHUTZ, P.; TOMARGARD, A. The impact of flexibility on operational supply chain planning. *International Journal of Production Economics*, 2011, vol 134, pp. 300-3011.

TANG J. C.S.; ADULBHAN, P.; ZUBAIR,T. *An aggregate production planning for a heavy manufacturing industry*. *European Journal of Operational Research*. May 1981, vol. 7, issue 1, p.22-29

VACCARO, G. L. R.; RODRIGUES, L. H. e MENEZES, F. M. **Um estudo da implantação de um otimizador de mix para o setor agropecuário**. *Gest. Prod.*, Maio 2006, vol.13, no.2, p.283-295. ISSN 0104-530X

VOLLMAN, T. E.; BERRY, W. L.; WHYPARK, D. C. *Manufacturing planning and control systems*. 4^a edição. Irwin-McGraw-Hill, 1997.

WAGNER, H. M.; WHITIN, T. M. **Dynamic version of the Economic Lot Sizing Model**. *Management Science*. 1958, v. 5, n. 1, p. 89-96.

WANG, R.; FANG, H. *Agregate production planning with multiple objectives in a fuzzy environment*. *European Journal of Operational Research*. Vol. 133, 2001, pp. 521

APÊNDICES

Apêndice A – Dados de Entrada do PGP – Tabela de Estruturas para cada faixa de peso k

K=1				K=2			
Código	Rend	Pai	Filho	Código	Rend	Pai	Filho
1000	1	1000	1	1000	1	1000	1
1	0,0074	1000	2	1	0,0074	1000	2
2	0,0821	1000	3	2	0,0821	1000	3
3	0,0051	1000	100	3	0,0051	1000	100
4	0,0103	1000	4	4	0,0103	1000	4
5	0,0060	1000	200	5	0,0060	1000	200
6	0,0203	1000	5	6	0,0203	1000	5
7	0,0142	1000	6	7	0,0142	1000	6
8	0,0021	1000	8	8	0,0021	1000	8
9	0,0032	1000	400	9	0,0032	1000	400
10	0,0293	1000	9	10	0,0293	1000	9
11	0,0032	1000	101	11	0,0032	1000	101
12	0,0158	1000	201	12	0,0158	1000	201
13	0,0021	1000	202	13	0,0021	1000	202
14	0,0004	1000	10	14	0,0004	1000	10
15	0,7050	1000	15	15	0,7050	1000	15
16	0,7060	8	7	16	0,7060	8	7
17	0,7070	8	300	17	0,7070	8	300
18	0,7080	10	11	18	0,7080	10	11
19	0,2271	10	12	19	0,2271	10	12
20	0,1711	10	13	20	0,1711	10	13
21	0,1320	10	14	21	0,1320	10	14
22	0,1164	10	203	22	0,1164	10	203
23	0,0226	15	36	23	0,0226	16	36
24	0,0084	15	19	24	0,0084	16	19
25	0,0119	15	26	25	0,0119	16	26
26	0,1344	15	35	26	0,1344	16	35
27	0,1005	15	29	27	0,1005	16	29
28	0,0815	19	102	28	0,0815	19	102
29	0,1423	19	600	29	0,1423	19	600
30	0,0789	19	301	30	0,0789	19	301
31	0,0295	19	25	31	0,0295	19	25
32	0,0337	19	20	32	0,0337	19	20
33	0,0686	20	21	33	0,0686	20	21
34	0,0649	20	23	34	0,0649	20	23
35	0,0094	20	24	35	0,0094	20	24
36	0,1980	21	22	36	0,1980	21	22
37	0,0913	21	103	37	0,0913	21	103
38	0,0582	21	204	38	0,0582	21	204
39	0,0372	36	37	39	0,0372	36	37
40	0,0095	36	39	40	0,0095	36	39
41	0,0426	36	500	41	0,0426	36	500
100	0,0052	36	0	100	0,0052	36	0
101	0,0037	36	41	101	0,0037	36	41
102	0,0038	36	107	102	0,0038	36	107
103	0,0018	37	38	103	0,0018	37	38
104	0,0073	37	501	104	0,0073	37	501
105	0,0088	37	104	105	0,0088	37	104
106	0,003	29	105	106	0,003	29	105
107	0,0142	29	700	107	0,0142	29	700
200	0,0231	29	31	200	0,0231	29	31
201	0,0368	29	32	201	0,0368	29	32
202	0,0172	29	33	202	0,0172	29	33
203	0,0072	26	27	203	0,0072	26	27
204	0,0138	26	302	204	0,0138	26	302
205	0,0070	26	401	205	0,0070	26	401
206	0,0160	26	601	206	0,0160	26	601
300	0,0061	26	205	300	0,0061	26	205
301	0,0155	27	28	301	0,0155	27	28
302	0,0107	27	106	302	0,0107	27	106
400	0,0016	27	206	400	0,0016	27	206
401	0,0027	34	31	401	0,0027	34	31
500	0,0101	34	32	500	0,0101	34	32
501	0,0186	34	700	501	0,0186	34	700
600	0,0248	30	33	600	0,0248	30	33
601	0,0132	30	700	601	0,0132	30	700
700	0,0015	30	105	700	0,0015	30	105

K=3				K=4			
Código	Rend	Pai	Filho	Código	Rend	Pai	Filho
1000	1	1000	1	1000	1	1000	1
1	0,0074	1000	2	1	0,0074	1000	2
2	0,0821	1000	3	2	0,0821	1000	3
3	0,0051	1000	100	3	0,0051	1000	100
4	0,0103	1000	4	4	0,0103	1000	4
5	0,0060	1000	200	5	0,0060	1000	200
6	0,0203	1000	5	6	0,0203	1000	5
7	0,0142	1000	6	7	0,0142	1000	6
8	0,0021	1000	8	8	0,0021	1000	8
9	0,0032	1000	400	9	0,0032	1000	400
10	0,0293	1000	9	10	0,0293	1000	9
11	0,0032	1000	101	11	0,0032	1000	101
12	0,0158	1000	201	12	0,0158	1000	201
13	0,0021	1000	202	13	0,0021	1000	202
14	0,0004	1000	10	14	0,0004	1000	10
15	0,7050	1000	15	15	0,7050	1000	15
16	0,7060	8	7	16	0,7060	8	7
17	0,7070	8	300	17	0,7070	8	300
18	0,7080	10	11	18	0,7080	10	11
19	0,2271	10	12	19	0,2271	10	12
20	0,1711	10	13	20	0,1711	10	13
21	0,1320	10	14	21	0,1320	10	14
22	0,1164	10	203	22	0,1164	10	203
23	0,0226	17	36	23	0,0226	18	36
24	0,0084	17	19	24	0,0084	18	19
25	0,0119	17	26	25	0,0119	18	26
26	0,1344	17	35	26	0,1344	18	35
27	0,1005	17	29	27	0,1005	15	29
28	0,0815	19	102	28	0,0815	19	102
29	0,1423	19	600	29	0,1423	19	600
30	0,0789	19	301	30	0,0789	19	301
31	0,0295	19	25	31	0,0295	19	25
32	0,0337	19	20	32	0,0337	19	20
33	0,0686	20	21	33	0,0686	20	21
34	0,0649	20	23	34	0,0649	20	23
35	0,0094	20	24	35	0,0094	20	24
36	0,1980	21	22	36	0,1980	21	22
37	0,0913	21	103	37	0,0913	21	103
38	0,0582	21	204	38	0,0582	21	204
39	0,0372	36	37	39	0,0372	36	37
40	0,0095	36	39	40	0,0095	36	39
41	0,0426	36	500	41	0,0426	36	500
100	0,0052	36	0	100	0,0052	36	0
101	0,0037	36	41	101	0,0037	36	41
102	0,0038	36	107	102	0,0038	36	107
103	0,0018	37	38	103	0,0018	37	38
104	0,0073	37	501	104	0,0073	37	501
105	0,0088	37	104	105	0,0088	37	104
106	0,003	29	105	106	0,003	29	105
107	0,0142	29	700	107	0,0142	29	700
200	0,0231	29	31	200	0,0231	29	31
201	0,0368	29	32	201	0,0368	29	32
202	0,0172	29	33	202	0,0172	29	33
203	0,0072	26	27	203	0,0072	26	27
204	0,0138	26	302	204	0,0138	26	302
205	0,0070	26	401	205	0,0070	26	401
206	0,0160	26	601	206	0,0160	26	601
300	0,0061	26	205	300	0,0061	26	205
301	0,0155	27	28	301	0,0155	27	28
302	0,0107	27	106	302	0,0107	27	106
400	0,0016	27	206	400	0,0016	27	206
401	0,0027	34	31	401	0,0027	34	31
500	0,0101	34	32	500	0,0101	34	32
501	0,0186	34	700	501	0,0186	34	700
600	0,0248	30	33	600	0,0248	30	33
601	0,0132	30	700	601	0,0132	30	700
700	0,0015	30	105	700	0,0015	30	105

Apêndice B – Exemplo de dois padrões gerados pelo PGP após adaptação

Cortes (j)	Padrão A				Padrão B			
	k=1	k=2	k=3	k=4	k=1	k=2	k=3	k=4
1	0,0073684	0,0073684	0,0073684	0,0073684	0,0073684	0,0073684	0,0073684	0,0073684
2	0,0821053	0,0821053	0,0821053	0,0821053	0,0821053	0,0821053	0,0821053	0,0821053
3	0,0050526	0,0050526	0,0050526	0,0050526	0,0050526	0,0050526	0,0050526	0,0050526
4	0,0103158	0,0103158	0,0103158	0,0103158	0,0103158	0,0103158	0,0103158	0,0103158
5	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006
6	0	0	0	0	0,0203158	0,0203158	0,0203158	0,0203158
7	0,0142105	0,0142105	0,0142105	0,0142105	0	0	0	0
8	0,0021053	0,0021053	0,0021053	0,0021053	0,0021053	0,0021053	0,0021053	0,0021053
9	0,0031579	0,0031579	0,0031579	0,0031579	0,0031579	0,0031579	0,0031579	0,0031579
10	0	0	0	0	0,0293158	0,0293158	0,0293158	0,0293158
11	0,0031579	0,0031579	0,0031579	0,0031579	0	0	0	0
12	0,0157895	0,0157895	0,0157895	0,0157895	0	0	0	0
13	0,0021053	0,0021053	0,0021053	0,0021053	0	0	0	0
14	0,0003684	0,0003684	0,0003684	0,0003684	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0,705	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0,706	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0,707	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0,708
19	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0,1164	0,1164	0,1164	0,1164	0	0	0	0
23	0,0226	0,0226	0,0226	0,0226	0	0	0	0
24	0,0084	0,0084	0,0084	0,0084	0	0	0	0
25	0,0119	0,0119	0,0119	0,0119	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0,0815	0,0815	0,0815	0,0815	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0	0	0	0
32	0	0	0	0	0	0	0	0
33	0,0686316	0,0686316	0,0686316	0,0686316	0	0	0	0
34	0,0649474	0,0649474	0,0649474	0,0649474	0	0	0	0
35	0,0093684	0,0093684	0,0093684	0,0093684	0	0	0	0
36	0	0	0	0	0	0	0	0
37	0	0	0	0	0	0	0	0
38	0,0582	0,0582	0,0582	0,0582	0	0	0	0
39	0,0372	0,0372	0,0372	0,0372	0	0	0	0
40	0,0095	0,0095	0,0095	0,0095	0	0	0	0
41	0,0426	0,0426	0,0426	0,0426	0	0	0	0
42	0,0477842	0,0477842	0,0477842	0,0477842	0,0088421	0,0088421	0,0088421	0,0088421
43	0,0042789	0,0042789	0,0042789	0,0042789	0,0015789	0,0015789	0,0015789	0,0015789
44	0,038	0,038	0,038	0,038	0	0	0	0
45	0,0323053	0,0323053	0,0323053	0,0323053	0	0	0	0
46	0,0287	0,0287	0,0287	0,0287	0	0	0	0

O PGP gerou 581 possibilidades de padrões, no entanto, neste trabalho foram utilizadas apenas 436. Dos 581 padrões, um correspondia ao animal inteiro (código 1000) e 144 padrões apresentaram o corte 700 que é fictício. Nestes dois exemplos de padrões os cortes de código 100 a 700 foram suprimidos. Muitos destes cortes são encarados na indústria como a mesma matéria prima apesar de terem sido gerados a partir de estruturas distintas. Dessa forma eles foram substituídos pelos cortes 42 (soma dos rendimentos dos cortes 100 a 107), 43 (soma dos rendimentos dos cortes 300 a 202), 44 (soma dos rendimentos dos cortes

400 e 401) , 45 (cortes 500 e 501) e 46 (cortes 600 e 601). Os cortes de código 200 a 206 são resíduos e foram descartados do planejamento.

Apêndice C – Dados de Entrada - tamanho de lotes, fator de correção, estoques iniciais de produtos acabados, custo de estocagem unitária de produtos acabados.

Produtos (i)	Tamanho do Lote - lot_i	Fator de correção - l_i	estIniPro(i)	Custo estoque S_i
1	1	1	0	0,05
2	1	1	0	0,05
3	1	1	0	0,05
4	1	1	0	0,05
5	1	1	0	0,05
6	1	1	0	0,05
7	1	1	0	0,05
8	1	1	0	0,05
9	1	1	0	0,05
10	1	1	0	0,05
11	1	1	0	0,05
12	1	1	0	0,05
13	1	1	0	0,05
14	1	1	0	0,05
15	1	1	0	0,05
16	1	1	0	0,05
17	1	1	0	0,05
18	1	1	0	0,05
19	1	1	0	0,05
20	1	1	0	0,05
21	1	1	0	0,05
22	1	1	0	0,05
23	1	1	0	0,05
24	1	1	0	0,05
25	1	1	0	0,05
26	1	1	0	0,05
27	1	1	0	0,05
28	1	1	0	0,05
29	1	1	0	0,05
30	1	1	0	0,05
31	1	1	0	0,05
32	1	1	0	0,05
33	1	1	0	0,05
34	1	1	0	0,05
35	1	1	0	0,05
36	1	1	0	0,05
37	1	1	0	0,05
38	1	1	0	0,05
39	1	1	0	0,05
40	1	1	0	0,05
41	1	1	0	0,05
42	1	1	0	0,05
43	1	1	0	0,05
44	1	1	0	0,05
45	1	1	0	0,05
46	1	1	0	0,05
47	1	1	0	0,05
48	1	1	800	0,05
49	1	1	450	0,05
50	1	1	880	0,05
51	1	1	220	0,05
52	1	1	460	0,05
53	1	1	90	0,05
54	1	1	500	0,05
55	1	1	900	0,05
56	1	1	150	0,05
57	1	1	150	0,05
58	200	1,1	600	0,05
59	200	1,1	600	0,05
60	200	1	200	0,05

Apêndice D - Demanda prevista por produto acabado para as semanas de planejamento em kg

Produtos (i)	Semanas							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	2.256	3.384	3.008	3.008	2.632	2.632	3.384	3.008
2	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000
3	884	1.427	1.494	1.593	1.017	799	1.020	828
4	3.795	3.661	3.678	3.961	3.680	3.762	3.747	3.606
5	200	200	200	200	200	200	200	200
6	350	350	350	350	350	350	350	350
7	3.559	3.975	3.268	3.066	3.644	3.633	3.361	3.039
8	400	400	400	400	602	602	602	602
9	400	400	400	400	602	602	602	602
10	944	816	786	985	888	782	701	978
11	200	200	300	300	300	300	300	300
12	828	776	707	859	780	899	931	818
13	3.933	4.233	3.030	4.346	4.409	3.864	4.449	3.917
14	493	457	541	532	463	452	502	506
15	108	80	114	124	82	126	88	105
16	236.413	208.163	232.256	244.956	201.166	236.940	193.129	203.130
17	217.566	246.043	202.543	183.700	240.892	243.570	224.249	192.215
18	229.539	226.773	218.514	197.205	224.153	229.296	235.614	226.723
19	80.000	80.000	80.000	80.000	80.000	80.000	80.000	80.000
20	3.740	3.625	4.219	3.696	4.548	4.480	3.767	3.124
21	4.176	4.102	3.335	3.538	3.471	4.397	3.415	4.165
22	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
23	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
24	1.274	1.015	1.323	1.771	1.345	1.890	1.293	1.509
25	1.005	1.262	1.735	1.559	1.941	1.789	1.791	1.166
26	400	400	400	400	400	500	1.000	2.000
27	1.884	1.185	1.547	1.366	1.835	1.379	1.259	1.501
28	1.563	1.092	1.704	1.315	1.134	1.350	1.959	1.757
29	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
30	1.143	1.137	1.578	1.619	1.224	1.206	1.263	1.653
31	1.642	1.225	1.672	1.301	1.018	1.558	1.153	1.029
32	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
33	3.298	4.616	4.247	4.249	4.910	3.251	3.317	3.318
34	10.954	12.777	12.588	10.013	17.043	14.302	11.746	17.739
35	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
36	2.910	2.846	2.399	2.629	2.030	2.795	2.423	2.683
37	2.717	2.638	2.598	1.149	1.806	2.460	2.967	1.117
38	3.566	3.218	3.497	3.685	3.064	3.126	3.737	3.024
39	3.575	3.404	3.030	3.331	3.517	3.657	3.105	3.997
40	1.391	1.433	1.316	1.513	1.467	1.908	1.395	1.281
41	5.093	5.136	5.430	5.359	5.503	5.993	5.119	5.122
42	2.701	1.227	1.151	1.657	1.645	2.119	1.018	2.829
43	1.303	1.584	1.517	1.740	1.204	1.035	1.861	1.445
44	2.268	2.932	2.529	2.195	2.928	2.919	2.159	2.494
45	2.004	2.149	2.418	2.270	2.778	2.462	2.314	2.306
46	2.309	2.471	2.272	2.822	2.280	2.784	2.421	2.729
47	2.099	2.663	2.879	2.241	2.568	2.742	2.092	2.097
48	5.461	5.286	5.420	5.215	5.789	5.983	5.590	5.142
49	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.504	1.504	1.504
50	3.500	3.500	3.500	3.500	2.500	2.500	2.500	2.500
51	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
52	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	3.500	3.500	3.500
53	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
54	3.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500
55	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500
56	9.434	11.430	9.929	9.767	10.674	11.836	8.192	11.902
57	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	2.000	4.888	4.512
58	8.177	10.118	10.033	6.453	7.106	9.788	9.897	6.949
59	7.806	11.145	8.114	9.095	9.660	6.334	6.741	11.092
60	10.348	7.073	11.323	11.081	7.567	8.600	6.986	6.472

Produtos (i)	Semanas							
	9	10	11	12	13	4	15	16
1	3.008	3.008	3.158	3.610	3.459	3.309	3.309	3.760
2	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000
3	773	848	1.010	1.167	1.535	1.453	1.033	1.268
4	3.782	3.819	3.702	3.692	3.696	3.896	3.739	3.832
5	200	200	200	200	200	200	200	200
6	350	350	350	350	350	350	350	350
7	3.952	3.364	3.400	3.699	3.757	3.120	3.226	3.362
8	752	752	752	3.000	3.500	4.500	5.000	5.000
9	751	752	752	3.000	3.500	4.500	5.000	5.000
10	952	733	941	872	811	989	769	772
11	300	300	300	300	300	450	450	450
12	860	979	731	897	810	713	830	902
13	3.255	3.773	4.079	4.262	4.335	4.091	3.149	3.534
14	530	511	492	453	542	464	452	541
15	93	149	107	80	119	89	116	107
16	228.075	198.009	234.557	247.898	220.757	207.870	228.387	235.884
17	222.051	191.611	195.922	193.285	191.735	193.287	188.686	207.415
18	193.847	223.052	198.531	249.183	225.140	249.303	197.589	218.691
19	80.000	80.000	80.000	80.000	80.000	80.000	80.000	80.000
20	3.916	4.979	4.468	4.498	4.813	4.625	4.065	3.200
21	3.088	3.101	4.805	4.479	3.276	4.337	3.018	4.667
22	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
23	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
24	1.028	1.030	1.813	1.897	1.214	1.309	1.214	1.304
25	1.775	1.330	1.174	1.750	1.009	1.949	1.558	1.827
26	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
27	1.368	1.591	1.486	1.807	1.250	1.564	1.320	1.422
28	1.797	1.758	1.389	1.116	1.365	1.215	1.388	1.816
29	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
30	1.627	1.267	1.576	1.407	1.923	1.794	1.021	1.496
31	1.227	1.628	1.545	1.570	1.374	1.732	1.441	1.715
32	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
33	3.429	3.155	4.434	3.860	4.225	4.263	3.026	4.234
34	12.102	14.599	19.733	19.356	11.620	15.897	10.849	16.499
35	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
36	2.093	2.256	2.765	2.091	2.019	2.052	2.068	2.135
37	2.514	2.314	1.432	1.296	2.901	2.894	1.129	1.399
38	3.120	3.440	3.728	3.195	3.648	3.854	3.861	3.653
39	3.199	3.315	3.484	3.991	3.385	3.813	3.698	3.937
40	1.476	1.744	1.535	1.165	1.270	1.852	1.547	1.823
41	5.967	5.651	5.311	5.922	5.137	5.802	5.730	5.468
42	1.519	1.989	1.671	2.394	1.525	2.642	1.182	2.374
43	1.521	1.607	1.011	1.167	1.161	1.214	1.871	1.562
44	2.712	2.448	2.867	2.341	2.583	2.998	2.169	2.173
45	2.547	2.776	2.915	2.227	2.046	2.964	2.215	2.164
46	2.332	2.566	2.792	2.357	2.228	2.574	2.524	2.325
47	2.767	2.155	2.492	2.139	2.303	2.540	2.630	2.042
48	5.566	5.934	5.683	5.570	5.329	5.145	5.859	5.927
49	1.504	1.504	1.504	1.504	1.504	1.504	1.504	1.504
50	2.500	2.500	2.500	2.500	2.000	2.000	2.000	2.000
51	3.000	3.000	3.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
52	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500
53	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
54	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500
55	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500
56	8.686	8.347	19.547	16.617	16.649	19.978	19.372	15.176
57	4.512	4.512	4.512	4.888	4.512	4.512	4.512	4.888
58	6.193	9.644	9.925	7.249	8.818	9.277	8.064	9.252
59	9.116	8.056	9.046	7.653	8.874	7.995	9.435	9.154
60	8.780	11.445	8.495	7.607	7.960	10.894	7.672	10.623

Apêndice E – Preço de venda (pv_{it}) dos produtos acabados nas semanas de planejamento

Produtos (i)	Semanas							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
3	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
4	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
5	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
6	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60
7	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
8	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
9	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
10	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
11	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
12	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
13	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
14	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50
15	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
16	4,72	4,72	4,72	4,72	4,72	4,72	4,72	4,72
17	4,70	4,70	4,70	4,70	4,70	4,70	4,70	4,70
18	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65
19	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65
20	4,85	4,85	4,85	4,85	4,85	4,85	4,85	4,85
21	4,90	4,90	4,90	4,90	4,90	4,90	4,90	4,90
22	4,95	4,95	4,95	4,95	4,95	4,95	4,95	4,95
23	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50
24	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
25	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50
26	1,20	1,20	1,20	1,20	1,80	2,07	2,38	2,74
27	4,70	4,70	4,70	4,70	4,70	4,70	4,70	4,70
28	4,75	4,75	4,75	4,75	4,75	4,75	4,75	4,75
29	5,10	5,10	5,10	5,10	5,10	5,10	5,10	5,10
30	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
31	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50
32	6,20	6,20	6,20	6,20	6,20	6,20	6,20	6,20
33	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50
34	6,80	6,80	6,80	6,80	6,80	6,80	6,80	6,80
35	5,80	5,80	5,80	5,80	5,80	5,80	5,80	5,80
36	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50
37	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
38	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
39	6,40	6,40	6,40	6,40	6,40	6,40	6,40	6,40
40	6,80	6,80	6,80	6,80	6,80	6,80	6,80	6,80
41	6,80	6,80	6,80	6,80	6,80	6,80	6,80	6,80
42	6,60	6,60	6,60	6,60	6,60	6,60	6,60	6,60
43	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
44	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
45	4,90	4,90	4,90	4,90	4,90	4,90	4,90	4,90
46	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
47	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
48	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
49	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
50	7,10	7,10	7,10	7,10	7,10	7,10	7,10	7,10
51	6,90	6,90	6,90	6,90	6,90	6,90	6,90	6,90
52	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50
53	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00
54	6,90	6,90	6,90	6,90	6,90	6,90	6,90	6,90
55	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50	6,63	6,76	6,90
56	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,06	6,12	6,18
57	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00
58	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	6,70	7,00	7,10
59	6,80	6,80	6,80	6,80	6,80	6,60	6,80	7,20
60	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50	6,20	6,20	6,50

Produtos (i)	Semanas							
	9	10	11	12	13	4	15	16
1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
3	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
4	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
5	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
6	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60
7	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
8	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
9	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
10	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
11	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
12	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
13	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
14	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50
15	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
16	4,72	4,72	4,72	4,72	4,72	4,72	4,72	4,72
17	4,70	4,70	4,70	4,70	4,70	4,70	4,70	4,70
18	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65
19	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65	4,65
20	4,85	4,85	4,85	4,85	4,85	4,85	4,85	4,85
21	4,90	4,90	4,90	4,90	4,90	4,90	4,90	4,90
22	4,95	4,95	4,95	4,95	4,95	4,95	4,95	4,95
23	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50	5,50
24	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
25	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50
26	3,15	3,62	4,16	4,00	3,00	3,00	4,00	4,60
27	4,70	4,70	4,70	4,70	4,70	4,70	4,70	4,70
28	4,75	4,75	4,75	4,75	4,75	4,75	4,75	4,75
29	5,10	5,10	5,10	5,10	5,10	5,10	5,10	5,10
30	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
31	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50	6,50
32	6,20	6,20	6,20	6,20	6,20	6,20	6,20	6,20
33	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50
34	6,80	6,80	6,80	6,80	6,80	6,80	6,80	6,80
35	5,80	5,80	5,80	5,80	5,80	5,80	5,80	5,80
36	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50
37	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
38	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
39	6,40	6,40	6,40	6,40	6,40	6,40	6,40	6,40
40	6,80	6,80	6,80	6,80	6,80	6,80	6,80	6,80
41	6,80	6,80	6,80	6,80	6,80	6,80	6,80	6,80
42	6,60	6,60	6,60	6,60	6,60	6,60	6,60	6,60
43	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
44	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
45	4,90	4,90	4,90	4,90	4,90	4,90	4,90	4,90
46	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
47	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
48	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
49	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
50	7,10	7,10	7,10	7,10	7,10	7,10	7,10	7,10
51	6,90	6,90	6,90	6,90	6,90	6,90	6,90	6,90
52	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50
53	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00
54	6,90	6,90	6,90	6,90	6,90	6,90	6,90	6,90
55	7,04	7,18	7,32	7,47	7,47	7,47	7,47	7,47
56	6,24	6,31	6,37	6,43	6,50	6,56	6,63	6,69
57	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00
58	6,40	7,20	7,10	7,00	7,10	6,70	6,90	6,40
59	6,40	6,20	7,20	6,70	6,40	6,90	7,10	6,50
60	6,60	6,20	6,60	6,50	6,20	7,10	6,80	6,60

Apêndice F – Custo totalmente variável (cv_{it}) dos produtos acabados

Produtos (i)	Semanas							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,14	0,12	0,13
2	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,07	0,08	0,08
3	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,14	0,12	0,14
4	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,16	0,14
5	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,16	0,14	0,14
6	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,16	0,15	0,14
7	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,11	0,09	0,10
8	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,10	0,10	0,09
9	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,11	0,10
10	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,13
11	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,14	0,14	0,13
12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,13	0,13	0,15
13	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,15	0,13	0,14
14	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,15	0,14	0,12
15	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,15	0,13	0,15
16	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
17	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
18	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
19	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
20	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,18	0,18	0,18
21	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,21	0,20	0,21
22	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,21	0,21	0,21
23	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,20	0,22	0,21
24	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,22	0,20	0,20
25	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,22	0,20	0,20
26	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,14
27	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,21	0,22	0,22
28	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,20	0,17	0,17
29	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,18	0,18	0,19
30	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,20	0,20	0,17
31	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,22	0,20	0,22
32	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,22	0,19	0,19
33	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,14	0,12
34	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,19	0,19	0,22
35	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,17	0,17
36	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,21	0,22	0,21
37	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,19	0,21	0,22
38	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,21	0,21
39	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,22	0,21	0,19
40	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,20	0,21	0,20
41	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,21	0,22
42	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,21	0,20
43	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,13	0,14	0,15
44	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,13	0,12	0,14
45	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,15	0,13	0,15
46	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,15	0,12	0,15
47	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,15	0,14	0,14
48	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,15	0,13
49	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,10	0,10	0,09
50	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,40
51	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,38	0,35
52	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,46	0,38	0,37
53	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,37	0,38	0,37
54	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,38	0,35	0,39
55	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,46	0,46	0,46
56	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,47	0,47	0,48
57	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,48	0,48	0,47
58	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,69	0,70	0,67
59	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,67	0,68	0,66
60	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,84	0,82	0,84

Produtos (i)	Semanas							
	9	10	11	12	13	14	15	16
1	0,13	0,13	0,14	0,12	0,13	0,13	0,13	0,13
2	0,07	0,05	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07
3	0,14	0,14	0,14	0,15	0,13	0,13	0,13	0,14
4	0,14	0,14	0,16	0,14	0,14	0,14	0,14	0,15
5	0,14	0,15	0,16	0,16	0,16	0,14	0,15	0,15
6	0,16	0,15	0,14	0,14	0,14	0,16	0,15	0,15
7	0,09	0,10	0,09	0,11	0,10	0,11	0,09	0,11
8	0,11	0,10	0,11	0,11	0,09	0,08	0,10	0,09
9	0,11	0,11	0,11	0,09	0,09	0,11	0,11	0,11
10	0,14	0,12	0,12	0,12	0,13	0,15	0,13	0,13
11	0,15	0,15	0,12	0,15	0,12	0,15	0,12	0,13
12	0,14	0,14	0,13	0,13	0,13	0,12	0,13	0,14
13	0,14	0,13	0,12	0,12	0,13	0,14	0,14	0,13
14	0,15	0,12	0,15	0,14	0,14	0,12	0,14	0,12
15	0,12	0,13	0,13	0,13	0,13	0,15	0,12	0,12
16	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
17	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
18	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
19	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
20	0,20	0,19	0,20	0,18	0,20	0,18	0,18	0,19
21	0,21	0,21	0,22	0,19	0,19	0,21	0,21	0,21
22	0,22	0,21	0,20	0,22	0,21	0,22	0,21	0,21
23	0,22	0,22	0,20	0,22	0,19	0,19	0,22	0,20
24	0,21	0,22	0,22	0,21	0,21	0,21	0,21	0,20
25	0,21	0,20	0,22	0,21	0,21	0,21	0,22	0,22
26	0,14	0,12	0,13	0,12	0,12	0,12	0,15	0,14
27	0,21	0,19	0,22	0,19	0,22	0,20	0,19	0,19
28	0,19	0,18	0,19	0,19	0,18	0,17	0,18	0,18
29	0,20	0,20	0,18	0,19	0,19	0,17	0,19	0,17
30	0,20	0,19	0,18	0,19	0,17	0,19	0,19	0,20
31	0,21	0,20	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,22
32	0,19	0,19	0,21	0,22	0,20	0,22	0,20	0,20
33	0,14	0,14	0,15	0,15	0,13	0,15	0,14	0,13
34	0,22	0,21	0,21	0,19	0,19	0,20	0,22	0,19
35	0,16	0,16	0,15	0,18	0,15	0,15	0,16	0,17
36	0,20	0,21	0,21	0,21	0,21	0,20	0,21	0,21
37	0,19	0,22	0,20	0,19	0,20	0,19	0,20	0,19
38	0,20	0,20	0,22	0,20	0,20	0,21	0,20	0,20
39	0,21	0,21	0,19	0,20	0,20	0,21	0,22	0,22
40	0,21	0,20	0,22	0,22	0,21	0,22	0,20	0,22
41	0,21	0,19	0,19	0,20	0,22	0,21	0,20	0,22
42	0,20	0,19	0,20	0,19	0,21	0,19	0,22	0,19
43	0,12	0,13	0,13	0,14	0,13	0,14	0,13	0,15
44	0,15	0,12	0,12	0,15	0,15	0,13	0,14	0,13
45	0,14	0,14	0,13	0,13	0,14	0,12	0,12	0,12
46	0,15	0,14	0,12	0,13	0,14	0,14	0,13	0,15
47	0,12	0,14	0,13	0,12	0,13	0,12	0,14	0,14
48	0,14	0,12	0,15	0,15	0,14	0,13	0,14	0,14
49	0,08	0,09	0,09	0,10	0,08	0,10	0,09	0,09
50	0,40	0,35	0,35	0,36	0,37	0,37	0,40	0,40
51	0,39	0,35	0,36	0,35	0,35	0,39	0,36	0,36
52	0,38	0,40	0,38	0,40	0,35	0,40	0,38	0,39
53	0,37	0,40	0,38	0,38	0,40	0,39	0,36	0,36
54	0,35	0,37	0,36	0,37	0,40	0,36	0,39	0,40
55	0,46	0,46	0,45	0,48	0,47	0,45	0,45	0,46
56	0,45	0,46	0,47	0,47	0,48	0,46	0,46	0,46
57	0,45	0,48	0,48	0,47	0,48	0,48	0,48	0,46
58	0,69	0,68	0,68	0,70	0,67	0,67	0,69	0,68
59	0,66	0,66	0,68	0,66	0,69	0,66	0,70	0,67
60	0,83	0,82	0,81	0,85	0,82	0,80	0,81	0,81

Apêndice H – Consumo de horas por quilo produzido de produto acabado por recurso (cons_{ri})

Produtos (i)	Recursos (r)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	0	0	0	0	0,00374	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0,005	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0,00374	0	0
8	0	0	0	0	0,005	0	0	0
9	0	0	0	0	0,005	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0,00374	0	0
11	0	0	0	0	0	0,00374	0	0
12	0	0	0	0	0	0,00374	0	0
13	0	0	0	0	0	0,00374	0	0
14	0	0	0	0	0	0,00374	0	0
15	0	0	0	0	0	0,00374	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0,00374	0	0
21	0	0	0	0	0	0,00374	0	0
22	0	0	0	0	0	0,00374	0	0
23	0	0	0	0	0	0,00374	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0,005	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0,00374	0	0
28	0	0	0	0	0	0,00374	0	0
29	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0	0	0,002	0
32	0	0	0	0	0	0	0,002	0
33	0	0	0	0	0	0,00374	0	0
34	0	0	0	0	0	0	0,002	0
35	0	0	0	0	0	0	0	0
36	0	0	0	0	0	0,00374	0	0
37	0	0	0	0	0	0	0,002	0
38	0	0	0	0	0	0,00374	0	0
39	0	0	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0	0	0
41	0	0	0	0	0	0,00374	0	0
42	0	0	0	0	0	0,00374	0	0
43	0	0	0	0	0	0,00374	0	0
44	0	0	0	0	0	0,00374	0	0
45	0	0	0	0	0	0,00374	0	0
46	0	0	0	0	0	0,00374	0	0
47	0	0	0	0	0	0,00374	0	0
48	0	0	0	0	0	0,00374	0	0
49	0	0	0	0	0	0,00374	0	0
50	0	0	0	0,000334	0	0	0	0,0015
51	0	0	0	0,000334	0	0	0	0,0015
52	0	0	0	0,000334	0	0	0	0,0015
53	0	0	0	0,000334	0	0	0	0,0015
54	0	0	0	0,000334	0	0	0	0,0015
55	0	0	0,034	0,0004	0	0	0	0,0015
56	0	0	0,034	0,0004	0	0	0	0,0015
57	0	0	0,034	0,0004	0	0	0	0,0015
58	0,0006	0,0006	0	0	0	0	0	0
59	0,0006	0,0006	0	0	0	0	0	0
60	0,0006	0,0006	0,034	0	0	0	0	0

O consumo de horas do abate (consAbPad) foi considerado para todos os padrões de 0,0002 horas por kg de suíno abatido. Para a desossa o consumo horário por kg processado (consDesPad) foi considerado de 0,00028 h/kg para padrões que possuem menos de 6 cortes da desossa, 0,0003 h/kg de 6 a 7 cortes, 0,00032 h/kg de 8 a 9 cortes e 0,00035 h/kg para mais de 9 cortes.

Apêndice I – Custo de estocagem por semana dos cortes j (sj_j), custos de congelamento ($ccong_j$) e estoques iniciais de cortes ($estIniCor_j$).

Cortes (j)	esto(j)	ccong(j)	estIniCor
1	0,03	0,09	932
2	0,03	0,09	482
3	0,03	0,09	875
4	0,03	0,09	949
5	0,03	0,09	937
6	0,03	0,09	398
7	0,03	0,09	221
8	0,03	0,09	959
9	0,03	0,09	433
10	0,03	0,09	559
11	0,03	0,09	637
12	0,03	0,09	593
13	0,03	0,09	392
14	0,03	0,09	242
15	0,03	0,09	0
16	0,03	0,09	0
17	0,03	0,09	0
18	0,03	0,09	0
19	0,03	0,09	779
20	0,03	0,09	121
21	0,03	0,09	156
22	0,03	0,09	862
23	0,03	0,09	591
24	0,03	0,09	338
25	0,03	0,09	999
26	0,03	0,09	565
27	0,03	0,09	120
28	0,03	0,09	537
29	0,03	0,09	341
30	0,03	0,09	777
31	0,03	0,09	675
32	0,03	0,09	288
33	0,03	0,09	300
34	0,03	0,09	560
35	0,03	0,09	154
36	0,03	0,09	361
37	0,03	0,09	212
38	0,03	0,09	471
39	0,03	0,09	863
40	0,03	0,09	956
41	0,03	0,09	850
42	0,03	0,09	2000
43	0,03	0,09	3000
44	0,03	0,09	100
45	0,03	0,09	100
46	0,03	0,09	100

Apêndice J. Fator de eficiência de transformação (ϵ_{ji})

Cortes(j)	Produtos Acabados (i)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Cortes (j)	Produtos Acabados (i)														
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
15	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Cortes (j)	Produtos Acabados (i)														
	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
30	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
37	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
38	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Cortes (j)	Produtos Acabados (i)														
	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57			
43	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
44	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
45	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
46	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0			
22	0	0	0	0	0	1,12	0	0	0	0	0	0			
23	0	0	0	0	1,12	0	0	0	0	0	0	0			
33	0	0	0	0	0	0	1,08	0	0	0	0	0			
38	0	0	0	0	0	0	0	1,12	0	0	0	0			
39	0	0	0	0	0	0	0	0	1,12	0	0	0			
34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,94	0	0			
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,92	0			
33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,96			

Apêndice K. Formulações de produtos embutidos ($q_{min_{ji}}$ e $q_{max_{ji}}$) a partir dos cortes j

	Produtos Acabados (i) N^{emb}					
	58	59	60	58	59	60
Cortes(j)	l_{min}	l_{min}	l_{min}	l_{max}	l_{max}	l_{max}
7	0,095	0,105	0	0,105	0,11	0
11	0	0	0	0	0	0,05
22	0	0,705	0,3	0	0,71	0,3
28	0,695	0,05	0,3	0,705	0,1	0,4
42	0,095	0	0,1	0,105	0	0,2
43	0	0	0	0	0	0,5
44	0	0	0,15	0	0	0,15

Apêndice L – Resultados - Geração de cortes (P_{jt}) durante as oito últimas semanas

Cortes (j)	Semanas							
	9	10	11	12	13	14	15	16
1	2.533	2.533	2.533	2.533	2.533	2.533	2.533	2.533
2	28.224	28.224	28.224	28.224	28.224	28.224	28.224	28.224
3	1.737	1.737	1.737	1.737	1.737	1.737	1.737	1.737
4	3.546	3.546	3.546	3.546	3.546	3.546	3.546	3.546
5	2.063	2.063	2.063	2.063	2.063	2.063	2.063	2.063
6	350	350	350	350	350	350	350	350
7	4.640	4.640	4.640	4.640	4.640	4.640	4.640	4.640
8	724	724	724	724	724	724	724	724
9	1.086	1.086	1.086	1.086	1.086	1.086	1.086	1.086
10	0	300	300	300	300	450	450	450
11	1.086	1.053	1.053	1.053	1.053	1.037	1.037	1.037
12	5.428	5.266	5.266	5.266	5.266	5.185	5.185	5.185
13	724	702	702	702	702	691	691	691
14	127	123	123	123	123	121	121	121
15	0	0	0	0	0	0	0	0
16	35.283	54.096	49.581	64.718	81.020	106.883	97.546	7.296
17	49.691	38.846	37.672	42.471	26.147	0	0	97.974
18	80.000	80.000	80.000	80.000	80.000	80.000	80.000	80.000
19	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0
21	3.000	3.000	3.000	3.000	3.085	2.915	3.080	2.920
22	10.216	8.900	9.838	6.552	6.477	6.667	8.061	6.952
23	2.497	2.242	2.424	1.786	1.786	1.794	2.092	1.850
24	928	833	901	664	664	667	778	687
25	1.315	1.180	1.276	940	940	944	1.102	974
26	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0
28	9.005	8.084	8.740	6.440	6.440	6.468	7.546	6.670
29	0	0	0	0	0	0	0	0
30	1.227	874	1.509	179	1.374	1.732	1.441	1.715
31	458	326	564	67	513	647	538	640
32	524	373	644	77	586	739	615	732
33	6.517	6.048	6.048	5.267	4.228	3.941	5.102	4.126
34	6.167	5.723	5.723	4.984	4.001	3.730	4.828	3.905
35	1.035	929	1.005	740	740	744	867	767
36	3.120	5.768	1.400	3.195	3.669	3.833	3.861	3.653
37	3.199	3.315	3.484	3.991	3.385	3.813	3.698	3.937
38	3.475	1.964	3.609	1.115	1.362	1.062	1.896	1.180
39	3.524	2.606	3.726	2.339	2.250	2.232	2.719	2.358
40	900	666	952	597	575	570	694	602
41	4.036	2.984	4.267	2.679	2.577	2.556	3.114	2.701
42	6.328	5.621	6.312	5.088	4.996	4.887	5.447	4.986
43	841	811	832	756	756	757	793	764
44	4.199	3.769	4.075	3.003	3.003	3.016	3.518	3.110
45	4.889	4.592	4.803	4.064	4.064	4.073	4.419	4.138
46	2.067	1.335	2.165	992	1.046	945	1.344	1.017
Total	296.705	297.231	296.897	298.048	298.028	298.000	297.486	298.040

Apêndice M – Consumo de cortes por semana para a fabricação de produtos acabados (Cjt, para todos produtos i)

Cortes (j)	Semanas							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	2.249	1.975	1.588	2.026	2.072	2.026	2.334	2.243
2	15.158	22.012	17.690	22.579	23.088	22.579	26.002	24.996
3	884	1.427	1.494	1.593	1.017	799	1.020	828
4	2.793	2.766	2.223	2.837	2.901	2.837	3.267	3.141
5	600	600	600	600	802	802	802	802
6	350	350	350	350	350	350	350	350
7	2.761	3.598	2.817	3.663	3.751	3.663	4.256	4.081
8	400	400	400	400	602	602	602	602
9	944	847	734	868	888	868	1.000	961
10	200	200	300	300	300	300	300	600
11	971	867	833	863	870	836	968	897
12	3.415	4.233	3.252	4.181	4.352	4.181	4.132	3.960
13	493	564	434	557	580	557	254	598
14	108	99	95	124	110	98	88	105
15	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	52.924	15.920	53.817	58.970	37.368	47.342	30.133
17	0	0	0	0	0	15.943	31.442	23.857
18	74.000	75.963	80.000	80.000	80.000	80.000	80.000	80.000
19	779	0	0	0	0	0	0	0
20	28	0	0	0	0	0	0	0
21	3.067	2.933	3.004	3.410	2.586	3.000	3.125	2.875
22	5.936	8.404	6.653	6.977	7.576	7.426	7.973	10.853
23	2.269	1.940	1.806	1.939	1.914	1.955	2.083	2.599
24	962	721	671	721	711	727	774	966
25	0	0	0	0	0	0	51	2.000
26	565	0	0	0	0	0	0	0
27	120	0	0	0	0	0	0	0
28	6.587	6.995	6.513	6.991	6.901	3.817	10.199	9.374
29	341	0	0	0	0	0	0	0
30	1.642	1.225	1.672	1.301	1.018	1.558	1.153	1.029
31	1.288	457	624	486	776	207	119	1.198
32	989	523	713	555	887	237	136	1.369
33	3.967	4.826	4.031	4.756	4.005	5.456	6.048	5.104
34	3.470	4.567	3.815	4.501	3.790	5.723	5.723	4.830
35	849	804	749	804	793	811	863	1.078
36	3.566	3.218	3.497	3.685	3.064	3.126	3.737	3.024
37	3.575	3.404	3.030	3.331	3.517	3.657	3.105	3.997
38	1.705	1.786	1.786	1.786	1.786	1.786	2.286	3.067
39	3.022	2.588	2.316	2.499	2.574	2.631	2.727	3.711
40	1.303	865	591	638	657	672	696	948
41	2.268	2.932	2.529	2.195	2.928	3.013	3.021	4.249
42	2.883	2.874	3.223	3.033	4.636	1.624	5.422	1.314
43	2.309	1.829	556	666	673	668	749	791
44	2.527	3.158	3.037	2.852	3.218	3.288	1.171	2.333
45	3.136	3.795	3.304	3.821	3.830	3.841	4.243	4.767
46	550	1.000	1.000	1.000	1.270	1.285	1.453	1.579
Total	165.030	229.670	183.851	232.704	239.765	230.318	271.017	251.210

Cortes (j)	Semanas							
	9	10	11	12	13	14	15	16
1	2.533	2.533	2.533	2.533	2.533	2.533	2.533	2.533
2	28.224	28.224	28.224	28.224	28.224	28.224	28.224	28.224
3	773	848	1.010	1.167	1.535	1.453	1.033	1.268
4	3.546	3.546	3.546	3.546	3.546	3.546	3.546	3.546
5	951	952	952	3.200	3.700	4.700	5.062	5.000
6	350	350	350	350	350	350	350	350
7	4.640	4.640	4.640	4.640	4.640	4.640	4.640	4.640
8	752	752	752	2.042	724	724	724	724
9	583	733	941	872	811	989	769	772
10	0	300	300	300	300	450	450	450
11	1.086	922	768	934	847	925	867	985
12	3.212	3.773	4.079	4.262	4.335	4.091	3.149	3.534
13	438	702	301	453	542	464	452	541
14	127	115	107	80	123	85	116	107
15	0	0	0	0	0	0	0	0
16	35.283	54.096	49.581	64.718	81.020	106.883	97.546	7.296
17	49.691	38.846	37.672	42.471	26.147	0	0	97.974
18	80.000	80.000	80.000	80.000	80.000	80.000	80.000	80.000
19	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	93
21	3.000	3.000	3.000	3.000	3.085	2.915	3.080	2.920
22	10.216	8.900	9.598	6.552	6.477	6.907	8.061	6.952
23	2.497	2.242	2.424	1.786	1.786	1.794	2.092	1.850
24	928	833	901	664	664	667	778	687
25	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
26	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0
28	4.647	10.721	11.010	5.397	6.101	5.650	9.746	6.670
29	0	0	0	0	0	0	0	0
30	1.227	1.628	1.545	1.570	1.374	1.732	1.441	1.715
31	458	326	564	67	513	647	538	640
32	524	373	644	77	586	739	615	732
33	6.517	6.048	6.048	5.267	4.228	3.941	5.102	4.126
34	3.706	5.723	5.723	5.723	5.723	2.000	5.723	4.739
35	1.035	929	1.005	740	740	744	867	767
36	3.120	5.768	1.400	3.195	3.669	3.833	3.861	3.653
37	3.199	3.315	3.484	3.991	3.385	3.813	3.698	3.937
38	3.262	1.878	1.786	1.786	1.786	1.786	1.786	1.786
39	3.524	2.606	3.726	2.339	2.250	2.232	2.719	2.358
40	900	666	952	597	575	570	694	602
41	0	2.448	2.867	2.679	2.577	2.667	2.169	2.173
42	3.073	3.936	4.104	2.593	2.500	3.905	3.209	2.843
43	841	811	832	756	756	757	793	764
44	4.199	1.228	2.602	2.249	2.573	3.016	2.740	2.291
45	4.889	4.592	4.803	4.064	4.064	4.073	4.419	4.138
46	2.067	866	1.504	1.504	1.504	1.504	1.504	1.504
Total	278.017	292.168	288.278	298.386	298.291	297.946	297.096	297.884

Apêndice N – Estoque de cortes (S_j) ao final de cada semana das oito últimas semanas

Cortes (j)	Semanas							
	9	10	11	12	13	14	15	16
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	3.461	4.350	5.077	5.647	5.849	6.133	6.836	7.305
4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	9.128	10.239	11.349	10.212	8.574	5.937	2.938	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0
8	1.375	1.346	1.318	0	0	0	0	0
9	502	855	999	1.213	1.488	1.584	1.901	2.214
10	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	131	417	536	743	855	1.025	1.077
12	3.446	4.939	6.126	7.130	8.061	9.155	11.192	12.843
13	952	952	1.353	1.603	1.763	1.990	2.229	2.380
14	170	177	193	236	236	272	277	291
15	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0
20	93	93	93	93	93	93	93	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	240	240	240	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0
25	6.643	5.823	5.099	4.040	2.980	1.924	1.026	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0
28	4.907	2.270	0	1.043	1.381	2.200	0	0
29	0	0	0	0	0	0	0	0
30	2.181	1.426	1.391	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0	0	0	0
32	0	0	0	0	0	0	0	0
33	0	0	0	0	0	0	0	0
34	2.461	2.461	2.461	1.722	0	1.730	834	0
35	0	0	0	0	0	0	0	0
36	0	0	0	0	0	0	0	0
37	0	0	0	0	0	0	0	0
38	404	489	2.313	1.643	1.219	495	606	0
39	0	0	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0	0	0
41	6.033	6.570	7.970	7.970	7.970	7.859	8.804	9.331
42	17.549	19.235	21.442	23.937	26.433	27.415	29.653	31.796
43	0	0	0	0	0	0	0	0
44	5.274	7.814	9.287	10.041	10.470	10.470	11.248	12.067
45	0	0	0	0	0	0	0	0
46	1.740	2.210	2.871	2.358	1.901	1.342	1.182	696
Total	66.318	71.381	80.000	79.662	79.400	79.454	79.844	80.000

Apêndice O – Produção de produtos acabados ($P_{i,t}$) nas últimas oito semanas

Produtos (i)	Semanas							
	9	10	11	12	13	14	15	16
1	2.533	2.533	2.533	2.533	2.533	2.533	2.533	2.533
2	28.224	28.224	28.224	28.224	28.224	28.224	28.224	28.224
3	773	848	1.010	1.167	1.535	1.453	1.033	1.268
4	3.546	3.546	3.546	3.546	3.546	3.546	3.546	3.546
5	200	200	200	200	200	200	62	0
6	350	350	350	350	350	350	350	350
7	3.637	2.741	2.603	3.580	3.357	3.666	2.755	3.286
8	752	752	752	2.042	724	724	724	724
9	751	752	752	3.000	3.500	4.500	5.000	5.000
10	583	733	941	872	811	989	769	772
11	0	300	300	300	300	450	450	450
12	954	885	731	897	810	713	830	902
13	3.212	3.773	4.079	4.262	4.335	4.091	3.149	3.534
14	438	702	301	453	542	464	452	541
15	127	115	107	80	123	85	116	107
16	0	0	0	0	0	0	0	0
17	35.283	54.096	49.581	64.718	81.020	106.883	97.546	7.296
18	49.691	38.846	37.672	42.471	26.147	0	0	97.974
19	80.000	80.000	80.000	80.000	80.000	80.000	80.000	80.000
20	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	93
22	3.000	3.000	3.000	3.000	3.085	2.915	3.080	2.920
23	3.000	3.000	3.000	936	0	0	1.189	0
24	0	0	0	0	0	8	307	64
25	0	0	0	0	0	0	0	0
26	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
27	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0
29	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
30	0	0	0	0	0	0	0	0
31	1.227	1.628	1.545	1.570	1.374	1.732	1.441	1.715
32	458	326	564	67	513	647	538	640
33	524	373	644	77	586	739	615	732
34	3.276	2.807	2.807	2.026	988	700	1.861	885
35	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
36	1.035	929	1.005	740	740	744	867	767
37	0	0	0	0	0	0	0	0
38	3.120	5.768	1.400	3.195	3.669	3.833	3.861	3.653
39	3.199	3.315	3.484	3.991	3.385	3.813	3.698	3.937
40	1.476	92	0	0	0	0	0	0
41	0	0	0	0	0	0	0	0
42	1.292	374	1.494	107	18	0	487	126
43	900	666	952	597	575	570	694	602
44	0	2.448	2.867	2.679	2.577	2.667	2.169	2.173
45	2.547	2.776	2.915	2.227	2.046	2.964	2.215	2.164
46	841	811	832	756	756	757	793	764
47	3.804	1.118	2.492	2.139	2.462	2.381	2.630	2.042
48	4.889	4.592	4.803	4.064	4.064	4.073	4.419	4.138
49	2.067	866	1.504	1.504	1.504	1.504	1.504	1.504
50	1.040	933	1.009	743	743	747	871	770
51	2.797	2.511	2.715	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
52	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500
53	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
54	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500	2.500
55	1.603	3.500	3.500	3.500	3.500	0	3.500	2.574
56	0	0	0	0	0	0	0	0
57	0	0	0	0	0	0	0	0
58	0	9.644	9.925	2.083	2.926	897	8.064	3.305
59	9.116	8.056	9.046	7.653	8.874	7.995	9.435	9.154
60	2.632	735	735	735	735	4.235	735	1.661

Apêndice P – Falta (F_{it}), venda perdida de produtos acabados nas semanas.

Produtos (i)	Semanas							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	7	1.409	1.420	982	560	606	1.050	765
2	14.842	7.988	12.310	7.421	6.912	7.421	3.998	5.004
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	1.002	895	1.455	1.124	779	925	480	465
5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0
7	1.899	1.963	1.643	789	1.290	667	800	907
8	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	22	117	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	90	37	100	0	0
13	518	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0
16	236.413	208.163	232.256	244.956	201.166	236.940	193.129	203.130
17	217.566	193.119	186.623	129.883	181.922	206.202	176.907	162.082
18	229.539	226.773	218.514	197.205	224.153	213.353	204.172	202.866
19	6.000	4.037	0	0	0	0	0	0
20	2.961	3.625	4.219	3.696	4.548	4.480	3.767	3.124
21	4.148	4.102	3.335	3.538	3.471	4.397	3.415	4.165
22	0	0	0	0	0	0	0	0
23	3.000	3.000	2.826	3.000	3.000	260	0	439
24	1.274	1.015	1.323	1.771	1.345	1.890	1.293	1.509
25	1.005	1.262	1.735	1.559	1.941	1.789	1.791	1.166
26	400	400	400	400	400	500	949	0
27	1.319	1.185	1.547	1.366	1.835	1.379	1.259	1.501
28	1.443	1.092	1.704	1.315	1.134	1.350	1.959	1.757
29	0	0	0	0	0	0	0	0
30	802	1.137	1.578	1.619	1.224	1.206	1.263	1.653
31	0	0	0	0	0	0	0	0
32	1.712	2.543	2.376	2.514	2.224	2.793	2.881	1.802
33	2.309	4.093	3.534	3.694	4.023	3.014	3.181	1.949
34	10.265	11.655	12.260	8.961	16.742	12.086	8.939	15.876
35	0	0	0	0	0	0	0	0
36	2.061	2.042	1.650	1.825	1.237	1.984	1.560	1.605
37	2.717	2.638	2.598	1.149	1.806	2.460	2.967	1.117
38	0	0	0	0	0	0	0	0
39	0	0	0	0	0	0	0	0
40	1.391	1.433	1.316	1.513	1.467	1.908	894	0
41	5.093	5.136	5.430	5.359	5.503	5.993	5.119	5.122
42	2.357	871	1.067	1.391	1.303	1.720	524	1.351
43	0	719	926	1.102	547	363	1.165	497
44	0	0	0	0	0	0	0	0
45	0	0	0	0	0	0	0	0
46	0	642	1.716	2.156	1.607	2.116	1.672	1.938
47	0	0	0	0	0	0	0	0
48	1.525	1.491	2.116	1.394	1.959	2.142	1.347	375
49	0	0	0	0	0	0	0	0
50	1.543	2.692	2.748	2.693	1.703	1.686	1.633	1.418
51	239	827	977	829	857	810	667	89
52	0	0	0	0	0	0	0	0
53	0	0	0	0	0	0	0	0
54	0	0	0	0	0	0	0	0
55	1.218	1.087	1.794	1.149	1.817	0	0	840
56	9.284	11.430	9.929	9.767	10.674	11.836	8.192	11.902
57	2.850	3.000	3.000	3.000	3.000	2.000	4.888	4.512
58	4.641	6.685	7.185	2.777	3.921	9.788	823	0
59	0	0	0	0	0	0	0	0
60	7.295	5.251	8.794	9.196	5.014	7.865	6.251	4.897

Productos (i)	Semanas							
	9	10	11	12	13	14	15	16
1	475	475	625	1.077	926	776	776	1.227
2	1.776	1.776	1.776	1.776	1.776	1.776	1.776	1.776
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	236	273	156	146	150	350	193	286
5	0	0	0	0	0	0	138	200
6	0	0	0	0	0	0	0	0
7	315	623	797	119	400	0	0	0
8	0	0	0	958	2.776	3.776	4.276	4.276
9	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0
16	228.075	198.009	234.557	247.898	220.757	207.870	228.387	235.884
17	186.768	137.515	146.341	128.567	110.715	86.404	91.140	200.119
18	144.156	184.206	160.859	206.712	198.993	249.303	197.589	120.717
19	0	0	0	0	0	0	0	0
20	3.916	4.979	4.468	4.498	4.813	4.625	4.065	3.200
21	3.088	3.101	4.805	4.479	3.276	4.337	3.018	4.574
22	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	2.064	3.000	3.000	1.811	3.000
24	1.028	1.030	1.813	1.897	1.214	1.301	907	1.240
25	1.775	1.330	1.174	1.750	1.009	1.949	1.558	1.827
26	0	0	0	0	0	0	0	0
27	1.368	1.591	1.486	1.807	1.250	1.564	1.320	1.422
28	1.797	1.758	1.389	1.116	1.365	1.215	1.388	1.816
29	0	0	0	0	0	0	0	0
30	1.627	1.267	1.576	1.407	1.923	1.794	1.021	1.496
31	0	0	0	0	0	0	0	0
32	2.542	2.674	2.436	2.933	2.487	2.353	2.462	2.360
33	2.905	2.782	3.790	3.783	3.639	3.524	2.411	3.502
34	8.826	11.792	16.926	17.330	10.632	15.197	8.988	15.614
35	0	0	0	0	0	0	0	0
36	1.058	1.327	1.760	1.351	1.279	1.308	1.201	1.368
37	2.514	2.314	1.432	1.296	2.901	2.894	1.129	1.399
38	0	0	0	0	0	0	0	0
39	0	0	0	0	0	0	0	0
40	0	1.652	1.535	1.165	1.270	1.852	1.547	1.823
41	5.967	5.651	5.311	5.922	5.137	5.802	5.730	5.468
42	227	1.615	177	2.287	1.507	2.642	695	2.248
43	621	941	59	570	586	644	1.177	960
44	0	0	0	0	0	0	0	0
45	0	0	0	0	0	0	0	0
46	1.491	1.755	1.960	1.601	1.472	1.817	1.731	1.561
47	0	0	0	0	0	0	0	0
48	677	1.342	880	1.506	1.265	1.072	1.440	1.789
49	0	0	0	0	0	0	0	0
50	1.460	1.567	1.491	1.757	1.257	1.253	1.129	1.230
51	203	489	285	0	0	0	0	0
52	0	0	0	0	0	0	0	0
53	0	0	0	0	0	0	0	0
54	0	0	0	0	0	0	0	0
55	1.897	0	0	0	0	3.500	0	926
56	8.686	8.347	19.547	16.617	16.649	19.978	19.372	15.176
57	4.512	4.512	4.512	4.888	4.512	4.512	4.512	4.888
58	6.193	0	0	5.166	5.892	8.380	0	5.947
59	0	0	0	0	0	0	0	0
60	6.148	10.710	7.760	6.872	7.225	6.659	6.937	8.962

Apêndice Q – Estoque de produtos acabados (S_{it}) ao final de cada semana para as oito últimas semanas

Produtos (i)	Semanas							
	9	10	11	12	13	14	15	16
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	546	76	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0
12	94	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	191	0	0	0	0	0	0
15	34	0	0	0	4	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	85	0	80	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0	0	0	0
32	0	0	0	0	0	0	0	0
33	0	0	0	0	0	0	0	0
34	0	0	0	0	0	0	0	0
35	0	0	0	0	0	0	0	0
36	0	0	0	0	0	0	0	0
37	0	0	0	0	0	0	0	0
38	0	2.328	0	0	21	0	0	0
39	0	0	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0	0	0
41	0	0	0	0	0	0	0	0
42	0	0	0	0	0	0	0	0
43	0	0	0	0	0	0	0	0
44	0	0	0	338	331	0	0	0
45	0	0	0	0	0	0	0	0
46	0	0	0	0	0	0	0	0
47	1.037	0	0	0	159	0	0	0
48	0	0	0	0	0	0	0	0
49	638	0	0	0	0	0	0	0
50	0	0	0	0	0	0	0	0
51	0	0	0	0	0	0	0	0
52	0	0	0	0	0	0	0	0
53	0	0	0	0	0	0	0	0
54	0	0	0	0	0	0	0	0
55	0	0	0	0	0	0	0	0
56	0	0	0	0	0	0	0	0
57	0	0	0	0	0	0	0	0
58	0	0	0	0	0	0	0	0
59	0	0	0	0	0	0	0	0
60	0	0	0	0	0	0	0	0

Apêndice S – Script do LINGO

MODEL:

! **Olinto Rodrigues de Arruda Junior;

! **Modelo Adesot* 2014;

! **Obj = Maxima Margem;

SETS:

Produtos: est, lot, estIniPro, fator;

Coprodutos: esto, ccong, estIniCop;

Fases: alfa, ofertalInicial;

Padroes;

Recursos: capNorm, hexRec;

Semanas: CapAbEx, CapDesEx;

ProdutosNorm (Produtos);

ProdutosEmb (Produtos);

ProdutosResf (Produtos);

ProdutosCong(Produtos);

ProdutosSecos(Produtos);

PadFasSem(Padroes, Fases, Semanas): Q;

FasSem(Fases, Semanas): pc, O;

CopProSem(Coprodutos, Produtos, Semanas): C;

CopSem(Coprodutos, Semanas): Pj, Sj, Y;

ProSem(Produtos, Semanas): d, cv, pv, cf, Pi, Si, F, Z;

RecSem(Recursos, Semanas): CapEx;

CopPadFas(Coprodutos, Padroes, Fases): m;

ProdRec(Produtos, Recursos): cons;

CopPro(Coprodutos, ProdutosNorm): eps;

CopProEmb(Coprodutos, ProdutosEmb): qmax, qmin;

PadFas(Padroes, Fases): consAb, consDes;

ENDSETS

! DADOS ENTRADA;

DATA:

Produtos= @OLE('Adesot_Final1.xlsm','produtos');

Coprodutos= @OLE('Adesot_Final1.xlsm','coprodutos');

Fases= @OLE('Adesot_Final1.xlsm','animais');

Padroes= @OLE('Adesot_Final1.xlsm','padroes');

Recursos= @OLE('Adesot_Final1.xlsm','recursos');

Semanas= @OLE('Adesot_Final1.xlsm','semanas');

ProdutosNorm=@OLE('Adesot_Final1.xlsm','produtos_norm');

ProdutosEmb=@OLE('Adesot_Final1.xlsm','produtos_emb');

ProdutosResf=@OLE('Adesot_Final1.xlsm','produtos_resf');

ProdutosCong=@OLE('Adesot_Final1.xlsm','produtos_cong');

ProdutosSecos=@OLE('Adesot_Final1.xlsm','produtos_secos');

hexAb = @OLE('Adesot_Final1.xlsm','hexAb');

hexDes = @OLE('Adesot_Final1.xlsm','hexDes');

hexRec = @OLE('Adesot_Final1.xlsm','hexRec');

est=@OLE('Adesot_Final1.xlsm','est');

lot=@OLE('Adesot_Final1.xlsm','lote');

esto = @OLE('Adesot_Final1.xlsm','custo_esto_cop');

ccong = @OLE('Adesot_Final1.xlsm','custo_cong_cop');

pc= @OLE('Adesot_Final1.xlsm','preco_compra');

```

m= @OLE('Adesot_Final1.xlsm','rendimentos');
d= @OLE('Adesot_Final1.xlsm','demanda');
cv= @OLE('Adesot_Final1.xlsm','custo_variavel');
pv= @OLE('Adesot_Final1.xlsm','preco_venda');
cf= @OLE('Adesot_Final1.xlsm','custo_falta');
eps = @OLE('Adesot_Final1.xlsm','consumo_cop_norm');
qmax = @OLE('Adesot_Final1.xlsm','qmax');
qmin = @OLE('Adesot_Final1.xlsm','qmin');
cons = @OLE('Adesot_Final1.xlsm','consumo_rec');
capNorm = @OLE('Adesot_Final1.xlsm','capnorm');
constante = @OLE('Adesot_Final1.xlsm','constante');
alfa = @OLE('Adesot_Final1.xlsm','alfa');
ofertalnicial = @OLE('Adesot_Final1.xlsm','ofertalnicial');
estlniCop = @OLE('Adesot_Final1.xlsm','estlniCop');
estlniPro = @OLE('Adesot_Final1.xlsm','estlniPro');
capAbNorm = @OLE('Adesot_Final1.xlsm','capAbNorm');
capDesNorm = @OLE('Adesot_Final1.xlsm','capDesNorm');
consAb = @OLE('Adesot_Final1.xlsm','consAb');
consDes = @OLE('Adesot_Final1.xlsm','consDes');
omega = @OLE('Adesot_Final1.xlsm','omega');
capEsCong = @OLE('Adesot_Final1.xlsm','capEsCong');
capEsResf = @OLE('Adesot_Final1.xlsm','capEsResf');
capEsSecos = @OLE('Adesot_Final1.xlsm','capEsSecos');
fator = @OLE('Adesot_Final1.xlsm','fator');
ENDDATA

```

!Objetivo;

```

[Custo] MAX= (@SUM (ProSem(i,t): (d(i,t)-F(i,t))*pv(i,t))) - (@SUM (ProSem(i, t): F(i, t)*cf(i,t) +
Si(i,t)*est (i) + Pi(i,t)*cv(i,t)) +
@SUM (CopSem(j, t): Sj(j,t)*esto(j) + Y(j,t)*ccong(j)) + @SUM (Padroes(p): @SUM (Fases(k): @SUM
(Semanas(t): Q(p,k,t)* pc(k,t)))) +
@SUM (Semanas(t): hexAb*CapAbEx(t) + hexDes*CapDesEx(t)) + @SUM (RecSem(r,t):
hexRec(r)*CapEx(r,t)));

```

!Restricoes 1;

```

@FOR (FasSem (k,t):[diamante] @SUM (Padroes(p): Q(p,k,t)) <= O(k,t));

```

!Restricoes 2;

```

@FOR (FasSem(k,t)| k#EQ#1: O(k,t) = constante);
@FOR (FasSem (k,t)| k#GT#1 #AND# t#EQ#1: O(k,t) = ofertalnicial(k));
@FOR (FasSem(k,t)| k#GE#2 #AND# t#GE#2: O(k,t) = alfa(k)* (O(k-1,t-1) - (@SUM(Padroes(p): Q(p,
k-1,t-1))));
@FOR (FasSem(k,t): O(k,t)>= 0);

```

!Restricoes 3;

```

@FOR (FasSem(k,t)| k#EQ#4: O(k,t) = @SUM (Padroes(p): Q(p,k,t)));

```

!Restricoes 4;

```

@FOR (CopSem(j,t):[quartzo] Pj(j,t) = @SUM (Padroes(p): @SUM(Fases(k): Q(p,k,t)*m(j,p, k))));

```

!Restricoes 5;

```

@FOR(CopSem(j,t)|t#EQ#1:[pedra] Sj(j,t) = estlniCop(j) + Pj(j,t) - @SUM (Produtos(i): C(j,i,t)));
@FOR(CopSem(j,t)|t#GT#1:[rocha] Sj(j,t) = Sj(j,t-1) + Pj(j,t) - @SUM (Produtos(i): C(j,i,t)));

```

!Restricoes 6;

```

@FOR(CopSem(j,t)|t#EQ#1:[rubí] Y(j,t) >= Sj(j,t)- estlniCop(j));

```

```

@FOR(CopSem(j,t)|t#GT#1:[esmeralda] Y(j,t) >= Sj(j,t)-Sj(j, t-1));
@FOR(CopSem(j,t):[granito] Y(j,t) >= 0);

!Restricoes 7;
@FOR (ProSem (i,t)| i#LT#58:[bazalto] Pi(i,t) = @SUM (Coproductos(j): C(j,i,t)*Eps(j,i));
@FOR (CopProSem (j,i,t)| i#LT#58:[Livia] C(j,i,t) <= Eps(j,i)*10000000);
!Restricoes 8;
@FOR(ProSem(i,t)| i#GE#58: Pi(i,t) = fator(i)*( @SUM(Coproductos(j): C(j,i,t)));
@FOR (CopProSem(j,i,t)| i#GE#58: C(j,i,t) >= Pi(i,t)*qmin(j,i);
@FOR (CopProSem(j,i,t)| i#GE#58: C(j,i,t) <= Pi(i,t)*qmax(j,i);
!Restricoes 9;
@FOR (ProSem(i,t)|i#GE#58:[brilhante] Pi(i,t)/lot(i) = Z(i,t));
!@FOR(ProSem(i,t): @GIN (Z(i,t)));
!Restricoes 10;
@FOR (ProSem(i,t)| t#EQ#1:[turmalina] estIniPro(i) + Pi(i,t) - d(i,t) = Si(i,t) - F(i,t));
@FOR (ProSem(i,t)| t#GT#1:[marmore] Si(i,t-1) + Pi(i,t) - d(i,t) = Si(i,t) - F(i,t));
@FOR (ProSem(i,t)| t#GT#1:[hoje] Si(i,t) <= Si(i,t-1) + Pi(i,t));
@FOR (ProSem(i,t)| t#EQ#1:[determinacao] Si(i,t) <= estIniPro(i) + Pi(i,t));
!Restricoes 11;
@FOR (RecSem(r,t):[ardosia] @SUM (Produtos (i): Pi(i,t)* cons(i,r))<= (capNorm(r) + CapEx(r,t)));

!Restricoes 12;
@FOR(Semanas(t): [zafira] @SUM(PadFas(p,k): Q(p,k,t)*consAb(p,k)) <= capAbNorm +
CapAbEx(t));
@FOR(Semanas(t): [onix] @SUM(PadFas(p,k): Q(p,k,t)*consDes(p,k)) <= capDesNorm +
CapDesEx(t));

!Restricoes 13 capacidade de estocagem;
@FOR(Semanas(t): [armacong] @SUM(ProdutosCong(i): Si (i,t)) + @SUM(coproductos(j): Sj(j,t)) <=
capEsCong);
@FOR(Semanas(t): [armaresf] @SUM(ProdutosResf(i): Si (i,t)) <= capEsResf);
@FOR(Semanas(t): [armasecos] @SUM(ProdutosSecos(i): Si (i,t)) <= capEsSecos);

!Restricoes 14 limita contratacao de horas extras;
@FOR(Semanas(t): [perola] CapAbEx(t) <= omega*capAbNorm);
@FOR(Semanas(t): [sabao] CapDesEx(t) <= omega*capDesNorm);
@FOR(RecSem(r,t)| r#NE#3 #AND# r#EQ#4 #AND# r#GE#7: [saotome] CapEx(r,t) <=
omega*capNorm(r));
@FOR(RecSem(r,t)| r#EQ#3: [varvito] CapEx(r,t) = 0);
@FOR(RecSem(r,t)| r#EQ#6: [cristal] CapEx(r,t) = 0);
@FOR(RecSem(r,t)| r#EQ#5: [limSalga] CapEx(r,t) = 0);

DATA:
@OLE('Adesot_Final1.xlsm','relatorio_oferta')=@WRITEFOR (FasSem(k,t):Fases(k),Semanas(t),
O(k,t));
@OLE('Adesot_Final1.xlsm','relatorio_padroes')=@WRITEFOR
(PadFasSem(p,k,t):Padroes(p),Fases(k), Semanas(t), Q(p, k,t));
@OLE('Adesot_Final1.xlsm','relatorio_coproductos')=@WRITEFOR
(CopSem(j,t):Coproductos(j),Semanas(t), Pj(j,t), Sj(j,t),Y(j,t));
@OLE('Adesot_Final1.xlsm','relatorio_produtos')=@WRITEFOR (ProSem(i,t):Produtos(i),
Semanas(t), Pi(i,t), Si(i,t), F(i,t));
@OLE ('Adesot_Final1.xlsm','relatorio_custo')= Custo;
@OLE('Adesot_Final1.xlsm','relatorio_consumoCop')=@WRITEFOR (CopProSem(j,i,t):Coproductos(j),
Produtos(i), Semanas(t), C(j,i,t));
@OLE('Adesot_Final1.xlsm','relatorio_CapEx')=@WRITEFOR (RecSem(r,t): Recursos(r),
Semanas(t), CapEx(r,t), ardosia(r,t));

```

@OLE('Adesot_Final1.xlsm','relatorio_CapProEx')=@WRITEFOR (Semanas(t): CapAbEx(t),
CapDesEx(t));

ENDDATA

END

GO

QUIT