

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**Proposta de uso integrado entre o Mapeamento do  
Fluxo de Valor e a Simulação a Eventos Discretos em  
uma fábrica de laticínios**

**Gabriele Lacerda Santos**

**Itajubá, novembro de 2016**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Gabriele Lacerda Santos

**Proposta de uso integrado entre o Mapeamento do  
Fluxo de Valor e a Simulação a Eventos Discretos em  
uma fábrica de laticínios**

Dissertação submetida ao Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ciências em Engenharia de Produção.

Área de concentração: Sistemas de Produção e Logística

Orientador: Dr. Fabiano Leal

Coorientador: Dr. José Antonio de Queiroz

Itajubá  
Novembro de 2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Gabriele Lacerda Santos

**Proposta de uso integrado entre o Mapeamento do  
Fluxo de Valor e a Simulação a Eventos Discretos em  
uma fábrica de laticínios**

Dissertação aprovada por banca examinadora em 01/10/2016,  
conferindo ao autor o título de **Mestre em Ciências em Engenharia  
de Produção**.

**Banca Examinadora:**

Prof. Dr. Fabiano Leal (Orientador)

Prof. Dr. José Antonio de Queiroz (Coorientador)

Prof. Dr. José Arnaldo Barra Montevechi

Prof. Dr. Fernando Luiz Cyrino Oliveira

Itajubá  
2016

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por sua infinita bondade e misericórdia, aos meus pais Nadege e Dilson, pelo exemplo, educação e apoio em todas as decisões. Ao meu filho Matheus, por simplesmente existir em minha vida e torná-la um motivo especial para ser vivida. Ao meu irmão Diego por sua generosidade e solicitude. A esses diretamente, agradeço a paciência e por compreenderem minhas ausências.

Ao Paulo, pai do Matheus, pelo inestimável apoio, às minhas amigas Rayane, Dayanni, Juliana e Daniele, que certamente tornaram essa caminhada mais leve. Especialmente à minha amiga Elisa, pelo carinho, acolhimento, companhia, parceria, que com sua nobreza tornou minhas viagens a Itajubá mais divertidas.

À Levitare, especificamente à Denise Nakid, por sua percepção, grandiosidade e benevolência, que não somente contribuiu com a prática da pesquisa, como também garantiu cuidadosamente que não faltassem recursos para a condução da mesma.

Expresso minha enorme gratidão aos professores Fabiano Leal e José Antonio de Queiroz, pelo imensurável apoio, paciência, compreensão e orientação ao longo da especialização e do mestrado. Ao professor José Arnaldo, pelo apoio e estímulo, à Belge consultoria, pelas orientações.

Agradeço a CAPES e FAPEMIG pelo apoio e incentivo à pesquisa.

# EPÍGRAFE

A menos que modifiquemos nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver problemas causados pela forma como acostumamos a ver o mundo.

(Albert Einstein)

## RESUMO

O objetivo deste trabalho consiste em analisar a integração entre as técnicas Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV) e Simulação a Eventos Discretos (SED), elaborar uma proposta de integração entre as duas técnicas e aplicar essa proposta em um caso real. A aplicação da proposta de integração ocorreu em uma fábrica de laticínios marcado pela presença de eventos discretos, contínuos e em batelada. A partir do MFV do estado atual foi possível identificar e registrar os desperdícios do processo de fabricação de queijos. Um modelo computacional do estado atual foi desenvolvido para monitorar esses desperdícios e tornar os critérios de avaliação como *lead time* e tempo de agregação de valor (TAV), inicialmente determinístico, em valores estocásticos. Em seguida, um MFV do estado futuro foi desenvolvido com base nos conceitos do *lean*, propondo melhorias para o processo produtivo. Essas melhorias foram implementadas a partir da modificação do modelo computacional do estado atual, gerando um modelo computacional para o estado futuro. Ao final do modelo de simulação, experimentos foram gerados através da técnica DOE (*design of experiments*) e simulados, gerando assim um cenário futuro ideal. As melhorias observadas no processo de laticínios foram: diminuição do *lead time*, do TAV e aumento da flexibilidade na produção dos diversos itens. A análise e aplicação da proposta de integração gerou um guia estruturado que auxiliará a prática integrada entre o MFV e a SED.

**Palavras-Chave:** *Integração Mapeamento do Fluxo de Valor e Simulação a Eventos Discretos, Processos contínuos, Experimentos simulados.*

## **ABSTRACT**

The objective of this study is to analyze the integration between techniques Value Stream Mapping (VSM) and Discrete-event Simulation (DES), to proposed integration between the two techniques and apply the proposal in a real case. The application integration proposal occurred in a dairy that represent discrete, continuous and batch events. From the MFV's current state it was possible to identify and record waste from cheese manufacturing process. A computer model of the current state is designed to monitor such waste and make the evaluation criteria as Lead time and value-added time, initially deterministic, stochastic values. Then a MFV future state was developed based on the lean concepts, proposing improvements to the production process. These improvements were implemented from the modification of the computational model of the current state, generating a computational model for the future state. At the end of the simulation model, experiments were generated by DOE technical (design of experiments) and simulated, thus creating an ideal future scenario. The improvements observed in the dairy process were: decreased Lead time, value-added time and increased flexibility in the production of various items. The analysis and application integration proposal generated a structured guide that will help the integrated practice between the VSM and DES.

**keywords:** Integration Value Stream Mapping and Discrete-event Simulation, Continuous Process, Simulated Experiments.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Fases de implementação do MFV e da SED.....	15
Figura 2.1 - Etapas do Mapeamento do Fluxo de Valor.....	24
Figura 2.2 - Sistema de produção puxado de reposição.....	28
Figura 2.3 - Sistema puxado sequenciado.....	29
Figura 2.4 - Sistema de produção puxado misto.....	30
Figura 2.5 – Gráfico de balanceamento operador.....	31
Figura 2.6 - Sistema puxado sequenciado.....	32
Figura 2.7 - Exemplo de retirada compassada.....	34
Figura 2.8- Sequência de passos para o desenvolvimento da SED.....	36
Figura 2.9 – Passo a passo para validação de modelos computacionais.....	44
Figura 2.10 - Estrato por ano de publicação dos artigos sobre MFV e SED.....	49
Figura 3.1 – Esquema classificação da pesquisa.....	55
Figura 3.2 – Etapas seguidas na fase da concepção.....	56
Figura 3.3 – Etapas seguidas na fase da implementação.....	57
Figura 3.4 – Etapas seguidas na fase de análise.....	57
Figura 4.1 - Proposta de integração entre o MFV e a SED.....	60
Figura 4.2 - Comparação entre a oferta de leite e demanda do produto mozzarella em 2014.....	64
Figura 4.3 - Mapa do Fluxo de Valor do estado atual Bufalean.....	78
Figura 4.4 - IDEF-SIM do estado atual.....	81

Figura 4.5 - IDEF3 foco objeto.....	82
Figura 4.6 - Biblioteca gráfica desenvolvida para o Promodel ®.....	91
Figura 4.7 – Modelo computacional atual desenvolvido no Promodel ®.....	93
Figura 4.8 – Teste de Normalidade para os dados reais e simulado.....	99
Figura 4.9 – Resultado do teste 2 Variances para os dados reais e simulados.....	99
Figura 4.10 – Resultado do teste 2 Sample t para os dados reais e simulados.....	100
Figura 4.11 - Gráfico de balanceamento do operador do estado atual.....	102
Figura 4.12 - Gráfico balanceamento do operador do estado futuro.....	108
Figura 4.13 - Quadro nivelamento do volume de produção.....	113
Figura 4.14 – Mapa do Fluxo de Valor do estado futuro.....	114
Figura 4.15 - IDEF-SIM do estado futuro.....	117
Figura 4.16 - Estado futuro simulado atendendo à demanda.....	120
Figura 4.17 – Estado futuro simulado criando fluxo contínuo.....	122
Figura 4.18 - Estado futuro simulado final.....	125
Figura 4.19 - Teste de normalidade para os resíduos dos experimentos.....	130
Figura 4.20 – Gráfico de Pareto para os fatores.....	131
Figura 4.21 – Efeito da interação dos níveis dos fatores.....	132

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Artigos encontrados na literatura sobre MFV e SED.....	48
Tabela 2.2 – Artigos selecionados para o estudo sobre o tema integração do mapeamento do fluxo de valor e da simulação a eventos discretos.....	49
Tabela 2.3 - Desperdícios do <i>lean</i> expressos em simulação.....	50
Tabela 2.4 - Panorama geral sobre pesquisa envolvendo MFV e SED.....	51
Tabela 2.5 - Metodologia de integração SED e MFV.....	53
Tabela 4.1 - Demanda média mensal em quilos de queijos da Bufalean.....	66
Tabela 4.2 - Processo de fabricação dos queijos da Bufalean.....	66
Tabela 4.3 – Informações do processo de filagem.....	72
Tabela 4.4 – Informações do processo de enformagem.....	73
Tabela 4.5 – Informações do processo de salga.....	74
Tabela 4.6 – Informações do processode embalagem.....	74
Tabela 4.7 – Informações do processo de selagem.....	75
Tabela 4.8- Resumo das informações de T/C e TAV do processo.....	75
Tabela 4.9 – Resumo das informações do MFV do estado atual.....	79
Tabela 4.10 - Distribuição de probabilidade dos tempos coletados.....	90
Tabela 4.11 - Locais construídos no modelo computacional atual.....	92
Tabela 4.12 – Redes de caminho construídas no modelo computacional atual.....	93
Tabela 4.13 – Chegadas do modelo computacional atual.....	94
Tabelas 4.14 – Variáveis do modelo computacional atual.....	95

Tabela 4.15 – Dados reais e simulados do modelo computacional.....	98
Tabela 4.16 – Comparação entre os tempos de ciclo dos estados atual e futuro.....	108
Tabela 4.17 – Comparação entre os critérios de produção do MFV atual e futuro.....	115
Tabela 4.18 – Redes de caminho do modelo computacional futuro.....	121
Tabela 4.19 – Chegadas do modelo computacional futuro.....	124
Tabela 4.20 - Níveis e fatores considerados no projeto experimental.....	127
Tabela 4.21 - Resultado dos experimentos.....	128
Tabela 4.22 - Resumo dos resultados dos modelos computacional atual e futuro.....	131
Tabela 4.23 – Plano de Implementação para o estado futuro.....	134

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 4.1 - Fragmento 01 da tabela de dados do Excel ® com tempos em segundos.....	85
Quadro 4.2 – Fragmento 02 da tabela de dados do Excel ® com tempos em segundos.....	86
Quadro 4.3 – Fragmento 03 da tabela de dados do Excel ® com tempos em segundos.....	87
Quadro 4.4 - Fragmento 04 da tabela de dados do Excel ® com tempos em segundos.....	88

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIQ: Associação Brasileira das Indústrias de Queijos

MFV: Mapeamento do fluxo de valor

AHP: Analytic Hierarchy Process

SED: Simulação a eventos discretos

PE: Produção enxuta

DOE: *Design of experimet*

MIT: *Massachusetts Institute of Technology*

E: Espera

P: Produção

R: recurso

AV: Agrega valor

NAVN: Não agrega valor e necessário

NAV: Não agrega valor

STP: Sistema Toyota de Produção

JIT: *Just in time*

TKT: *Takt time*

GBO: Gráfico balanceamento do operador

MRP: Manufacturing resource plannign

FV: Fluxo de valor

T/C: Tempo de ciclo

LT: Lead time

TAV: Tempo de agregação de valor

IDEF: *Integrated definition methods*

IDEF-SIM: *Integrated definition methods-Simulation*

ACD: *Activity Cicle Diagram*

SIPOC: *Suppliers Process Outputs Customers*

PCP: Programação e controle da produção

FC1: Fluxo contínuo 1

FC2: Fluxo contínuo 2

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	15
1.1. Justificativa.....	16
1.2. Objetivos geral e específico .....	18
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	20
2.1. Produção Enxuta .....	20
2.1.1 Mapeamento do Fluxo de Valor.....	24
2.2. Modelagem e Simulação .....	35
2.2.1. Concepção .....	37
2.2.2. Implementação .....	40
2.2.3. Análise.....	45
2.3. Mapeamento do Fluxo de Valor e Simulação a Eventos Discretos.....	48
4. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA .....	59
4.1. Proposta de integração entre o Mapeamento do Fluxo de Valor e a Simulação a Eventos Discretos. ....	59
4.2. Aplicação da proposta de integração entre o Mapeamento do Fluxo de Valor e a Simulação a Eventos Discretos em um caso real .....	64
4.2.1. Concepção .....	64
4.2.2 Implementação da simulação .....	91
4.2.3 Análise da simulação.....	101
5. CONCLUSÃO .....	138

# 1. INTRODUÇÃO

O Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV) é uma técnica da Produção Enxuta, introduzida pelos pesquisadores Rother e Shook (2008). Seu objetivo consiste em estabelecer um diagnóstico do sistema avaliado, guiar o processo de identificação dos desperdícios de produção ao elaborar um mapa do estado atual, e em seguida, consolidar os conceitos do *lean* a partir da projeção de um mapa do estado futuro.

Já a Simulação a Eventos Discretos (SED) está inserida dentro do contexto de Projetos de Simulação, que visa estudar o comportamento de sistemas reais por meio da simulação computacional, propondo cenários que podem ser avaliados antes de serem implementados.

Ambas as técnicas já foram estudadas isoladamente e suas fases de implantação consolidadas. A Figura 1.1 mostra um resumo das etapas de aplicação do MFV e da SED com seus respectivos autores. As duas serão explicadas detalhadamente no Capítulo 2 dessa dissertação.

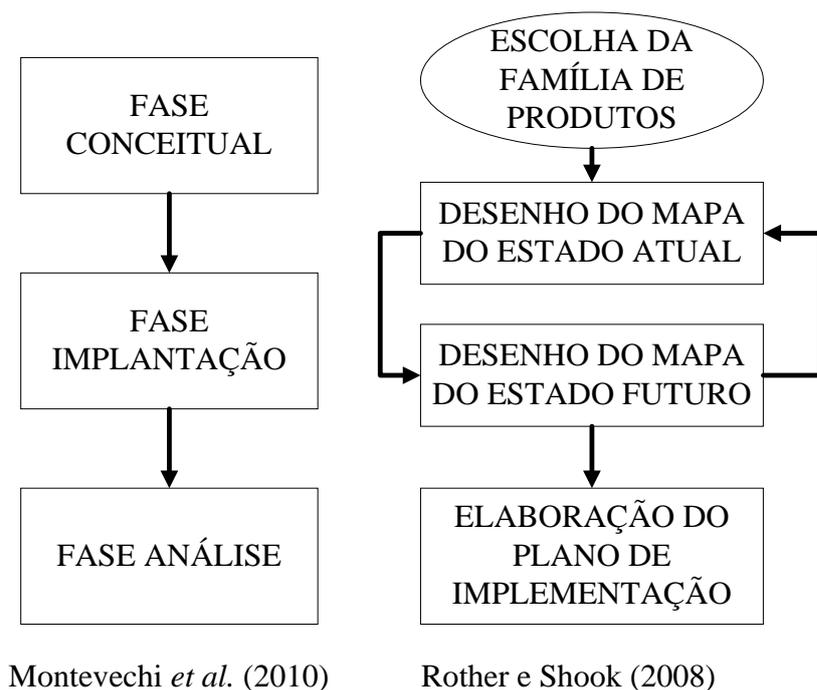


Figura 1.1 – Fases de implementação do MFV e da SED

Estudos demonstram a aplicabilidade do MFV em diversas áreas da manufatura e serviços (BHAMU e SANGWAN, 2014). Sendo seu foco a redução das atividades que não agregam valor, quando aplicada em ambientes de transformação *lean*, podem levar a redução do *lead time*, do tempo de agregação de valor e dos estoques de produtos em processamento.

Tais melhorias ocorrem essencialmente pela redução dos desperdícios (ABDULMALEK e RAJGOPAL, 2006). Outros benefícios como aumento da eficiência dos processos, melhoria nas comunicações transacionais e de relacionamento com os clientes (SUN, 2013), redução dos custos de produção e serviços e aumento de competitividade das organizações (AOMAR, 2010) também estão relacionados com a implementação do MFV.

Em contrapartida, autores como Lian e Landeghem (2005), Tanco *et al.* (2013) e Ali *et al.* (2015) afirmam que apesar do MFV ser um método popular de implementação da Produção Enxuta, suas limitações, tais como demora na implementação, a incapacidade de detalhar o comportamento dinâmico dos processos de produção e abranger a sua complexidade, têm estimulado os praticantes do método a recorrer ao uso da simulação.

Xia e Sun (2013) defendem o uso da SED como técnica complementar ao MFV tradicional, uma vez que a SED fornece justificativas suficientes, além de evidências quantificáveis necessárias para convencer os gestores quanto às abordagens da Produção Enxuta, uma vez que estes não conseguem prever a magnitude do ganho alcançado ao adotá-las.

Para Helleno *et al.* (2015) os benefícios da aplicação do MFV como a melhoria dos processos, melhoria da produtividade e redução dos custos ainda carecem de um sistema de simulação da produção para prover a avaliação avançada dos cenários. Nesse sentido, a SED aplicada ao MFV pode auxiliar na tomada de decisão quanto à escolha da melhor opção de cenários, a partir dos diferentes cenários gerados pela simulação.

Por outro lado, experiências em Projetos de Simulação demonstram a construção de cenários futuros baseados em melhorias pontuais, nos quais somente alguns parâmetros do processo são modificados aleatoriamente. Sob esse aspecto, o MFV poderá auxiliar na construção dos cenários futuros e melhorar o desempenho dos modelos de simulação, a partir de melhorias orientadas a partir da Produção Enxuta.

## **1.1. Justificativa**

A literatura apresenta quatro trabalhos que propõem uma metodologia de integração entre o MFV e a SED. Os destaques são para os autores Lian e Landeghem (2007), Robinson *et al.* (2012), Doloti *et al.* (2014) e Ali *et al.* (2015). A discussão sobre as metodologias de integração serão apresentadas no capítulo 2 dessa dissertação.

Inicialmente, é possível afirmar que as metodologias existentes não consideram a aplicação integral das duas técnicas. Mais especificamente sobre o MFV, nenhuma das

metodologias propostas pelos autores implementam por completo a técnica, ou seja, aplicam o conjunto de questões-chave desenvolvidos pelos criadores do MFV Rother e Shook (2008) para atingir o estado futuro.

A Produção Enxuta foi criada e aplicada inicialmente no setor automobilístico. No entanto, ao longo de décadas, distintas aplicações em diversos setores, sejam elas em manufatura ou serviços, veêm sendo exemplificadas (BHAMU e SANGWAN, 2014; JASTI e KODALI, 2014). Em paralelo, alguns autores abordam as dificuldades de implementação da Produção Enxuta em algumas áreas, mais especificamente na indústria de processos contínuos e na indústria química.

No que diz respeito a aplicações da Produção Enxuta em processos contínuos (tipo de processo este caracterizado em laticínios, por exemplo), autores como Abdulmalek e Rajgopal (2006), apontam que essas aplicações têm sido menores quando comparadas com os demais tipos de processos. Estes argumentam que essas indústrias são inerentemente mais eficientes e atividades de melhorias são relativamente menos importantes. Além disso, gestores hesitam em adotar a técnica em função de outras características típicas do setor, como grandes máquinas inflexíveis, tempo de ciclo dos processos muito longos e dificuldade em produzir pequenos lotes.

Tanco *et al.* (2013) argumentam que as técnicas da Produção Enxuta precisam ser adaptadas para as indústrias químicas (a indústria de laticínios é um tipo de indústria química) em função de algumas diferenças entre os dois tipos de indústrias: as matérias-primas sofrem alterações em suas medidas químicas e físicas ao serem transformadas em produtos, as matérias-primas não são transformadas diretamente em produtos, precisando em alguns casos, de etapas intermediárias como curas e fermentações. Além disso, a transformação da matéria-prima em produto acabado, na indústria química, é fortemente dependente de tempo.

Esta discussão da literatura sobre as possíveis vantagens do uso integrado do MFV e da SED acabou sendo elemento motivador para esta pesquisa. Para tanto, torna-se necessário a escolha de um objeto de estudo para aplicação da prática desta proposta de integração. Escolheu-se então, uma fábrica de laticínios que processa derivados de leite de búfala.

A escolha pelo laticínio se justifica por razões profissionais da pesquisadora e por razões bibliográficas. As razões profissionais consistem no fato da pesquisadora ter atuado em projetos de consultoria em laticínios, no que diz respeito à análise do fluxo dos processos. Esta experiência demonstrou o grande potencial de contribuição da Engenharia de Produção neste segmento de mercado.

As razões bibliográficas se baseiam nas afirmações dos autores Aubdulmalek e Rajgopal (2006) ao declararem que aplicações da Produção Enxuta em processos contínuos têm sido menores quando comparadas com os demais tipos de processos, e nas afirmações dos autores Tanco *et al.* (2013) ao apontarem os desafios da aplicação do *lean* em indústrias químicas. Além disso, não foram encontrados registros de publicações das duas técnicas em laticínios na literatura.

O Brasil é um dos maiores produtores de leite do mundo e o Estado de Minas Gerais é líder absoluto respondendo por 27,4% da produção nacional (ABIQ, 2014). O processo de fabricação de queijos nos grandes laticínios geralmente ocorre em sistemas totalmente mecanizados e em sua forma contínua. Já nas pequenas e médias empresas, os processos são mistos, variando entre eventos discretos, contínuos e em bateladas.

Algumas instituições no país focam o estudo da ciência e tecnologia do leite, porém, poucos estudos abrangem questões sobre a gestão da produção no segmento. O setor de leite no Brasil carece de pesquisas que auxiliem as empresas na busca pela eficiência operacional e aumento da lucratividade. Em paralelo, diversos autores vêm demonstrando como métodos modernos de gestão da produção, especialmente a Produção Enxuta, podem ser utilizados para promover melhorias dentro das organizações (LU *et al.*, 2011).

## **1.2. Objetivos geral e específico**

O objetivo geral desse trabalho consiste em analisar a integração entre as técnicas MFV e SED, desenvolver uma proposta de integração entre as duas técnicas e aplicar essa proposta em um caso real.

Para a análise da integração, foi realizado um estudo detalhado da literatura disponível sobre o tema, destacando suas diferenças em termos de objeto de estudo, do passo a passo seguido pelos autores, da metodologia utilizada em cada trabalho e os ganhos alcançados com a utilização integrada das duas técnicas. A análise da literatura possibilitou a elaboração de um passo a passo para o uso integrado do MFV e da SED. O esquema proposto foi então aplicado em um caso real de uma indústria de laticínios fabricante de queijos.

Nesse sentido, os objetivos específicos desse trabalho são: aplicar o MFV e a SED em um processo de laticínios marcado pela presença de eventos discretos, contínuos e em batelada, mostrar os benefícios da aplicação integrada entre as duas técnicas tanto para o MFV quanto para a SED e aplicar o DOE em um projeto de integração entre o MFV e a SED.

Ao desenvolver o MFV e a SED em um processo de laticínios, pretende-se avaliar aspectos quanto à aplicabilidade das duas técnicas para esse tipo de processo, verificar as adaptações necessárias, a possibilidade de uso dos conceitos *lean* no setor de laticínios e os ganhos obtidos com o uso das técnicas.

Além disso, a literatura é expressiva ao considerar os exemplos de aplicação integrada entre as duas técnicas no qual o MFV é a técnica central, destacando os benefícios da integração apenas para o MFV. Sob esse aspecto, pouco vem sendo retratado pela literatura sob as contribuições do MFV para a SED.

Finalmente, os autores Yang *et al.* (2012), afirmam que a SED é uma ferramenta útil para avaliar o desempenho para o MFV do estado futuro, no entanto, a SED sozinha não é capaz de fornecer o melhor projeto. Nesse caso, ainda é necessário combinar o MFV e a SED com um projeto experimental ou uma otimização.

Esse trabalho está estruturado da seguinte forma: no capítulo 1, tem-se a introdução ao tema, as justificativas do trabalho, a definição do objetivo geral e a descrição dos objetivos específicos. No capítulo 2, será descrita a revisão bibliográfica dos conceitos abordados nessa pesquisa, como a Produção Enxuta, o Mapeamento do Fluxo de Valor, a Simulação a Eventos Discretos, Experimentos Simulados e Integração entre o MFV e a SED.

No capítulo 3 é descrito a metodologia de pesquisa. O capítulo 4 inicia com a apresentação da proposta de integração entre o MFV e a SED, seguindo da aplicação dessa abordagem em um caso real. O capítulo 5 apresenta as conclusões desse trabalho.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão apresentados conceitos sobre a Produção Enxuta com foco nos seus pilares e no Mapeamento do Fluxo de Valor. Ainda serão abordados os conceitos sobre a Simulação a Eventos Discretos e a análise da literatura sobre o uso integrado entre o MFV e a SED.

### 2.1. Produção Enxuta

No contexto da evolução dos modos de produção, tem-se a Produção Artesanal, seguida pela Produção em Massa e, finalmente, a Produção Enxuta. O Sistema Toyota de Produção (STP) teve seu início no Japão no final de Segunda Guerra Mundial, na *Toyota Motor Company*. A montadora se viu obrigada a revolucionar seu sistema de produção, anteriormente baseado na produção em massa ao estilo americano, em função de fatores como crescimento lento da economia, baixa produtividade da mão de obra japonesa, demanda baixa e variada de veículos. No começo da década de 1960, todos os conceitos e princípios da Produção Enxuta já haviam sido desenvolvidos (OHNO, 1997).

No entanto, antes da primeira crise do petróleo em 1973, pouco se conhecia sobre a tecnologia de fabricação e o sistema de produção da Toyota. Foi a partir desse episódio que a Produção Enxuta chamou a atenção das outras empresas japonesas, que passaram a adotá-los, visto que a Toyota havia conseguido manter ganhos superiores aos concorrentes e a outras indústrias mesmo durante o período de crise (OHNO, 1997).

A origem do termo *Lean* foi na década de 1980 a partir de um estudo conduzido pelo *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) sobre o Sistema Toyota de Produção (STP), que deu origem ao livro “A Máquina que mudou o mundo”, na qual surge o termo *Lean*. A partir daí os conceitos e princípios da Produção Enxuta ganharam cada vez mais força e espaço nas indústrias (WOMACK *et al.*, 2004).

Para Ohno (1997) a Produção em Massa busca aumentar a eficiência através do aumento do volume de produção. O pressuposto equivocado e prejudicial por trás deste raciocínio é que as maximizações das eficiências locais isoladas conduzirão à maximização do resultado global. Porém, em períodos de baixo crescimento, cada vez mais comuns, onde nem tudo aquilo que é produzido pode ser absorvido pelos clientes ou mercados, o aumento do volume de produção conduz não à maximização do resultado, mas sim à maximização dos desperdícios. A causa-raiz disto está no fato da Produção em Massa tratar todos os recursos como ilhas isoladas, que operam no máximo de suas capacidades produtivas e, então,

empurram suas produções para os recursos seguintes, independente de terem capacidade para processá-los ou de haverem demanda capaz de absorvê-los.

A Produção Enxuta, por sua vez, possui como princípio a eliminação sistemática dos desperdícios resultantes das operações. De acordo com Ohno (1997, p.71) “desperdício se refere a todos os elementos de produção que só aumentam os custos sem agregar valor – por exemplo, excesso de pessoas, de estoques e de equipamento”.

Para eliminar esses desperdícios, utiliza-se de um conjunto de práticas de trabalho ou ferramentas de apoio, para produzir produtos e serviços a uma determinada taxa de demanda. A Produção Enxuta alinha a produção à demanda com o objetivo de evitar o principal desperdício que consiste na superprodução (OHNO, 1997; WOMACK *et al.*, 2004, WOMACK e JONES, 2004; YANHG *et al.*, 2011; NASAB *et al.*, 2012, FULLERTON, *et al.*, 2014; BHAMU e SANGWAN, 2014, ROBINSON *et al.*, 2012; JASTI e KODALI, 2014; AOMAR, 2010).

Segundo Hines e Taylor (2000), as atividades podem ser classificadas de acordo com a definição de desperdício em três grupos: (1) aquelas que realmente criam valor, conforme pedido do cliente; (2) aquelas que não criam valor, mas são necessárias para os sistemas de desenvolvimento do produto, atendimento de pedidos ou produção e, portanto, ainda não podem ser eliminadas e; (3) as ações que não criam valor conforme percebido pelo cliente e também não são necessários, devendo assim, ser eliminadas imediatamente. Ainda segundo os autores, em um ambiente de produção, a composição das atividades de transformação pode ocorrer na seguinte proporção: 5% de atividades que agregam valor; 35% de atividades que não agregam valor, mas são necessárias e 60% de atividades que não agregam valor e não são necessárias (são os chamados desperdícios puros).

De acordo com Ohno (1997) os desperdícios podem ser divididos em sete categorias:

1. Superprodução: segundo o autor, este é o pior tipo de desperdício, uma vez que tem a propriedade de disparar e/ou esconder as outras perdas. As perdas por superprodução podem ser divididas em dois subgrupos: superprodução por quantidade e superprodução por antecipação. A superprodução por quantidade ocorre quando a produção é realizada além da quantidade programada. Já a superprodução por antecipação ocorre quando a produção é realizada antes do momento necessário. Em ambos os casos, os produtos ficarão estocados aguardando o momento de ser processado ou consumido pelos processos posteriores, o que inclui o cliente final (QUEIROZ e RENTES, 2010).

2. Esperas: podem ocorrer de três formas: a espera pelo processo, a espera pelo lote ou a espera pelo operador. A espera pelo processo ocorre quando o lote posterior aguarda o término do processamento que está sendo executado no lote anterior. A espera pelo lote ocorre quando um produto aguarda o término do processamento que está sendo executado nos demais produtos do seu lote. A espera pelo operador ocorre quando o operador permanece junto à máquina para acompanhar o processamento do início ao fim (QUEIROZ e RENTES, 2010).
3. Transportes: ocorrem sob a forma de transportes desnecessários e/ou ineficientes sofridos pelas matérias-primas, materiais em processo e produtos acabados. A melhoria dos equipamentos de transporte, o que implica em investimento, somente deve ser introduzida depois de esgotada todas as possibilidades de racionalização das atividades de transporte (QUEIROZ e RENTES, 2010).
4. Processamentos: ocorre a partir de processamentos desnecessários que não criam valor ao produto, ou que criam valor que os clientes não percebem ou pelos quais não estão dispostos a pagar. Melhorias em termos de redução de perdas por processamento são obtidas por meio da eliminação das atividades que não criam valor do ponto de vista do cliente (QUEIROZ e RENTES, 2010).
5. Estoques: podem ocorrer sob a forma de estoques desnecessários de matérias-primas, materiais em processo e produtos acabados. Na Produção em Massa, a elevação gradativa dos estoques esconde os problemas. Já na Produção Enxuta, a redução gradativa dos estoques expõe os problemas (QUEIROZ e RENTES, 2010).
6. Movimentações: caracterizam-se por movimentações desnecessárias e/ou ineficientes realizadas pelos operadores (pessoas). As melhorias por automação, o que implica em investimentos, somente devem ser introduzidas depois de esgotadas todas as possibilidades de racionalização dos movimentos dos operadores (pessoas) (QUEIROZ e RENTES, 2010).
7. Produtos defeituosos: são gerados quando os produtos não atendem às especificações dos clientes. Para eliminar as perdas por produtos defeituosos, devem ser aplicados métodos de controle junto à causa raiz das anormalidades (QUEIROZ e RENTES, 2010).

Womack e Jones (2004) introduzem a ideia dos cinco pensamentos ou princípios enxutos, que deverão ser seguidos pelas empresas que buscam a transformação de seus

sistemas de Produção em Massa para a Produção Enxuta. São eles: especificar o valor, identificar o fluxo de valor, tornar o fluxo de valor enxuto, puxar e buscar a perfeição. Esses princípios são explicados a seguir:

1. Especificar o valor: o valor do produto deve ser especificado sob o ponto de vista do cliente e não da empresa.
2. Identificar o fluxo de valor: separar as atividades que agregam valor, pelas quais os clientes estão dispostos a pagar, daquelas que não agregam valor e que tão somente implicam em custos para as empresas.
3. Fluxo de valor enxuto: as atividades que criam valor devem fluir em um fluxo de valor contínuo e estável, o que implica produzir um produto de cada vez, onde cada item deve ser passado imediatamente do estágio anterior para o posterior sem nenhuma perda ou estoque. Idealmente, os produtos devem fluir em um fluxo de valor enxuto da matéria-prima ao produto acabado, sem movimentos inúteis, sem interrupções, sem lotes e sem filas.
4. Puxar: consiste em preparar um processo para fazer somente o que o seguinte necessita e quando necessita. Dessa forma, os processos clientes são responsáveis por puxar o valor. Caso contrário, os processos fornecedores tenderão a fabricar o que os processos clientes não necessitam, dentro do conceito da produção empurrada, levando à superprodução, à geração de estoques, e aos demais desperdícios.
5. Perfeição: embora não seja possível alcançá-la, sua busca conduz à percepção de que as oportunidades de eliminação dos desperdícios são infinitas. Assim, a empresa terá capacidade de oferecer cada vez mais um produto que se aproxima daquilo que o cliente realmente deseja.

Para auxiliar as organizações a trabalharem conforme a Produção Enxuta existe um conjunto de ferramentas específicas como métodos de análise, técnicas de projeto, ferramentas de melhoria, novos arranjos organizacionais e ferramentas visuais que podem operacionalizar os conceitos, tanto em operações de manufatura como em operações de serviços (BHAMU e SANGWAN, 2014; ABDULMALEK e RAJGOPAL, 2006; AOMAR, 2010; SUN, 2013; TANCO *et al.*, 2013; HELLENO *et al.*, 2015, AOMAR, 2010).

No entanto, a técnica capaz de disseminar os conceitos e princípios da Produção Enxuta e orientar a transformação *lean* dentro das organizações foram sistematizados e introduzidos por Rother e Shook no final da década de 1990. Trata-se do Mapeamento do

Fluxo de Valor (MFV). O MFV é considerado um guia prático para as empresas até os dias atuais e será discutido a seguir.

### 2.1.1 Mapeamento do Fluxo de Valor

Segundo seus criadores Rother e Shook (2008), o Mapeamento do Fluxo de Valor é uma técnica que utiliza papel e lápis e auxilia o usuário a enxergar e entender os fluxos de material e informação na medida em que o produto segue o fluxo de valor. Dessa forma, mapear o fluxo de valor consiste em seguir a trilha da produção de um produto, desde o consumidor até o fornecedor, desenhando uma representação visual de cada processo nos fluxos de material e de informação. Em seguida, um conjunto de questões-chave é formulado e na medida em que é respondido, um desenho do “estado futuro” surgirá com a proposta de um novo fluxo de valor.

Rother e Shook (2008) definiram o conceito de fluxo de valor como sendo toda ação (agregando valor ou não) necessária para trazer um produto por todos os fluxos essenciais a cada produto. Prado (2006) afirma que um fluxo de valor leva em conta não os processos individuais, mas sim os processos em cadeia, analisando-se o todo e não somente otimizando-se as partes. As etapas de implementação do MFV ilustrada na Figura 2.1 foram definidas pelos autores Rother e Shook (2008).

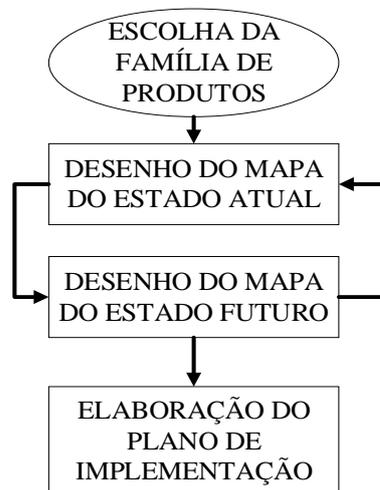


Figura 2.1 - Etapas do Mapeamento do Fluxo de Valor

Fonte: Adaptado de Rother e Shook (2008)

O Mapeamento do Fluxo de Valor deve ser iniciado em uma família de produtos e depois ser estendido às demais linhas de produção (ROTHER E SHOOK, 2008). As duas etapas subsequentes consistem em desenhar os mapas do estado atual e futuro, o que é feito a partir da coleta de informações no chão de fábrica. As setas entre os mapas do estado atual e

futuro indicam que o desenvolvimento de ambos são esforços superpostos, visto que a ideia sobre o estado futuro virá à tona enquanto ainda se estiver desenhando o mapa do estado atual, bem como poderá ser necessário, no decorrer do desenho do estado futuro, voltar ao chão de fábrica para a coleta de dados adicionais (QUEIROZ, 2006).

Finalmente, deve-se preparar um plano de implementação para o estado futuro (ROTHER e SHOOK, 2008), de forma que sempre haverá um mapa do estado futuro e um plano de implementação em curso, o que representa a busca pela perfeição, ou seja, o quinto princípio enxuto (QUEIROZ, 2006).

Uma família é um grupo de produtos que passam por etapas semelhantes de processamento e utilizam equipamentos comuns em seus processos (ROTHER E SHOOK, 2008). Prado (2006) afirma que alguns produtos, que usualmente as pessoas julgam ser diferentes, podem ser processados através de máquinas e atividades similares. Dessa forma, podem ser abordados como sendo da mesma família, mesmo que eles não sejam equivalentes do ponto de vista mercadológico.

Em seguida, é necessário determinar uma pessoa para ser o gerente do fluxo de valor, o qual irá ultrapassar os limites da departamentalização. Essa pessoa deverá ser um líder e ter acesso e influência tanto no nível de chão de fábrica quanto no nível gerencial, além de transitar no fluxo de valor (ROTHER E SHOOK, 2008).

No mapa do fluxo de valor do estado atual, identificam-se os fluxos de materiais e de informações. O fluxo de pessoas não é tratado com tanta importância nesse momento. Importância maior a esse fluxo é dado posteriormente na construção do mapa do estado futuro e em seu processo de implementação.

Para Queiroz (2011), o mapa do estado atual faz um diagnóstico da empresa. Seu objetivo é identificar não somente onde, quando e com que intensidade os desperdícios ocorrem, mas, sobretudo, quais são suas causas-raiz. O autor propõe um passo a passo sequenciado de informações a serem coletadas no chão de fábrica para a construção do mapa do fluxo de valor do estado atual.

A primeira etapa trata do fluxo de material. Inicialmente é necessário identificar a demanda total e segregada dos produtos pertencentes à família mapeada, ou seja, entender a real necessidade dos clientes, o que significa clarificar as definições de valor de um produto a partir da ótica do consumidor (ROTHER e SHOOK, 2008).

Em seguida, deve-se iniciar a caracterização dos processos, seguindo o fluxo de fabricação dos mesmos e coletando informações ou parâmetros de processos para alimentar os dados do mapa. Uma particularidade dessa forma de mapeamento é que a técnica identifica

somente os processos básicos de produção. Nesse contexto, a caixa de processo termina onde os processos são separados e o fluxo de material é interrompido (ROTHER e SHOOK, 2008).

Abaixo de cada processo deverá ser inserida uma caixa de dados com as informações do processo cronometradas no chão de fábrica, além de algumas métricas *lean*, que serão definidas a seguir:

- Tempo de ciclo (T/C) ou *cycle time*: é o período necessário para completar o ciclo de uma operação (WOMACK e JONES, 2004). Rother e Shook (2008) definem ainda o T/C como a frequência com que uma peça ou produto é realmente completado em um processo cronometrado. Também é o tempo que o operador leva para percorrer todos seus elementos de trabalho, antes de repeti-los.
- *Lead time* (LT): definido como o tempo total que um consumidor deve esperar para receber um produto depois de realizar o pedido (WOMACK e JONES, 2004). Rother e Shook (2008) ainda definem *lead time* como o tempo que uma peça leva para mover-se ao longo de um processo ou de um fluxo de valor, desde o começo até o fim.
- Tempo de agregação de valor ou *value added time* (TAV): tempo dos elementos de trabalho que efetivamente transformam o produto de uma maneira que o cliente esteja disposto a pagar (ROTHER e SHOOK, 2008).
- Tempo de atravessamento ou *throughput*: é o tempo necessário para que um produto evolua da concepção ou lançamento do pedido à entrega, ou da matéria-prima ao produto acabado nas mãos do cliente. Inclui o tempo de espera na fila (WOMACK e JONES, 2004).

Na medida em que se percorre o fluxo de material do produto, dever-se identificar e quantificar os lugares onde os estoques se acumulam, pois, eles demonstram onde o fluxo de valor está parado (ROTHER e SHOOK, 2008). Finalizando o fluxo de material, deve-se identificar e caracterizar fornecedores de matéria-prima ou componentes para a elaboração dos produtos, o que inclui, por exemplo, aspectos relacionados à quantidade de entrega e ao tempo gasto no transporte (ROTHER e SHOOK, 2008).

Após o mapeamento do fluxo de materiais, o fluxo de informações precisa ser identificado no mapa. O fluxo de informações define a necessidade de produção de cada processo, o início da produção desses processos, a programação de expedição de produtos para o cliente e o relacionamento entre a empresa e o cliente e, entre a empresa e seus fornecedores.

Na parte inferior do mapa, é descrita uma linha do tempo abaixo das caixas de processos e dos triângulos de estoque. Na linha do tempo é definido o *lead time* de produção. Em alguns casos, o *lead time* para o produto percorrer ao longo do processo é maior que o tempo de ciclo, e nesse caso, as duas informações deverão ser discriminadas na linha do tempo (ROTHER e SHOOK, 2008).

Abdulmalek e Rajgopal (2006) afirmam que o processo de definir o estado futuro começa durante o desenvolvimento do estado atual, onde instantaneamente pequenas atitudes começam a ser tomadas em áreas alvos, melhorando o processo produtivo. Rother e Shook (2008) afirmam que ao idealizar um estado futuro, a meta consiste em construir uma cadeia de produção onde os processos individuais são articulados aos seus clientes. Isso ocorrerá ou por meio de fluxo contínuo ou por puxadas. Nesse caso, cada processo se aproxima o máximo possível de produzir apenas o que os clientes precisam e quando precisam.

Para auxiliar o desenho do mapa do estado futuro, Rother e Shook (2008) formularam oito questões-chave. Na medida em que as questões vão sendo respondidas na sequência proposta pelos autores, os conceitos sobre o *lean* serão desenvolvidos no estado futuro. As oito questões propostas pelos autores serão discutidas a seguir:

1) Qual é o *takt time* que alinhará a produção à demanda?

Alinhar o *takt time* com a demanda significa descobrir o ritmo de produção que atenda à demanda sem gerar o desperdício de superprodução. Trata-se de um número de referência que traduz a noção do ritmo em que cada processo deverá produzir e ajuda a enxergar como as coisas estão fluindo na produção (ROTHER e SHOOK, 2008).

2) A produção será para um supermercado de produtos acabados, do qual os clientes puxam, ou diretamente para a expedição?

Deve-se decidir sob qual tipo de sistema puxado será baseada a produção. Nesse sentido, os três tipos de sistemas puxado abordados pelo *lean* como o sistema puxado de reposição, sistema puxado sequenciado, ou sistema misto deverão ser considerados na escolha daquele que mais se adapte à realidade da família de produtos mapeada.

No sistema puxado de reposição, deve-se manter em estoque produtos acabados de todos os tipos e usar os pedidos dos clientes para iniciar a produção (QUEIROZ, 2006). Nesse caso, o consumo dos produtos finais inicia a reposição dos mesmos pelas etapas anteriores. A instrução de produção é enviada para a célula de produção final, e desta célula para trás, ao

longo do fluxo de produção (SMALLEY, 2004). A Figura 2.2 exemplifica esse tipo de sistema.

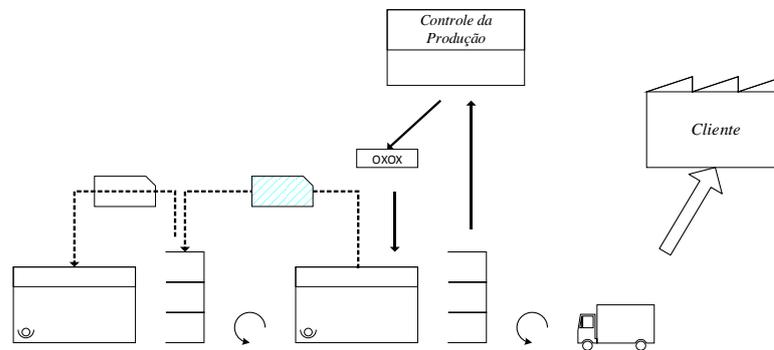


Figura 2.2 - Sistema de produção puxado de reposição

Fonte: Adaptado de Smalley (2004)

O processo cliente, ao solicitar certo produto para a empresa, faz com que o mesmo seja retirado do estoque de produtos acabados. Assim que o produto é retirado desse estoque, uma ordem de produção via *kanban* é enviada para a última célula de produção, ou seja, o processo imediatamente anterior ao estoque de produtos acabados. Essa célula vai processar o item a ser repostado no estoque de produtos acabados, mas para isso, precisará consumir material, ou produto em processo, do supermercado da célula anterior. Dessa forma, essa célula iniciará os trabalhos para reposição do material retirado, e assim sucessivamente.

Para Queiroz (2006), a vantagem do sistema puxado de reposição é que os produtos estarão prontos para serem expedidos em pouco tempo. A desvantagem é que requer um estoque para cada item e muito espaço.

O sistema puxado sequenciado é o processo de produzir todos os itens a partir dos pedidos dos clientes. Os itens são fabricados ao ritmo das chegadas dos pedidos, com a instrução de fabricação enviada à primeira etapa do processo, no início do fluxo de valor (QUEIROZ, 2006). A Figura 2.3 exemplifica esse tipo de sistema.

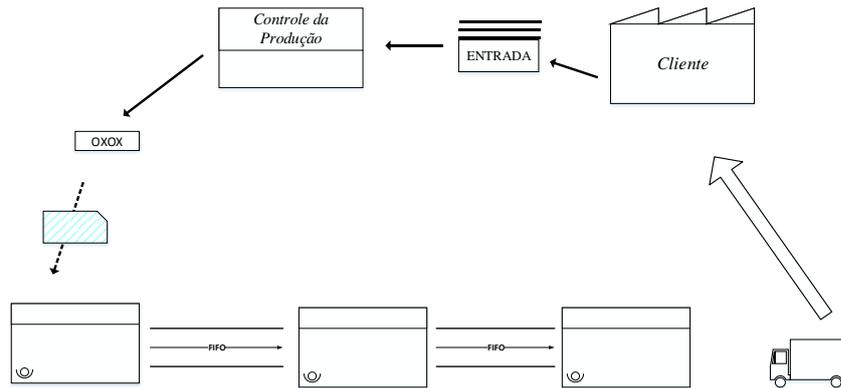


Figura 2.3 - Sistema puxado sequenciado

Fonte: Adaptado de Smalley (2004)

Esse tipo de sistema geralmente é empregado quando há uma variedade muito grande de peças a serem armazenadas em um supermercado (SMALLEY, 2004), ou ainda, quando são produtos altamente customizados, que só podem ter a sua fabricação iniciada quando o cliente define as características desejadas.

Os produtos começam a ser fabricados a partir do pedido do cliente, reduzindo o estoque total do sistema. Após a confirmação do pedido, uma ordem de produção via *kanban* será enviada para a primeira célula de produção. Essa célula processará o item solicitado e enviará para a célula seguinte. A célula posterior deverá processar os itens fabricados a partir do sistema FIFO (*first in, first out*), ou seja, primeiro que entra, primeiro que sai. Sendo assim, cada um dos processos seguintes produzirá em sequência os itens que chegam até ele, originados do processo anterior.

O sistema puxado sequenciado é mais complexo de ser gerenciado do que o sistema puxado de reposição, pois é difícil adequar o fluxo de operação ao *takt time*. Nesse caso, há necessidade de um *lead time* curto, um controle mais rigoroso dos processos e elevada confiabilidade dos sistemas, de forma a produzir sempre peças boas e dentro dos prazos firmados com os clientes. A menos que a fábrica tenha um *lead time* de produção curto, regular, e grande disponibilidade de equipamentos, esta opção não é tão fácil de ser mantida (SMALLEY, 2004). A vantagem desse sistema é que exige menores estoques e menores perdas a ele associado (QUEIROZ, 2006).

Finalmente, o sistema puxado misto utiliza em conjunto o sistema puxado de reposição e o sistema puxado sequenciado. A Figura 2.4 exemplifica esse tipo de sistema.

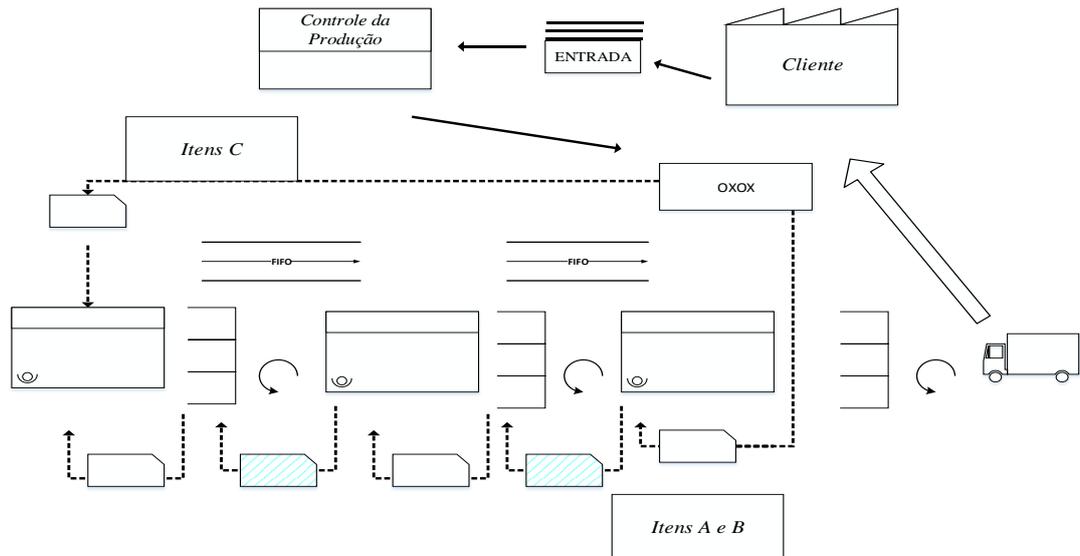


Figura 2.4 - Sistema de produção puxado misto

Fonte: Adaptado de Smalley 2004

Nesse caso, há duas opções. Na primeira, pode-se optar por manter os produtos classificados como tipo A, que possuem pedidos diários, e tipo B, que possuem pedidos frequentes, embora não diários, em supermercados. Em seguida, fazer o produto tipo C, que possui demanda instável e imprevisível, sob encomenda.

Para essa primeira opção, a vantagem é a exigência de menores estoques, quando comparado ao sistema puxado de reposição, e a desvantagem é que requer um controle de produção misto e estabilidade diária (SMALLEY, 2004).

A segunda opção pode ser aplicada nos casos de montagem sob encomenda, quando, por exemplo, o produto tipo C resulta da montagem dos componentes do tipo A e tipo B. Neste caso, pode-se decidir por manter os componentes do tipo A e tipo B no supermercado (de componentes ou de semiacabados) e fazer o produto acabado tipo C sob encomenda.

Para essa segunda opção, a vantagem é que requer um estoque moderado e a desvantagem é que requer um controle de produção misto (SMALLEY, 2004).

### 3) Onde poderá ser usado fluxo contínuo?

De acordo com Queiroz (2006), o processo de fluxo contínuo é um conceito que, em seu estado ideal, significa que os itens são processados e movidos diretamente de um processo para o próximo, uma peça de cada vez. Cada passo do processo opera somente na peça que é necessária ao próximo passo, pouco antes que este passo precise dela. Nesse caso, o tamanho do lote de transferência é um.

Para Rother e Shook (2008), a Produção Enxuta se esforça para atingir o fluxo contínuo e unitário porque acredita ser a maneira mais eficiente de transformar materiais em produtos sem gerar os desperdícios apontados por Ohno (1997).

Integrar homem em termos de elementos de trabalho consiste em um dos componentes para o projeto do fluxo contínuo. O “Gráfico Balanceamento de Operador” (GBO) é um gráfico onde está descrito a distribuição de trabalho entre os operadores em relação ao *takt time*, baseado em tempos reais. No primeiro passo, avaliam-se os tempos de ciclo dos processos no estado atual comparando-os com o valor encontrado no cálculo do *takt time* (ROTHER e HARRIS, 2008). A Figura 2.5 exemplifica um GBO hipotético.

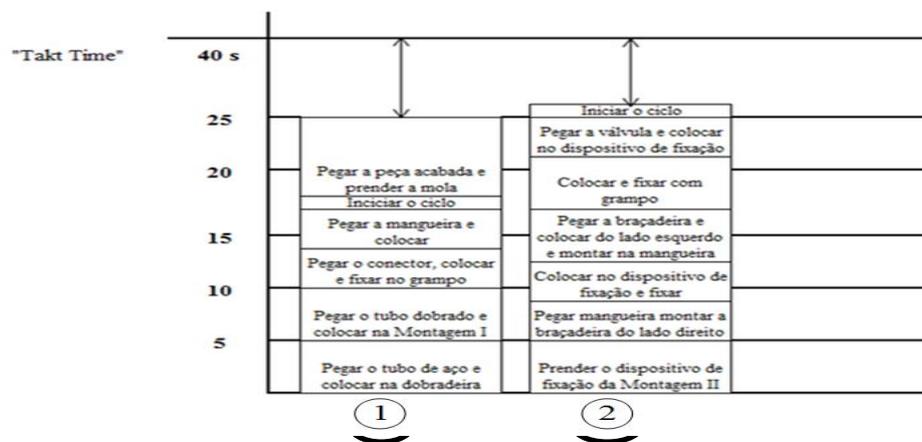


Figura 2.5 – Gráfico de balanceamento operador

Fonte: Adaptado de Rother e Harris (2008)

No exemplo hipotético da Figura 2.5, o eixo das abcissas representa o número de trabalhadores necessários para a operação descrita. Já o eixo das ordenadas representa o tempo em segundos gasto para a execução dessa operação. Nesse caso, o *takt time* está descrito como o limite do eixo Y. Os elementos de trabalho são então descritos na sequência ascendente, um sobre o outro. A altura da caixa na coluna representa o tempo de cada elemento de trabalho.

Em seguida, identificam-se os processos cujos tempos de ciclo estão abaixo do *takt time*, e dependendo da disponibilidade, isto é, se são dedicados ou compartilhados, unem-se esses processos em células de produção e aplicam-se as demais técnicas da Produção Enxuta, como eventos *kaizens*, autonomação, balanceamento da linha, dispositivos auto ajustáveis, e outros, de forma que a nova célula formada produza de forma otimizada (ROTHER e HARRIS, 2008).

- 4) Onde será necessário introduzir os sistemas puxados com supermercados, a fim de controlar a produção dos processos fluxos acima?

O sistema puxado é um método para controlar a produção entre dois fluxos. Porém, antes da decisão de uso do sistema puxado, deve-se ter certeza de que foi instalado fluxo contínuo em tantos estágios do processo quanto forem possíveis (ROTHER e SHOOK, 2008).

Ainda segundo os autores, o objetivo de colocar um sistema puxado entre dois processos é ter uma maneira de dar a ordem exata de produção ao processo anterior, sem tentar prever a demanda posterior e programar esse processo. Para controlar os estoques entre os processos onde não foi possível instalar o fluxo contínuo, utiliza-se um sinal visual ou *kanban*. Esse *kanban* pode ser um cartão, um container vazio, uma lâmpada ou um sinal (ROTHER e SHOOK, 2008).

A Figura 2.6 mostra o esquema do sistema puxado com supermercado.

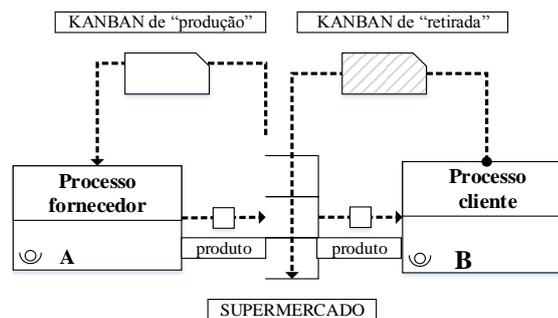


Figura 2.6 - Sistema puxado sequenciado

Fonte: Adaptado de Rother e Shook (2008)

O funcionamento dos sistemas puxados com dois *kanbans* ocorre da seguinte maneira: primeiro, um *kanban* de retirada autoriza a puxada de produtos ou componentes do supermercado de produtos acabados. Em seguida, um *kanban* de produção autoriza a produção para reposição dos produtos ou componentes puxados (ROTHER e SHOOK, 2008).

Na produção enxuta, o *kanban* é uma ferramenta específica para controlar as informações e regular a movimentação de materiais entre os processos de produção (o termo é japonês e significa “sinal” ou “quadro de sinais”). O *kanban*, combinado com o *takt time*, o fluxo contínuo, a produção puxada e a programação nivelada (abordada logo a seguir) é o que permite que a produção *Just in Time* seja alcançada em um fluxo de valor (SMALLEY, 2004).

Há dois tipos principais de *kanbans*: o de produção, também conhecido como *kanban* de fabricação, e o de retirada, também conhecido como *kanban* de movimentação. A característica que distingue o *kanban* de produção do *kanban* de retirada é que o primeiro é

um sinal para realizar algo, enquanto o último é um sinal de que algo precisa ser removido do estoque e transportado para um processo fluxo abaixo (QUEIROZ, 2006).

- 5) Qual será o único processo que precisará ser programado no fluxo de valor, ou seja, qual será o processo puxador?

O objetivo é programar um só ponto no fluxo de valor, desde a matéria-prima até o produto acabado. O processo puxador define o ritmo para os processos anteriores. No entanto, para que a programação em um só ponto seja possível, é necessário que as transferências de materiais após o processo puxador ocorram necessariamente em fluxo contínuo (QUEIROZ, 2006).

- 6) Como deverá ser nivelado o mix de produção no processo puxador?

A produção em grandes lotes minimiza o número de trocas ou *setups* dos processos. No entanto, na perspectiva do fluxo de valor, produzir em lotes aumenta o impacto de possíveis problemas de processos, além de aumentar o *lead time*. Isso significa que o supermercado de produtos acabados deverá estar sempre pronto para enfrentar os aumentos repentinos na demanda (ROTHER e SHOOK, 2008). Para Rother e Shook (2008), “estar pronto” significa manter mais produtos acabados em estoque, o que aumenta ainda mais o *lead time*, oculta os problemas de qualidade, e em geral, causam todos os desperdícios associados ao excesso de produção.

Nivelar o mix de produção uniformemente durante um turno garante tempo para reagir às puxadas dos clientes, além de reabastecer o que foi retirado, sem a necessidade de manter estoques elevados de produtos acabados (ROTHER e SHOOK, 2008). Resumindo, nivelar o mix de produção consiste em responder às diferentes solicitações dos clientes, com *lead time* curto e estoques de produtos acabados pequenos (QUEIROZ, 2006).

- 7) Qual é o incremento de trabalho deverá que deverá ser liberado uniformemente no processo puxador?

Segundo Queiroz (2006), nivelar o volume da produção consiste em liberar regularmente apenas uma pequena e consistente quantidade de trabalho no processo puxador e simultaneamente retirar a mesma quantidade de produtos acabados. Tal prática consiste na retirada compassada (ROTHER e SHOOK, 2008). A Figura 2.7 exemplifica uma retirada compassada.

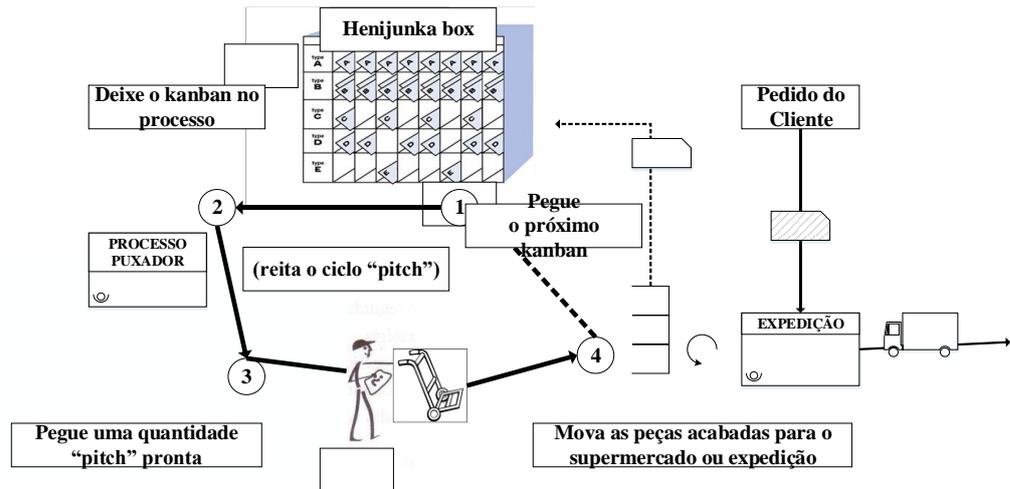


Figura 2.7 - Exemplo de retirada compassada

Fonte: Adaptado de Rother e Shook (2008)

Para Rother e Shook (2008), uma maneira de viabilizar a liberação de pequenas e uniformes quantidades de trabalho, consiste no quadro de nivelamento de carga (ou *heijunka box*). O *heijunka box* possui escaninhos para os *kanbans* de cada tipo de produto. Neste sistema, o *kanban* indica não somente a quantidade a ser produzida, mas, também o tempo que se leva para produzir tal quantidade, baseado no *takt time* (ROTHER e SHOOK, 2008).

O sistema representado na Figura 2.8 apresenta um tipo de produção puxada de reposição. Nesse caso, o cliente solicita determinado produto ao setor de planejamento e controle da produção (PCP), que repassa a informação via *kanban* de retirada para o setor de expedição. A expedição vai até o estoque de produtos acabados e retira o produto solicitado, que segue sendo transportado até o cliente.

Nesse momento, surge a figura importante do movimentador de materiais. Este será responsável pela movimentação dos produtos (em elaboração ou acabado) pelo fluxo de materiais e também pela movimentação dos *kanbans* pelo fluxo de informações.

Na medida em que um produto é retirado do estoque de produtos acabados para ser encaminhado ao cliente, os *kanbans* de produção relativos a esses produtos são colocados no *heijunka box* na sequência do mix desejado e por tipo de produto. O movimentador de materiais retira esses *kanbans* e os leva até o processo puxador, um de cada vez, no incremento “*pitch*” (ROTHER e SHOOK, 2008).

O “*pitch*” é um conceito do *lean*, que de acordo com Rother e Shook (2008), significa incremento consistente de trabalho. Seu cálculo baseia-se na multiplicação do *takt time* por uma quantidade de transferência de produtos acabados no processo puxador (SMALLEY,

2004). Esta medida consiste na unidade básica da programação para a família de produtos (ROTHER e SHOOK, 2008).

O processo puxador inicia a fabricação de acordo com a informação do *kanban* de produção recebido pelo movimentador de materiais. O movimentador de materiais pega uma quantidade de produto acabado e reabastece o supermercado de produtos acabados. Esse ciclo é repetido à cada *pitch*.

- 8) Quais melhorias do processo serão necessárias para fazer fluir o fluxo de valor conforme as especificações do projeto do estado futuro?

O objetivo é melhorar uma operação incremental e continuamente por meio da eliminação das perdas e da criação de valor ao mínimo de investimento, sendo este o momento para registrar as melhorias necessárias para o fluxo de valor funcionar como descrito no mapa do estado futuro (QUEIROZ, 2006).

Para Rother e Shook (2008), a implementação do estado futuro deverá ocorrer em etapas e o mapa do estado futuro deverá ser dividido em segmentos ou “*loops*” de fluxo de valor. Um *loop* puxador inclui os fluxos entre o cliente e o processo puxador. Os “*loops*” adicionais podem estar delimitados pelas puxadas pelo supermercado. A implementação ocorrerá seguindo os “*loops*” identificados no mapa do estado futuro e conforme um plano de implementação do fluxo de valor.

## 2.2. Modelagem e Simulação

Para Sargent (2011), os modelos de simulação são cada vez mais usados para solucionar problemas e auxiliar na tomada de decisões. Segundo Pan *et al.* (2015), desde a introdução da Simulação a Eventos Discretos, no final dos anos de 1950, a SED evoluiu para se tornar uma das técnicas de modelagem mais comumente utilizadas, envolvendo processos de manufatura, sistemas de transporte público e prestação de serviços.

De acordo com Bateman *et al.* (2013) a simulação é um processo de experimentação a partir de um modelo detalhado de um sistema real, para determinar como o sistema responderá a mudanças em sua estrutura, ambiente ou condições de contorno. Segundo Chwif e Medina (2014), os sistemas reais geralmente apresentam uma maior complexidade devido, principalmente, a sua natureza dinâmica (que muda seu estado ao longo do tempo) e a sua natureza aleatória (que é regida por variáveis aleatórias).

O modelo de simulação consegue capturar com mais fidelidade essas características, procurando repetir em um computador, o mesmo comportamento que o sistema apresentaria

quando submetido às mesmas condições da realidade. O modelo de simulação é utilizado, particularmente, como uma técnica para obter respostas a sentenças do tipo: “o que ocorreria se...” (CWIF e MEDINA, 2014).

Montevechi *et al.* (2010) propõem a SED dividida em etapas: concepção, no qual é desenvolvido o modelo conceitual; implementação, gerando o modelo computacional; e análise, no qual se obtém o modelo operacional. A Figura 2.8 consiste na sequência de passos para o desenvolvimento de uma SED.

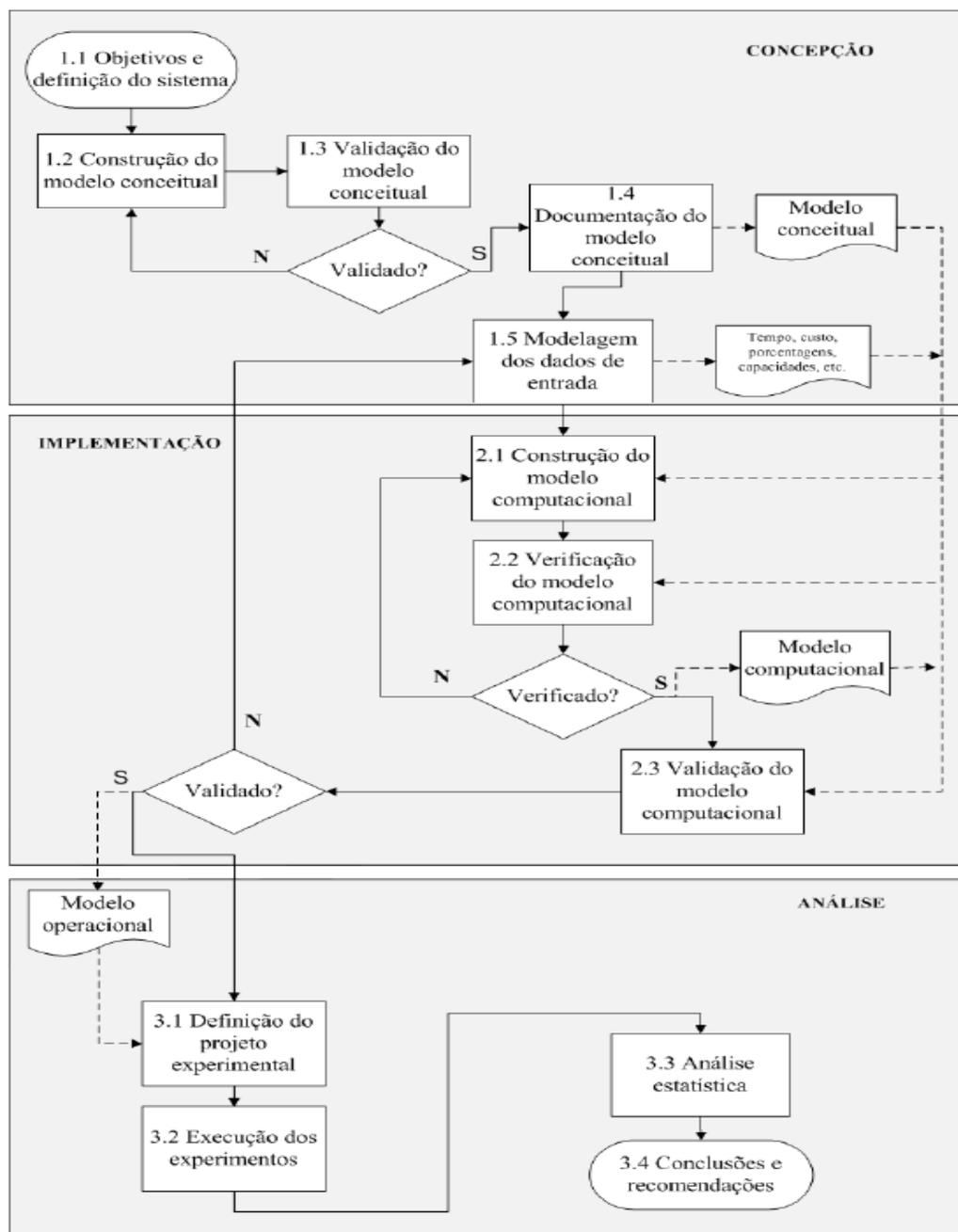


Figura 2.8- Sequência de passos para o desenvolvimento da SED

Fonte: Montevechi *et al.* (2010)

Na etapa da concepção, o modelo abstrato (aquele que está na mente do analista), deve ser representado de acordo com algumas técnicas de representação de modelos de simulação, a fim de torná-lo um modelo conceitual. Dessa forma, outras pessoas também poderão entender o modelo. Os dados de entrada do modelo também deverão ser coletados nesta fase (MONTEVECHI *et al.*, 2010).

Na segunda etapa, o modelo conceitual é convertido em modelo computacional, através da implantação no computador, com a utilização de uma linguagem de simulação ou um simulador comercial. Esse modelo computacional deverá ainda ser verificado contra o modelo conceitual, a fim de verificar se está sendo operado de acordo com os objetivos. Em seguida, o modelo deverá ser validado a partir dos dados gerados pelo modelo. Neste caso, observa-se se o modelo constitui uma representação adequada da realidade (MONTEVECHI *et al.*, 2010).

Finalmente, na terceira etapa, o modelo estará pronto para a realização dos experimentos, originando o modelo experimental, ou também chamado de modelo operacional (MONTEVECHI *et al.*, 2010).

### **2.2.1. Concepção**

Na fase da concepção, serão abordados aspectos quanto aos objetivos e definição do sistema, construção do modelo conceitual, validação do modelo conceitual, documentação do modelo conceitual e modelagem dos dados de entrada.

Todo projeto de simulação inicia-se com o desenvolvimento de sua concepção. É nesta etapa que ocorrem as descobertas, os objetivos são traçados e o problema deve ser discutido exaustivamente, para que todo o projeto esteja claro para o time, além das expectativas bem alinhadas entre as partes.

Segundo Bateman *et al.* (2013), obter uma definição concisa do problema a ser estudado pode ser mais difícil do que parece. Os objetivos de um estudo de simulação fluirão normalmente a partir da definição do problema, uma vez que o propósito de se executar mais adiante uma experimentação com o modelo será sempre resolver um problema.

O modelo mais eficiente é aquele que considera apenas as partes do sistema que necessitam ser estudadas, para que proporcionem respostas a um problema potencial ou existente (BATEMAN *et al.*, 2013).

A modelagem conceitual corresponde a uma fase da SED, como mostram Chwif e Medina (2014) e Law e Kelton (2000). Buscando um melhor aproveitamento do modelo conceitual, trabalhos como Leal (2008), Montevechi *et al.* (2010) e Salgado *et al.* (2014),

apresentam uma técnica de modelagem conceitual com foco na lógica da simulação, chamada de IDEF-SIM (*Integrated Definition Methods-Simulation*). O Anexo A dessa dissertação apresenta a simbologia utilizada no IDEF-SIM e o detalhamento da função de cada elemento utilizado nesse tipo de modelagem.

No entanto, outros autores como Chwif e Medina (2014); Loureiro (2009) propõe a modelagem conceitual com foco nas interações dos objetos. Nesse aspecto, pode-se destacar a modelagem ACD (*Activity Cycle Diagram*), ou na transição do estado dos objetos através do IDEF3 foco objeto (MAYER, 1995).

Em seguida, o modelo conceitual desenvolvido precisa ser validado. Para Sargent (2011) a validação do modelo conceitual consiste na determinação de que as teorias e hipóteses subjacentes ao modelo estão corretas, além de determinar se as entidades problemas que foram representadas no modelo, a lógica e a estrutura do modelo, e as relações matemáticas e causais são razoáveis para a finalidade do modelo.

Ainda segundo o autor, as técnicas de validação face a face e o rastreamento podem ser aplicados ao modelo conceitual. Caso sejam encontrados erros no modelo conceitual, este deverá ser revisto e a validação realizada novamente (SARGENT, 2011).

Na criação do modelo conceitual, são utilizadas medidas que potencializam o registro e a comunicação dos dados abstraídos pelo analista, possibilitando a descrição detalhada do funcionamento do sistema e favorecendo a criação do modelo conceitual.

O modelo conceitual deve ser documentado, para que sirva de base na construção do modelo computacional. Além disso, como ele é um “retrato” do processo, quaisquer alterações no modelo real que o torne divergente do modelo conceitual, devem ser atualizadas na documentação, para que isto fique registrado e a informação chegue confiável ao modelo computacional (MONTEVECHI *et al.*, 2010).

A documentação do modelo conceitual pode ser entendida como o modelo constituído a partir de alguma técnica de modelagem, as filmagens para coleta dos dados de entrada e planilhas de coleta de dados.

Para finalizar a etapa de concepção, são necessárias a modelagem e a validação dos dados de entrada. Para Leal (2008), a ideia nesta etapa consiste em modelar os dados de entrada para se obter modelos probabilísticos, que permitam inferir as propriedades de um dado fenômeno aleatório.

Segundo Sargent (2011), a coleta dos dados de entrada do modelo é geralmente difícil, demorada, além de demandar custos na obtenção de dados apropriados, precisos e suficientes.

Muitas vezes, os dados coletados consistem na razão pelas quais tentativas para validar um modelo podem falhar.

Para Bateman *et al.* (2013), a ênfase inicial deverá ser dada na coleta de fatos fundamentais que se referem a dados macros. Os dados macros lançam as bases para a determinação dos parâmetros de entrada do modelo e selecionam com acurácia aqueles que vão necessitar de uma coleta de dados micro mais detalhada.

Para Sargent (2011); Chwif e Medina (2014), os dados de entrada possuem três finalidades: construção do modelo conceitual, validação do modelo computacional, e realização de experimentos com o modelo válido. Os autores ainda afirmam que os estudos dos dados se resumem em três partes: coleta, tratamento e inferência aos dados.

Para a coleta dos dados de entrada, pode ser utilizada a observação direta sobre o sistema avaliado, entrevistas com os participantes do processo, uso de cronômetros, gravadores, filmagens, entre outros recursos. Os dados gerados podem ser dispostos em planilhas de Excel®, de forma a facilitar a execução das próximas etapas, como tratamento e inferência aos dados.

Após os dados coletados, estes devem ser tratados. Para Sargent (2011), deve existir uma preocupação para que os dados coletados sejam apropriados, precisos, suficientes e disponíveis para serem avaliados, transformados e testados quanto a sua acurácia.

O tratamento consiste em utilizar técnicas para descrever os dados levantados, identificar as possíveis falhas nos valores amostrados e aumentar o conhecimento acerca do fenômeno. Nesta fase, torna-se comum o uso de pacotes comerciais (LEAL, 2008).

Em seguida à coleta e tratamento dos dados, infere-se qual o comportamento da população a partir de uma amostra. Como resultado, tem-se um modelo probabilístico que representará o fenômeno aleatório em estudo. Este será então incorporado ao modelo de simulação (LEAL, 2008).

Resumidamente, o que se pretende com inferência aos dados, é traduzir os dados em uma distribuição de probabilidade. No entanto, mais importante que encontrar a melhor distribuição de probabilidade para os dados, é coletar os dados corretos.

Triola (1999) define distribuição de probabilidade como um modelo matemático que relaciona certo valor da variável em estudo, com a sua probabilidade de ocorrência. As distribuições de probabilidade podem assumir formas contínuas ou discretas. As distribuições contínuas ocorrem quando a variável que está sendo medida é expressa em uma escala contínua. Já as distribuições discretas ocorrem quando a variável que está sendo medida só pode assumir valores inteiros.

Sendo os dados coletados e expressos em sua forma contínua, as distribuições utilizadas deverão ocorrer também em sua forma contínua. Triola (1999) apresenta uma série de distribuição de probabilidade para esses casos, como a Normal, Uniforme, Weibull, Exponencial, Binomial, entre outras. Alguns *softwares* como o Minitab ® e o Stat Fit ® podem ser utilizados para a determinação da distribuição de probabilidade correspondente ao conjunto de dados coletados.

### 2.2.2. Implementação

Na sequência proposta por Montevechi *et al.* (2010), a implementação corresponde à criação do modelo computacional, que poderá ser através de uma linguagem de programação, uma linguagem de simulação ou um simulador (CHWIF e MEDINA, 2014).

Para Loureiro (2009), existe uma gama de *softwares* disponíveis para simulação. Dessa forma, é necessária uma pesquisa sobre as plataformas para adequação ao modelo pretendido. A revista eletrônica OR/MS Today (2015) apresenta uma *survey* com os principais *softwares* de simulação, relacionando vendedores, principais usos, custos, principais clientes, entre outros.

De acordo com a fonte (<http://www.ormstoday.org/surveys/Simulation/html>), existem cinquenta e quatro tipos de softwares de simulação. Os *softwares* mais utilizados na literatura são: Arena ®, Anylogic ®, Promodel ®, FlexSim ®, SIMPROCESS ® e o SIMUL8 ®.

O trabalho de Thiede *et al.* (2013) apresenta um exemplo de identificação de *software* de simulação que mais se adequou à suas necessidades de simulação. Os autores simularam um sistema no qual os aspectos ambientais foram monitorados a partir do consumo de três formas de energia. Os autores apresentam uma *Survey* com treze *softwares* de simulação mais comumente utilizados. Após a geração e análise dos resultados, o sistema foi possível ser simulado com mais eficácia.

As próximas etapas da fase de implementação consistem na verificação e validação do modelo. Para Robinson e Brooks (2010), a verificação e validação do modelo são responsabilidades dos desenvolvedores do modelo. Para os autores, o principal objetivo da verificação e validação consiste em determinar se o modelo computacional é apropriado para a sua utilização específica.

Para Leal *et al.* (2011), as atividades de verificação e validação ocorrem antes da fase experimental. Essas atividades asseguram que o modelo realmente representa o sistema real, dentro dos limites nos quais foram definidos. Para os autores, embora a verificação e validação sejam definidas em pontos específicos, de acordo com o passo a passo estabelecido

pelos autores Montevechi *et al.* (2010), essas ações deverão ocorrer em todo o projeto de simulação.

O modelo computacional precisa ser verificado, conforme Bateman *et al.* (2013); Sargent (2011); Montevechi *et al.* (2010); Robinson e Brooks (2010); Leal *et al.* (2011), de forma a verificar se a implementação do modelo conceitual está correta. Robinson e Brooks (2010) afirmam que a verificação é um processo que garante que o desenho do modelo foi transformado com precisão em um modelo computacional.

Bateman *et al.* (2013) afirmam que a verificação do modelo computacional consiste no processo para assegurar que o modelo é capaz de refletir a operação do sistema real em estudo, de tal forma que dê encaminhamento ao problema definido. Autores como Chwif e Medina (2014); Banks *et al.* (2010); Bateman *et al.* (2013), apresentam algumas técnicas de verificação do modelo. Essas técnicas são descritas a seguir:

- Implementação modular/verificação modular: consiste na construção do modelo em partes permitindo a verificação focada em cada parte do modelo construída, facilitando a identificação de erros e uma ação corretiva mais clara do modelador.
- Uso de valores constantes ou simplificados versus cálculos nominais: utiliza de valores médios de cada distribuição e considera estes valores como constantes e determinísticos, possibilitando a comparação dos resultados do modelo com resultados de uma planilha eletrônica.
- Utilização de *debugger* ou depurador: a presença de um depurador em *softwares* de simulação facilita o uso da técnica.
- Animação gráfica: considerada uma poderosa ferramenta de verificação, pois permite ao modelador acompanhar o processo na tela do computador.

Para Bateman *et al.* (2013), a validação é processo de assegurar que o modelo reflete a operação do sistema real em estudo, de tal forma que dê encaminhamento ao problema definido. Robinson e Brooks (2010) afirmam que a validação é o processo de garantir que o modelo é suficientemente preciso para o propósito.

De acordo com Banks *et al.* (2010), a validação pode ser realizada através de alguns testes, que podem ser subjetivos ou objetivos. Para os autores, testes subjetivos envolvem pessoas com profundo conhecimento dos aspectos do sistema avaliado, que fazem julgamentos a respeito do comportamento e das saídas do modelo.

Já os testes objetivos exigem dados do sistema real e dados originados do modelo, para que testes estatísticos de comparação entre os dois resultados possam ser realizados

(BANKS *et al.*, 2010). Autores como Abdulmalek e Rajgopal (2006), por exemplo, realizaram a validação do modelo computacional através de um teste estatístico, baseado na construção de intervalos de confiança. Sargent (2011) descreve algumas técnicas de validação do modelo computacional. Essas técnicas são apresentadas a seguir:

- Animação: o comportamento operacional do modelo é apresentado graficamente como um modelo que se move ao longo do tempo.
- Testes degenerativos: a degenerescência do comportamento é testada através da seleção adequada dos valores de entrada e dos parâmetros internos.
- Validade do evento: os eventos de ocorrência do modelo de simulação são comparados com os eventos do sistema real, para determinar se eles são semelhantes.
- Teste de condição extrema: a estrutura do modelo e as saídas devem ser plausíveis para qualquer extremo e combinações improváveis dos níveis dos fatores do sistema.
- Validação face a face: indivíduos com conhecimento sobre o sistema são questionados se o modelo e/ou seu comportamento são razoáveis.
- Validação de dados históricos: os dados coletados do sistema em análise são utilizados de duas formas. Uma parte desses dados serve para construir e testar o modelo. Já os dados restantes são utilizados para determinar se o modelo se comporta conforme o sistema real, por meio de testes estatísticos.
- Métodos históricos: os três métodos históricos para validação são: racionalismo, empirismo e economia positiva. Racionalismo requer que os pressupostos adjacentes a um modelo sejam claramente referidos e prontamente aceitos. Deduções lógicas são usadas a partir dessas premissas para desenvolver um modelo correto (válido). Empirismo requer que toda suposição e resultado sejam empiricamente validados. A economia positiva requer somente que os resultados do modelo estejam corretos e não está preocupada com os pressupostos ou a estrutura do modelo (relações causais e mecanismos).
- Validade interna: Várias replicações do modelo estocástico são realizadas, para determinar a quantidade de variabilidade estocástica do modelo. Uma grande variabilidade pode gerar resultados do modelo questionáveis. Se for problema de entidade, o modelo computacional poderá ser questionado.

- Gráficos operacionais: Os resultados das medidas de desempenho são mostrados graficamente na medida em que o modelo corre ao longo do tempo, ou seja, o comportamento dinâmico dos indicadores de desempenho é visualizado ao longo da execução do modelo ao longo do tempo, para garantir que eles se comportem corretamente.
- Variabilidade do parâmetro – Análise sensitiva: esta técnica consiste em mudar os valores das entradas e dos parâmetros internos do modelo, para determinar o efeito sobre o comportamento do modelo, ou a saídas destes. As mesmas relações que ocorrem no sistema real podem ocorrer no modelo. Esta técnica pode ser usada qualitativamente e quantitativamente.
- Validação preditiva: o modelo é usado para prever (previsão) o comportamento do sistema e em seguida, comparações são feitas entre o comportamento do sistema real e a previsão do modelo, para determinar se são equivalentes. Os dados do sistema podem originar do sistema operacional ou obtido através de experimentos simulados.
- Rastreamento: o comportamento dos diferentes tipos de entidades específicas do modelo é rastreado através do modelo, para determinar se a lógica do modelo está correta, e se necessariamente a precisão está correta.
- Teste Turing: indivíduos que possuem bastante conhecimento sobre as operações do sistema que está sendo modelado são questionados se podem reconhecer se os dados apresentados tratam-se do modelo computacional ou do sistema real.

No entanto, autores como Leal *et al.* (2011) apresentam um passo a passo para validação de modelos computacionais. A Figura 2.9 resume o esquema proposto pelos autores.



Figura 2.9 – Passo a passo para validação de modelos computacionais.

Fonte: Adaptado de Leal *et al.* (2011)

De acordo com o esquema apresentado na Figura 2.9, o modelo computacional deverá ser validado a partir da comparação estatística dos resultados da simulação com os dados reais do sistema.

Os dados do sistema real corresponderão a um conjunto de dados denominado de “sistema real”. O resultado da simulação, geralmente uma variável de resposta do modelo, a partir das réplicas do modelo computacional irá gerar um conjunto de dados denominado de “modelo”.

A primeira análise consiste em verificar se os dois conjuntos de dados “sistema real” e “modelo” são representados por distribuições contínuas. Em caso de negativo, uma função de transformação deverá ser aplicada para a transformação do(s) conjunto(s) de dados.

Em seguida, um teste de normalidade deverá ser aplicado nos dois conjuntos de dados (sistema real e modelo). Caso os dois conjuntos de dados possam ser representados pela distribuição de probabilidade Normal, o teste de variância deverá ser realizado. Caso contrário, testes não-paramétricos deverão ser aplicados.

O Teste F irá testar a igualdade de variância entre os dois conjuntos de dados. Em seguida, o Teste T, que irá verificar se a média entre os dois conjuntos de dados são iguais, deverá ser aplicado. Caso o Teste F tenha obtido como resposta que os dois conjuntos de dados não possuem variância iguais, esse resultado deverá ser considerado no Teste T, de forma que o método Smith-Satterthwaite seja realizado.

Finalmente, Robinson e Brooks (2010) defendem a ideia de avaliação do modelo computacional. Segundo autores, consiste no processo pelo qual partes interessadas do modelo (que não estavam envolvidos na origem do modelo, desenvolvimento ou implementação) podem determinar com certo nível de confiança, se os resultados do modelo podem ser usados para a tomada de decisões.

Ainda segundo os autores, a avaliação do modelo é necessária em três circunstâncias: primeiramente, quando os tomadores de decisão não têm conhecimentos necessários e habilidades para avaliar o modelo. Em segundo lugar, quando os tomadores de decisão estão longe do processo de desenvolvimento do modelo. Em terceiro lugar, quando o modelo pode ser aplicado a um conjunto de circunstâncias diferentes da finalidade inicial.

### **2.2.3. Análise**

A última fase da simulação compreende a fase analítica. Para Chwif e Medina (2014), após a verificação e validação do modelo computacional, o modelo torna-se operacional, estando pronto para ser utilizado. Segundo Pirard *et al.* (2011), a fase de análise é a mais esperada pelo time do projeto, pois permite avaliar as diversas medidas de desempenho. Para Leal (2008) uma possível forma de se explorar o modelo é a partir de um projeto experimental.

De acordo com Kleijnen *et al.* (2005) inferências sobre o sistema avaliado podem ser obtidas a partir da condução de experimentos no modelo computacional, na fase de análise. Para Bateman *et al.* (2013), é necessário que o modelador tenha pelo menos algumas ideias preliminares acerca das alternativas de soluções a serem avaliadas. Para esses, o projeto experimental é o desenvolvimento de procedimentos e testes para analisar e comparar alternativas, cujo propósito é maximizar a utilidade da informação produzida pelas rodadas da simulação, enquanto minimiza esforços.

A literatura apresenta alguns casos de aplicação de DOE em conjunto com a SED. Abdulmalek e Rajgopal (2006) utilizaram o DOE para medir e analisar os efeitos de três fatores (sistema de produção, TPM e *setup*) sobre o *lead time* e a quantidade de estoque de

produto em elaboração. Tais análises foram aplicadas em um processo contínuo de fabricação de aço.

Os experimentos foram replicados cinco vezes e foi utilizado um modelo de simulação para gerar os resultados. A análise da variância (ANOVA) foi utilizada para estudar os resultados e determinar a significância e a magnitude dos efeitos e suas interações. Nesse caso, o DOE auxiliou na escolha dos fatores a serem implementados no estado futuro.

Já em Pan *et al.* (2015), os autores utilizaram a SED e o DOE em conjunto para avaliar as propostas de melhorias no fluxo de pacientes em uma clínica especializada em visão em Singapura. Os autores consideraram quatro fatores (distribuição dos blocos de agendamento, agendamento de novas consultas e retornos para pacientes, separação entre pacientes para agendamento e de retorno e exame livre de dilatação).

Já as variáveis de resposta foram o tempo médio da primeira consulta e o tempo médio da consulta de retorno. Cada fator assumiu dois níveis e os experimentos foram replicados vinte vezes. Para cada ensaio foram considerados 263 pacientes (um dia normal de consulta). Os resultados foram avaliados pela análise ANOVA.

Para Montevechi *et al.* (2007), os benefícios da aplicação do DOE em um projeto SED, incluem: a possibilidade de melhorar o desempenho no processo de simulação evitando tentativa e erro na busca por soluções, a possibilidade de replicar os experimentos muitas vezes e a obtenção de muitas estimativas sobre o principal efeitos e interação dos fatores.

Ainda segundo Montevechi *et al.* (2007), as réplicas podem favorecer a conclusão quanto à significância ou não dos efeitos. Frequentemente experimentos físicos são realizados com nenhum ou pequenos números de réplicas, devido à dificuldade dos custos envolvidos. Estas limitações não ocorrem em modelos computacionais construídos e válidos. Para Leal (2008), na simulação, tal processo é chamado de *what if*, ou “o que aconteceria se”. Ainda segundo o autor, os fatores são selecionados por intuição, conhecimento prévio do sistema ou a gosto próprio.

Segundo Leal (2008) as entradas da simulação são processos aleatórios, e em cada replicação ou experimento realizado, tem-se saídas com valores aleatórios. Sendo assim, é necessário executar certo número de replicações para finalmente basear as recomendações no sistema avaliado.

Replicação do modelo, segundo Chwif e Medina (2014) consiste numa repetição da simulação do modelo com os mesmos parâmetros de entrada, no entanto, com a semente de geração dos números aleatórios diferentes. O termo replicação pode ainda ser confundido com

o termo rodada. Para os mesmos autores, cada rodada do modelo pode ser compreendida como um novo experimento, na qual cada uma dessas rodadas poderá ter várias replicações.

De acordo com Leal (2008) é decisão do modelador quanto ao número de replicações a serem executadas no modelo. O que realmente importa, segundo Chwif e Medina (2014), é que os resultados levem em consideração a confiança estatística e a precisão. Para esses autores, a confiança refere-se a um intervalo de valores que contém a média da população, com certa probabilidade. Já a precisão, refere-se ao tamanho do intervalo.

Outro aspecto importante na execução dos experimentos é quanto à aleatorização. Para Montgmorey (2012), tanto a ordem de realização dos experimentos, quanto a designação do material para os experimentos deverão ser aleatórios em experimentos de laboratório. No entanto, a aleatoriedade em experimentos simulados pode ser dispensada, visto que cada rodada da simulação utiliza um gerador de número pseudoaleatórios.

Os parâmetros de entrada e as considerações estruturais que compõem o modelo são chamados de fatores (LEAL, 2008). Kleijnen *et al.* (2005) afirmam que um fator corresponde a uma variável de entrada do modelo de simulação. Esses fatores podem ser quantitativos (assumem valores numéricos) ou qualitativos (considerações estruturais não quantificadas). Cada fator assumirá valores de acordo com seus níveis (LEAL, 2008).

As respostas dos experimentos são expressas na variável de resposta. Para Law e Kelton (2000), trata-se da medida de desempenho ou saída do modelo de simulação. Elas descrevem como o sistema responde para uma determinada configuração de fatores (LEAL, 2008).

Segundo Leal (2008), nos *softwares* de simulação, os valores da variável de resposta podem ser armazenados e exibidos durante a simulação através de relatórios próprios dos pacotes ou exibidos ao longo da simulação. Estes valores podem ser exportados para planilhas de Excel® ou outros *softwares* de estatística.

Após a obtenção dos resultados dos experimentos, estes deverão ser analisados quanto ao efeito e interação (LEAL, 2008). O efeito de um fator é definido como a mudança gerada na variável resposta a partir da alteração do nível do fator (MONTGOMERY, 2012). Já a interação ocorre quando a diferença na resposta entre os níveis de um fator não é a mesma em todos os níveis dos outros fatores (MONTGOMERY, 2012). Ao final de todas as etapas, tem-se uma poderosa técnica de auxílio à tomada de decisões à cerca do sistema avaliado.

## 2.3. Mapeamento do Fluxo de Valor e Simulação a Eventos Discretos

A literatura utilizada nessa dissertação originou-se de pesquisas nas bases de dados da Capes e da Scopus. Foi realizada uma pesquisa avançada por assunto sem limite de tempo. As palavras-chaves utilizadas foram *Discrete-event simulated* e *Value Stream Mapping*. As buscas retornaram 38 artigos. Esses artigos são apresentados na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Artigos encontrados na literatura sobre MFV e SED

<b>Artigo</b>	<b>Ano</b>	<b>Artigo</b>	<b>Ano</b>
Ali <i>et al.</i> (2015)	2015	Pepe <i>et al.</i> (2011)	2011
Kuan <i>et al.</i> (2015)	2015	Coppini <i>et al.</i> (2011)	2011
Helleno <i>et al.</i> (2015)	2015	Shararah <i>et al.</i> (2011)	2011
Zuting <i>et al.</i> (2014)	2014	Gurumurthy e Kodali (2011)	2011
Dotolia <i>et al.</i> (2014)	2014	Aomar (2010)	2010
Tanco <i>et al.</i> (2013)	2013	Paju <i>et al.</i> (2010)	2010
Xia e Sun (2013)	2013	Bhagat <i>et al.</i> (2010)	2010
Rohana <i>et al.</i> (2013)	2013	Yang <i>et al.</i> (2010)	2010
Mahfouz e Arisha (2013)	2013	Ramakrishnan <i>et al.</i> (2009)	2009
Vinodh <i>et al.</i> (2013)	2013	Agyapong-Kodua e Ajaefobil (2009)	2009
Jensen (2013)	2013	Soldin e Gullander (2009)	2009
Shararah (2013)	2013	Ince (2008)	2008
Robinson <i>et al.</i> (2012)	2012	Bevilacqua <i>et al.</i> (2008)	2008
Yang <i>et al.</i> (2012)	2012	Gopakumar (2008)	2008
Yikun e Qingjin (2012)	2012	Lian e Ladeghenen (2007)	2007
Al-Khafaji e Al-Rufaifi (2012)	2012	Gahagan (2007)	2007
Hamad (2012)	2012	Abdulmalek e Rajgopal (2006)	2006
Lu <i>et al.</i> (2011)	2011	McDonald <i>et al.</i> (2002)	2002
Esfandyari <i>et al.</i> (2011)	2011	O’Kane <i>et al.</i> (2000)	2000

Os artigos estão listados na Tabela 2.1 esteão dispostos em ordem decrescente quanto ao ano de publicação. A Figura 2.10 estratifica o ano de publicação dos artigos apresentados na Tabela 2.1.

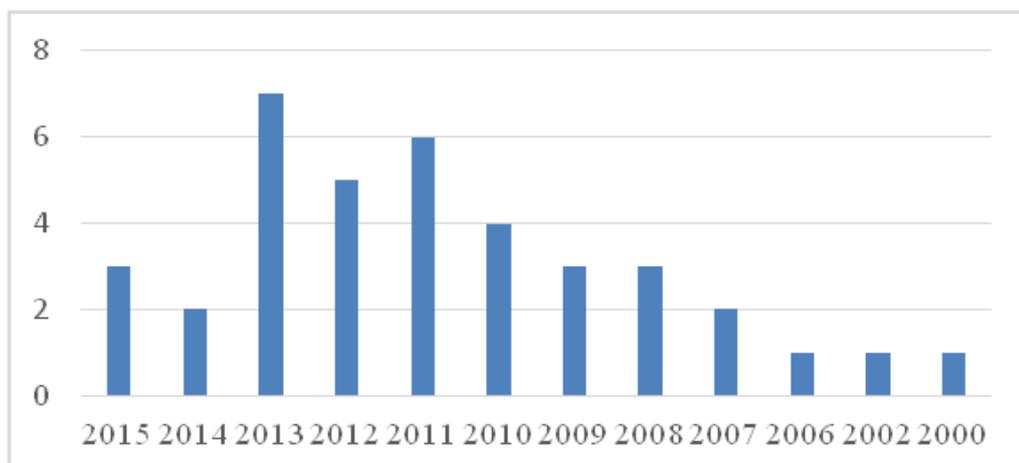


Figura 2.10 - Estrato por ano de publicação dos artigos sobre MFV e SED

Na Figura 2.10 o eixo das abcissas representa os anos das publicações e o eixo das ordenadas representa o número de publicações em cada ano. Na base de dados da Capes, pode-se afirmar que o início das pesquisas sobre o “tema integração entre o Mapeamento do Fluxo de Valor e a Simulação a Eventos Discretos” refere-se ao ano de 2000, com pico de publicações no ano de 2013.

Dos trinta e oito artigos encontrados, apenas os trabalhos de origem de periódicos foram considerados. Nesse caso, foram selecionados quinze artigos para a elaboração dessa dissertação. A Tabela 2.2 apresenta os trabalhos utilizados para avaliação.

Tabela 2.2 – Artigos selecionados para avaliação da integração entre SED e MFV

<b>Artigos selecionados para avaliação</b>	
Ali <i>et al.</i> (2015)	Robinson <i>et al.</i> (2012)
Kuan <i>et al.</i> (2015)	Yang <i>et al.</i> (2012)
Helleno <i>et al.</i> (2015)	Lu <i>et al.</i> (2011)
Zuting <i>et al.</i> (2014)	Aomar (2010)
Dotolia <i>et al.</i> (2014)	Lian e Ladeghenen (2007)
Tanco <i>et al.</i> (2013)	Abdulmalek e Rajgopal (2006)
Xia e Sun (2013)	McDonald <i>et al.</i> (2002)
	O’Kane <i>et al.</i> (2000)

Para os autores Robinson *et al.* (2012), o MFV e a SED são técnicas que possuem motivações similares, ou seja, promover a melhoria dos processos e de prestação de serviços. Os autores Ali *et al.* (2015), citam algumas razões para o uso combinado entre o MFV e a SED.

- A SED ajuda a raciocinar sobre como alterar o processo no estado futuro e apoia a construção do consenso a partir das visualizações dinâmicas do processo.

- O MFV por si só é demorado. Nesse caso, a SED auxilia na análise do MFV do estado atual e na geração do MFV do estado futuro. Além disso, a SED ajuda a verificar o impacto de mudanças e a responder a perguntas que não podem ser respondidas por MFV.
- O MFV fornece um retrato instantâneo do processo, sendo incapaz de detalhar seu comportamento dinâmico. A SED pode ajudar a prever o fluxo e os níveis e fornecer medidas quantitativas mais precisas, dada a sua capacidade de lidar com dados tanto determinísticos quanto estocásticos.
- O MFV por si só não pode capturar a complexidade dos processos.

No sentido da complementariedade entre o MFV e a SED, a Tabela 2.3 elaborada pelos autores Robinson *et al.* (2012) mostra como os desperdícios apresentados por Ohno podem ser interpretados em um modelo computacional.

Tabela 2.3 - Desperdícios do *lean* expressos em simulação

<b>Desperdícios originais segundo Ohno (1997)</b>	<b>Correlação com a SED</b>
Transporte: movimentação de produtos que não são requeridos no processo.	Modelagem do fluxo e do tempo de transporte.
Estoques: matéria prima, produto em elaboração e produtos acabados.	Modelagem de filas.
Movimentação: movimentação de pessoas, equipamentos.	Modelagem da interligação entre os recursos (pessoas e equipamentos) e processos.
Esperas: esperas pelo próximo passo do processo.	Modelagem de filas.
Superprodução: produção acima da demanda	Modelagem da conexão entre a variabilidade da demanda e a variabilidade da produção.
Processos inadequados: resultantes de uma má ferramenta ou atividades de criação de design de produto.	Modelagem do fluxo do processo e utilização dos recursos no processo.
Defeitos: esforço envolvido para inspeção e correção dos defeitos.	Modelagem da variabilidade da incidência de defeitos e de seu impacto no fluxo de produção.

Fonte: Adaptado de Robinson *et al.* (2012)

A partir de um estudo mais detalhado dos artigos selecionados para análise da integração entre o MFV e a SED, foi possível identificar cinco diferentes estratégias de integração entre o MFV e a SED. A Tabela 2.4 elaborada pelos autores Ali *et al.* (2015) resume essas estratégias identificadas.

Tabela 2.4 - Panorama geral sobre pesquisa envolvendo MFV e SED

Número	Estratégia	Objetivo	Referências
1	Desenvolver modelos de simulação tanto para o MFV do estado atual quanto para o do futuro	Comparar os MFVs atual e futuro para demonstrar os benefícios alcançados com a melhoria dos processos	Lu <i>et al.</i> (2011), Ince (2008), Abdulmalek e Rajgopal (2006), Gurumurthy e Kodali (2011), Rohana <i>et al.</i> (2013), Xia e Sun (2010), Yikun e Qingjin (2012), Mahfouz e Arisha (2013)
2	Desenvolver um modelo de simulação somente para o estado futuro	Para avaliar a eficácia das propostas de melhorias previstas e avaliar a probabilidade de alcançar esses benefícios no sistema real	Al-Khafaji e Al-Rufaifi (2012), Dotoli <i>et al.</i> (2014), Ramakrishnan <i>et al.</i> (2009), Esfandyari <i>et al.</i> (2011), Yang <i>et al.</i> (2010), Pepe <i>et al.</i> (2011), Vinodh <i>et al.</i> (2013), Hamad (2012), Jensen (2013), Bevilacqua <i>et al.</i> (2008), Gopakumar (2008)
3	Desenvolver um modelo de simulação somente para o estado atual	Para identificar ou verificar os gargalos do estado atual	Agyapong-Kodua e Ajaefobi (2009)
4	Desenvolver um modelo de simulação para gerar um MFV do estado futuro	Para avaliar várias alternativas para o MFV do estado futuro	Agyapong-Kodua e Ajaefobi (2009), McDonald <i>et al.</i> (2002), Paju <i>et al.</i> (2010), Bhagat <i>et al.</i> (2010), Coppini <i>et al.</i> (2011)
5	Usar o MFV como estratégia para o modelo de simulação	Para encontrar os valores ideais para os parâmetros de processo.	Shararah (2013), Gahagan (2007), Soldin e Gullander (2009), Shararah <i>et al.</i> (2011), Lian e Landeghem (2007)

Fonte: Ali *et al.* (2015)

A Tabela 2.4 apresenta no cenário 1 um total de oito trabalhos que desenvolveram um modelo de simulação tanto para o MFV do estado atual quanto para o MFV do estado futuro. No cenário 2, dez artigos desenvolveram um modelo de simulação apenas para o MFV do estado futuro. No cenário 3, um trabalho desenvolveu um modelo de simulação somente para o MFV do estado atual. No cenário 4, cinco artigos desenvolveram um modelo de simulação para gerar o MFV do estado futuro. No cenário 5, cinco artigos utilizaram o MFV como apoio em um modelo de simulação.

Quanto à necessidade de construção de um modelo computacional que represente o estado atual, os autores McDonald *et al.* (2002) afirmam que o objetivo do MFV é sempre o estado futuro, não havendo necessidade de simular o estado atual. Contrariando essa ideia, Lian e Ladeghenen (2007) afirmam que a simulação do estado atual é necessária para validar o modelo e garantir que os modelos gerados no estado futuro representem o sistema real a ser estudado.

Nesse mesmo contexto, Santos *et al.* (2014) afirmam que o estado atual simulado auxilia na visualização de desperdícios que não foram possíveis de identificar no MFV atual (como, por exemplo, o desperdício referente à movimentação dos operadores), promove o monitoramento dos parâmetros do processo, mapea o fluxo dos funcionários que não foram tratados no MFV atual e monitora os desperdícios identificados no MFV do estado atual.

No entanto, Ali *et al.* (2015) afirmam que se os dados para simular com precisão todo o mapa do fluxo do estado atual estiverem disponíveis, uma comparação analítica pode ser executada para verificar a existência de gargalos. Porém, caso contrário, o desenvolvimento de um modelo de simulação apenas para essa função torna-se desnecessário.

A capacidade de modelar computacionalmente a variabilidade tanto da demanda, quanto dos processos constitui um grande auxílio para o *lean* (ROBINSON *et al.*, 2012). Uma vez que as dinâmicas dos processos reais são regidas por eventos discretos, a SED pode ser utilizada. No entanto, há desvantagem da simulação em oposição a uma abordagem analítica comum: trata-se dos custos para elaboração de um modelo computacional, além da dificuldade computacional (XIA e SUN, 2013).

De acordo com O’Kane *et al.* (2000), os principais benefícios da aplicação da SED em ambientes manufatureiros, orientado pelo MFV, são: auxiliar no planejamento de *layouts*, planejar fábricas, ajudar nas decisões sobre a capacidade necessária na planta, definir o tamanho dos estoques intermediários, analisar os efeitos no tempo de passagem com as mudanças na planta, guiar o desenvolvimento de processos e, avaliar o impacto das estratégias de manufatura.

De acordo com Xia e Sun (2013) o Mapa do Fluxo de Valor do estado atual não é capaz de expressar a complexidade do sistema real. A simulação do estado atual atende completamente o processo de fabricação, ao incorporar características distintas, tais como tempos de ciclo diferentes por produtos da mesma família, tempos de *setups* distintos por modelo, variabilidade do tempo de processamento de cada modelo e variabilidade de taxas de chegadas. Além desses, os padrões de turnos também não são contabilizados.

Ali *et al.* (2015) afirmam que um dos problemas do MFV é que este capta apenas uma notação instantânea do sistema e não captura os aspectos dinâmicos do processo, levando a uma análise simplista para identificar os gargalos. Além disso, as ações de melhorias e o mapa do fluxo de valor são baseados em situações idealistas, o que reduz o realismo do mapa do fluxo de valor do estado futuro. Como este é baseado em condições ideais, os problemas identificados estão completamente resolvidos, o que na prática, isso não é real.

Os quinze artigos selecionados para a análise da integração entre o MFV e a SED apresentados na Tabela 2.2 foram analisados quanto às cinco estratégias de integração apresentadas na Tabela 2.4. O resultado dessa análise pode ser observado através da Tabela 2.5.

Tabela 2.5 - Metodologia de integração SED e MFV

Artigos/Etapas desenvolvidas	MFV do estado atual	Simulação do estado atual	Oito questões-chave para o estado futuro	Outras técnicas para estado o futuro	MFV do estado futuro	Simulação do estado futuro	DOE	Otimização
Ali <i>et al.</i> (2015)								
Kuan <i>et al.</i> (2015)	x	x		x		x		x
Helleno <i>et al.</i> (2015)	x	x		x		x		
Zuting <i>et al.</i> (2014)	x	x		x		x		
Dotolia <i>et al.</i> (2014)	x	x		x	x	x		
Tanco <i>et al.</i> (2013)	x	x		x	x	x	x	
Xia e Sun (2013)	x	x		x	x	x		
Robinson <i>et al.</i> (2012)		x		x				
Yang <i>et al.</i> (2012)	x	x		x	x	x	x	
Lu <i>et al.</i> (2011)	x	x			x	x		
Aomar (2010)	x	x		x	x	x		x
Lian e Ladeghenen (2007)	x	x		x	x	x		x
Abdulmalek e Rajgopal (2006)	x	x	x		x	x	x	
McDonald <i>et al.</i> (2002)	x		x		x	x		
O’Kane <i>et al.</i> (2000)	x	x		x	x	x		

Os trabalhos estão dispostos em ordem decrescente de publicação. O trabalho de Ali *et al.* (2015) não apresenta os mapas dos fluxos de valor dos estados atual e futuro, nem o modelo computacional desses estados. A maior contribuição dos autores consiste na análise da literatura disponível sobre as duas técnicas.

O trabalho de Robinson *et al.* (2012) também não apresentou os mapas dos estados atual e futuro. A preocupação dos autores foi demonstrar como a simulação pode auxiliar a transformação *lean* em um hospital.

Os demais artigos tratam de uma Pesquisa Ação. Todos eles iniciam a integração com um desenho do mapa do fluxo de valor do estado atual como forma de estabelecer um diagnóstico da situação atual das empresas objeto de estudo.

Apenas os autores Abdulmalek e Rajgopal (2006) e McDonald *et al.* (2002) construíram o mapa do fluxo de valor do estado futuro a partir das oito questões-chave estabelecidas pelos autores Rother e Shook (2008), ou seja, implementaram por completo a metodologia do Mapeamento do Fluxo de Valor. Os demais autores identificaram as oportunidades de melhorias no processo, porém, seguindo outras técnicas da Produção Enxuta.

Os autores Kun *et al.* (2015), Helleno *et al.* (2015) e Zuting *et al.* (2014) não apresentaram o mapa do fluxo de valor do estado futuro em seus trabalhos. Já os autores McDonald *et al.* (2002) não simularam o estado atual.

Os trabalhos de Abdulmalek e Rajgopal (2006), Yanhg *et al.* (2012) e Tanco *et al.* (2013) fizeram uso de experimentos simulados para determinação do melhor cenário para o estado futuro. Já os trabalhos de Kuan *et al.* (2015), Aomar (2010) e Lian e Ladeghenen (2007) fizeram uso da otimização para descobrir o melhor cenário para o estado futuro. Os trabalhos de Zuting *et al.* (2014) e Dotolia *et al.* (2014) aplicaram outras técnicas que não fazem parte do conjunto de ferramentas do *lean* para auxiliar na resolução dos problemas.

Abdulmalek e Rajgopal (2006) apresentaram um mapa do fluxo de valor do estado futuro revisado após a execução dos experimentos simulados. O trabalho desses autores é citado em quase todos os demais trabalhos apresentados na Tabela 2.12. Finalmente, pode-se afirmar que o trabalho desses autores, dentre os artigos selecionados para a avaliação dissertação, foi o único que seguiu fielmente todas as etapas de implementação das técnicas MFV e SED.

### 3. MÉTODO DE PESQUISA

Este item objetiva a classificação do trabalho de acordo com conceitos metodológicos apresentados por pesquisadores da área de metodologia de pesquisa. A pesquisa pode ser classificada conforme os seguintes aspectos: natureza, abordagem, objetivos e método. A Figura 3.1 esquematiza a classificação dessa dissertação.

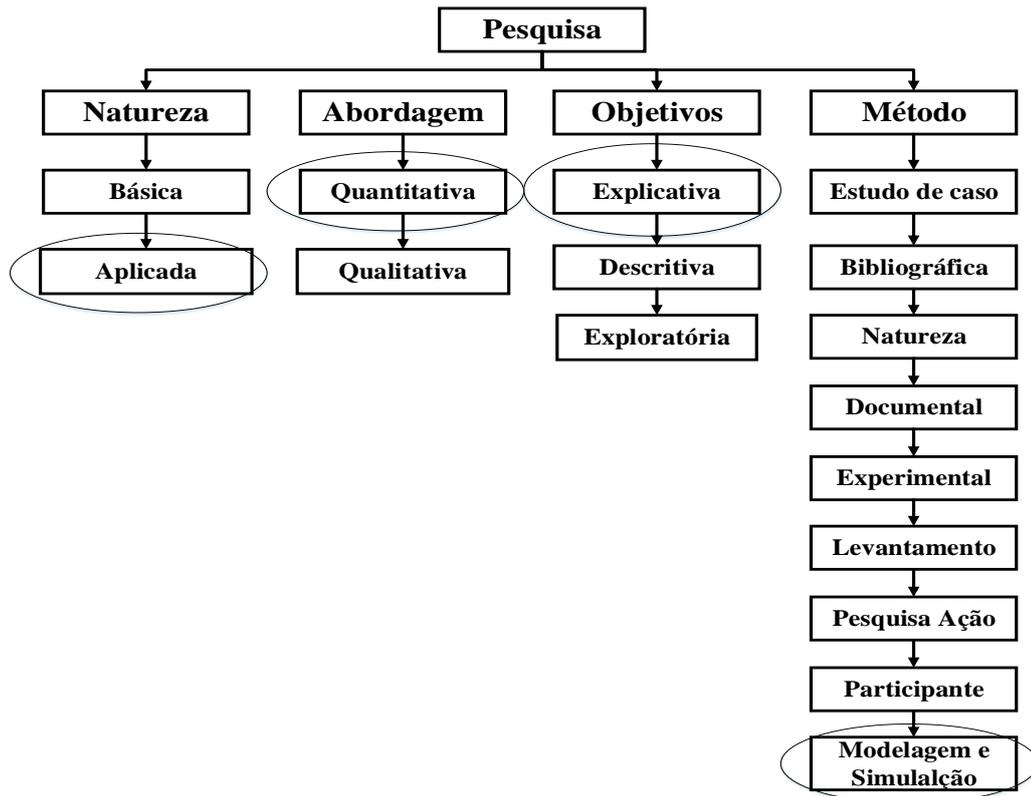


Figura 3.1 – Esquema de classificação da pesquisa

A pesquisa apresentada nesse trabalho é classificada como aplicada, que de acordo com Fleury *et al.* (2012), objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática e dirigida a soluções de problemas específicos. Do ponto de vista da abordagem do problema, pode ser classificada como quantitativa, visto que, os resultados de parâmetros de processo (*lead time* e total de peças de queijos produzidos) serão expressos em valores numéricos e devidamente analisados estatisticamente. Além disso, o processo de fabricação de queijos será representado em modelos, cujas variáveis assumirão a forma de distribuições matemáticas.

Quanto aos objetivos, trata-se de uma pesquisa explicativa. Através do uso de modelos será possível explicar e prever o comportamento ou desempenho de um processo operacional da vida real (BERTRAND e FRANSOO, 2002). Com relação ao método, pode ser

classificada como modelagem e simulação, que segundo Chung (2004), trata-se de um processo de criar e experimentar um sistema físico através de um modelo computadorizado.

Uma vez que a metodologia utilizada nessa dissertação é a modelagem e simulação, a estrutura do trabalho seguirá os passos de um projeto de simulação conforme esquema proposto pelos autores Montevechi *et al.* (2010), composto pelas fases concepção, implementação e análise. As Figuras 3.2, 3.3 e 3.4 esquematizam as etapas que serão seguidas em cada fase da pesquisa.



Figura 3.2 - Etapas seguidas na fase da concepção

Na fase de concepção serão utilizados elementos da SED e do MFV. Inicialmente deverão ser descritos os objetivos da aplicação da modelagem e simulação, a definição do sistema (objeto de estudo) e a problemática envolvida. Em seguida, será construído um mapa do fluxo de valor do estado atual, cujo objetivo será identificar os desperdícios do processo de fabricação de queijos e quantificar os critérios de avaliação do sistema, como *lead time*, total produzido, tempo de ciclo e taxa de refugo.

Em seguida, o MFV do estado atual deverá ser convertido em um IDEF-SIM, cujo objetivo é traduzir o MFV atual em uma linguagem mais adequada para a simulação computacional. A coleta de dados deverá ocorrer simultaneamente com a construção do MFV atual e do IDEF-SIM atual, no entanto, será apresentada nessa sequência de forma a respeitar o esquema seguido nessa dissertação (MONTEVECHI *et al.*, 2010). Logo, inferências sobre os dados coletados deverão ser realizadas para descobrir a distribuição de probabilidade que melhor represente os conjuntos dos dados coletados.

A Figura 3.3 esquematiza a sequência de atividades da fase de implementação.

### Fase de Implementação

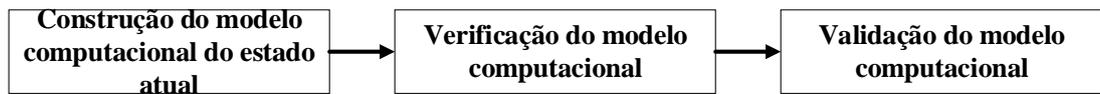


Figura 3.3 - Etapas seguidas na fase de implementação

Na fase de implementação, somente os elementos da SED serão utilizados. Será construído um modelo computacional do estado atual a partir do modelo conceitual elaborado na etapa anterior. O modelo computacional será verificado a partir de uma técnica de validação conforme Chwif e Medina (2014), através do teste face a face. Em seguida, o modelo deverá ser validado, conforme Sargent (2011), através do teste *2 Sample t*, no qual serão comparados os dados gerados pela simulação com informações do processo real. O modelo computacional converterá os parâmetros de processo (*lead time* e total produzidos) inicialmente determinísticos (identificados no MFV atual) em parâmetros estocásticos.

Na fase de análise, a Figura 3.4 descreve a sequência de atividades que serão desenvolvidas na fase de análise.

### Fase de Análise

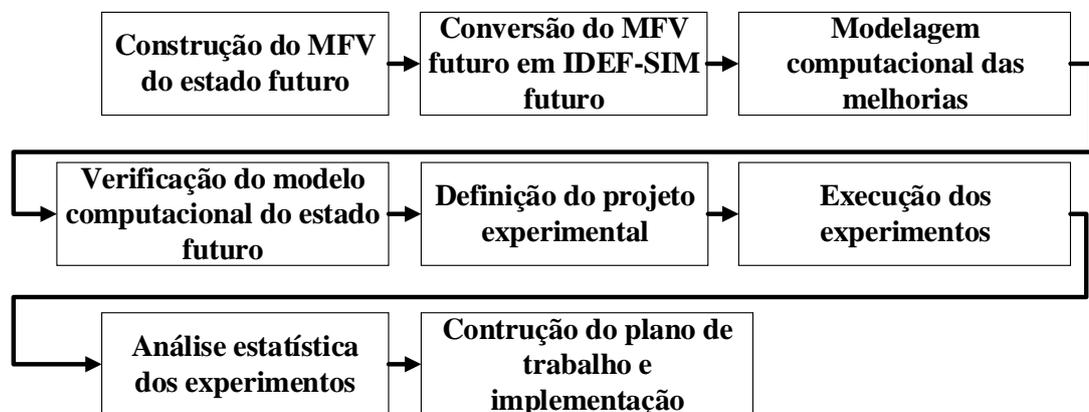


Figura 3.4 - Etapas seguidas na fase de análise

Na fase de análise, novamente serão utilizados elementos da SED e do MFV. A fase deverá ser iniciada com a construção do mapa do fluxo de valor do estado futuro. Essa construção deverá ser guiada a partir das respostas às oito questões-chave elaboradas pelos autores Rother e Shook (2008) e deverá estabelecer novos critérios de avaliação, como *lead time*, tempo de ciclo e total produzido. Em seguida, o MFV do estado futuro será convertido em IDEF-SIM do estado futuro, com o objetivo de traduzi-lo em uma linguagem mais adequada para a modelagem computacional. Na sequência, será realizada uma adaptação do

modelo computacional do estado atual (já verificado e validado na fase anterior), de forma a incorporar as mudanças estabelecidas pelo MFV do estado futuro. O modelo computacional do estado futuro converterá os novos parâmetros de processo (*lead time* e total produzidos) determinísticos (identificados no MFV futuro) em parâmetros estocásticos. O modelo computacional do estado futuro ainda deverá ser verificado a partir do IDEF-SIM estado futuro.

Algumas melhorias definidas pelo MFV do estado futuro deverão compor os fatores para a definição de um projeto experimental. A partir do DOE, será construído um arranjo fatorial que delineará os experimentos que deverão ser executados no modelo computacional do estado futuro. Os resultados dos experimentos serão analisados estatisticamente e o resultado será a obtenção de um cenário futuro ideal. Finalmente será descrito um plano de implementação do cenário futuro ideal para o objeto de estudo.

## 4. DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Neste capítulo será apresentada a proposta de integração entre o Mapeamento do Fluxo de Valor e da Simulação a Eventos Discretos elaborada pela autora. Na sequência a aplicação da proposta é descrita a partir de um caso real.

### 4.1. Proposta de integração entre o Mapeamento do Fluxo de Valor e a Simulação a Eventos Discretos.

Após análise estabelecida no capítulo 2 que tratou dos artigos existentes sobre integração MFV e SED, concluiu-se que o trabalho de Abdulmalek e Rajgopal (2006), além de ser um dos pioneiros no assunto e citados pelos demais autores, foi o trabalho avaliado que seguiu por completo todas as etapas de implantação das duas técnicas.

A proposta de integração entre o MFV e a SED apresentada a seguir, e implementada em um caso real na sequência, será inspirada no trabalho desses autores. A proposta consiste num guia contendo o passo a passo para a implementação integrada entre as duas técnicas. O guia uni as fases de desenvolvimento do MFV, introduzidas por Rother e Shook (2008) e as fases de desenvolvimento da SED, segundo Montevechi *et al.* (2010).

No entanto, a diferença entre a proposta de integração apresentada nesse trabalho e o trabalho dos autores Abdulmalek e Rajgopal (2006), além do objeto de estudo, consiste no método de pesquisa. Os autores descreveram a integração a partir do método da pesquisa-ação. Já a proposta a seguir, é descrita a partir do método de pesquisa de modelagem e simulação.

Quanto à escolha do método de pesquisa, na medida em que um modelo computacional será desenvolvido e experimentos simulados serão realizados, acredita-se que o método de pesquisa que melhor representa tais procedimentos é a modelagem e simulação. Dessa forma, a integração será apresentada em três fases: concepção, implementação e análise, ou seja, será baseada nas fases de desenvolvimento da SED. A Figura 4.1 descreve a proposta de integração entre o MFV e a SED.

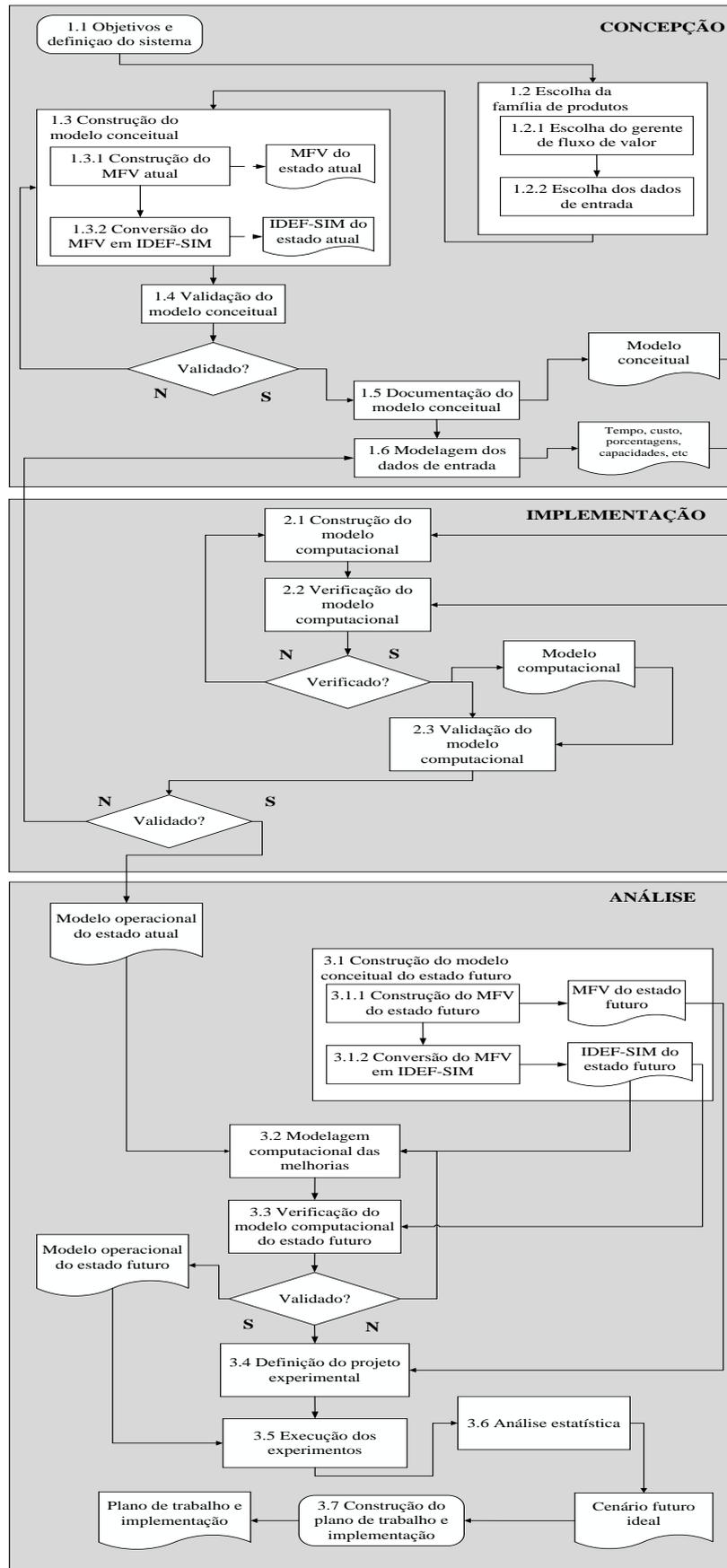


Figura 4.1 - Proposta de integração entre o MFV e a SED

A Figura 4.1 é dividida em três fases. Na fase de concepção, as etapas pertencentes à SED são:

- 1.1 Objetivo e definição do sistema
- 1.3 Construção do modelo conceitual
- 1.4 Validação do modelo conceitual
- 1.5 Documentação do modelo conceitual
- 1.6 Modelagem dos dados de entrada

Ainda na fase de concepção, as etapas pertencentes ao MFV são:

- 1.2 Escolha da família de produtos
- 1.2.1 Escolha do gerente de fluxo de valor
- 1.2.2 Escolha dos dados de entrada
- 1.3.1 Construção do Mapa do Fluxo de Valor do Estado atual

Na fase de concepção, a etapa 1.3.2 denominada “Conversão do MFV em IDEF-SIM” permite a integração entre as duas técnicas.

Na fase de implementação, todas as etapas são pertencentes à SED. Na fase de análise, as etapas pertencentes à SED são:

- 3.4 Definição do projeto experimental
- 3.5 Execução dos experimentos
- 3.6 Análise estatística

Na fase de análise, as etapas pertencentes ao MFV são:

- 3.1.1 Construção do Mapa do Fluxo de Valor do estado futuro
- 3.7 Construção do plano de trabalho e implementação

Na fase de análise, as etapas que permitem a integração entre as duas técnicas são:

- 3.1. Construção do modelo conceitual do estado futuro
- 3.1.2 Conversão do MFV futuro em IDEF-SIM futuro
- 3.2 Modelagem computacional das melhorias
- 3.3 Verificação do modelo computacional do estado futuro

É possível observar que o MFV foi incorporado em apenas duas fases da SED, ou seja, nas fases de concepção e de análise. Na fase de concepção, as duas primeiras etapas do MFV deverão ser desenvolvidas (escolha da família de produtos e desenho do mapa do estado atual). Na fase de análise, as últimas etapas do MFV serão abordadas (desenho do mapa do estado futuro e plano de implementação).

A proposta de integração se inicia na fase de concepção com a definição do sistema e a descrição dos objetivos da implementação da Produção Enxuta, além de especificar como se espera que a simulação auxilie no atingimento desses objetivos. Em seguida, uma família de produtos deverá ser escolhida para testar via simulação, a transformação do seu sistema de gestão da produção empurrado para a produção enxuta.

Nesse momento, uma pessoa responsável pelo fluxo inteiro de valor deverá ser escolhida. Essa pessoa deverá transcender à ideia de departamentalização e enxergar o fluxo como um todo. A escolha das informações a serem coletadas no chão de fábrica também deverá ser relacionada nesse momento. Na medida em que serão construídas duas modelagens, o objetivo dessa etapa é prever o máximo possível de dados a serem coletados para atender às duas modelagens, de forma que a coleta de dados seja única e satisfatória.

Em seguida, inicia-se a construção do modelo conceitual. O modelo conceitual será a representação do sistema real a ser simulado a partir do uso de técnicas de modelagem. Inicialmente deve-se construir um Mapa do Fluxo de Valor que será capaz de diagnosticar o objeto de estudo, identificar os desperdícios do processo e relacionar alguns critérios de avaliação importantes sobre o sistema, como o *lead time* e o tempo de agregação de valor.

O Mapa do Fluxo de Valor do estado atual deverá ser convertido em IDEF-SIM. O objetivo consiste em traduzir o MFV em uma linguagem mais adequada e orientada à simulação. O modelo conceitual agora representado pelo MFV atual e pelo IDEF-SIM atual deverá ser validado. Sendo o resultado da validação negativa, a construção do modelo conceitual deverá ser revisada, caso contrário, a próxima etapa deverá ser executada. Os modelos construídos deverão ser documentados de forma a facilitar seu acesso pelas etapas posteriores. Ao final da fase de concepção, os dados coletados deverão ser modelados. É importante destacar que a coleta de dados poderá ocorrer em conjunto com a elaboração dos modelos MFV e IDEF-SIM, no entanto, seu tratamento e inferência somente deverão ocorrer quando o modelo conceitual estiver validado e documentado.

O modelo computacional do estado atual começará a ser desenvolvido a partir do IDEF-SIM atual por meio de um simulador. Em seguida, o modelo computacional deverá ser verificado contra o modelo conceitual. Sendo o resultado da verificação negativa, a

construção do modelo computacional deverá ser revisada, caso contrário, a próxima etapa, que consiste na validação do modelo computacional, deverá ser executada. Sendo este considerado não válido, a modelagem dos dados de entrada deverá ser revisada. Estando o modelo válido, a terceira e última fase da SED deverá ser iniciada.

O modelo computacional verificado e validado corresponde ao modelo operacional do estado atual. O modelo operacional do estado atual servirá como base para a implementação das mudanças no modelo computacional do estado futuro. Como não será possível validar o modelo computacional do estado futuro, é importante que este seja construído a partir de um modelo confiável e que represente o sistema real estudado.

Na fase de análise, um novo modelo conceitual deverá ser desenvolvido. Este deverá ser orientado a partir da lógica da Produção Enxuta. Para isso, deve-se responder ao conjunto de questões-chave elaboradas pelos autores Rother e Shook (2008), para conduzir a construção de um Mapa do Fluxo de Valor do estado futuro. Novamente o MFV futuro deverá ser convertido em IDEF-SIM futuro, de forma a traduzí-lo em uma linguagem orientada à simulação computacional.

O IDEF-SIM futuro será utilizado para a modelagem computacional das melhorias a partir do modelo operacional do estado atual. Em seguida, o modelo computacional do estado futuro deverá ser verificado. Sendo o resultado da verificação negativa, a modelagem computacional das melhorias deverá ser revisada. Caso contrário, o modelo computacional do estado futuro se transformará em modelo operacional do estado futuro, estando apto para ser utilizado para a geração de cenários.

A definição do projeto experimental ocorre a partir do modelo conceitual do estado futuro, mais especificamente do MFV do estado futuro. Este apontará uma série de melhorias que deverão ser testadas no modelo operacional do estado futuro, na medida em que os experimentos vão sendo executados. Os cenários testados no modelo operacional do estado futuro serão monitorados através das saídas do modelo, ou o resultado da simulação. Esse resultado será analisado estatisticamente e o melhor cenário será identificado. A partir do cenário futuro ideal, um plano de implementação será elaborado, de forma a orientar a transformação *lean* dentro do objeto de estudo.

Na sequência, essa proposta de integração entre o MFV e SED será implementada em um caso real de uma fábrica de laticínios.

## 4.2. Aplicação da proposta de integração entre o Mapeamento do Fluxo de Valor e a Simulação a Eventos Discretos em um caso real

A proposta de integração entre as técnicas MFV e SED apresentada na Figura 4.1 foi aplicada em um caso real. O objeto de estudo é uma fábrica de laticínios.

### 4.2.1. Concepção

O presente trabalho aborda os principais aspectos de produção de uma empresa do setor de laticínios que trabalha com derivados de leite de búfala, denominada para efeito deste trabalho com *Bufalean*. A empresa objeto de estudo é de médio porte, localiza-se no Estado de São Paulo, possui um total de cinquenta funcionários envolvidos nas atividades de captação de leite, fabricação, comércio e distribuição.

A aplicação do método foi possível a partir do interesse da direção da organização em otimizar seu sistema industrial. Para isso, foi escolhido o modelo de gestão da produção segundo a Produção Enxuta, a partir dos argumentos apontados pelos pesquisadores da área apresentados no capítulo 2 dessa dissertação.

A problemática envolvida no objeto de estudo consiste na variação anual da oferta de leite de búfala. A Figura 4.2 apresenta um gráfico que compara a oferta de leite de búfala com a demanda do queijo mozzarella ao longo do ano de 2014.

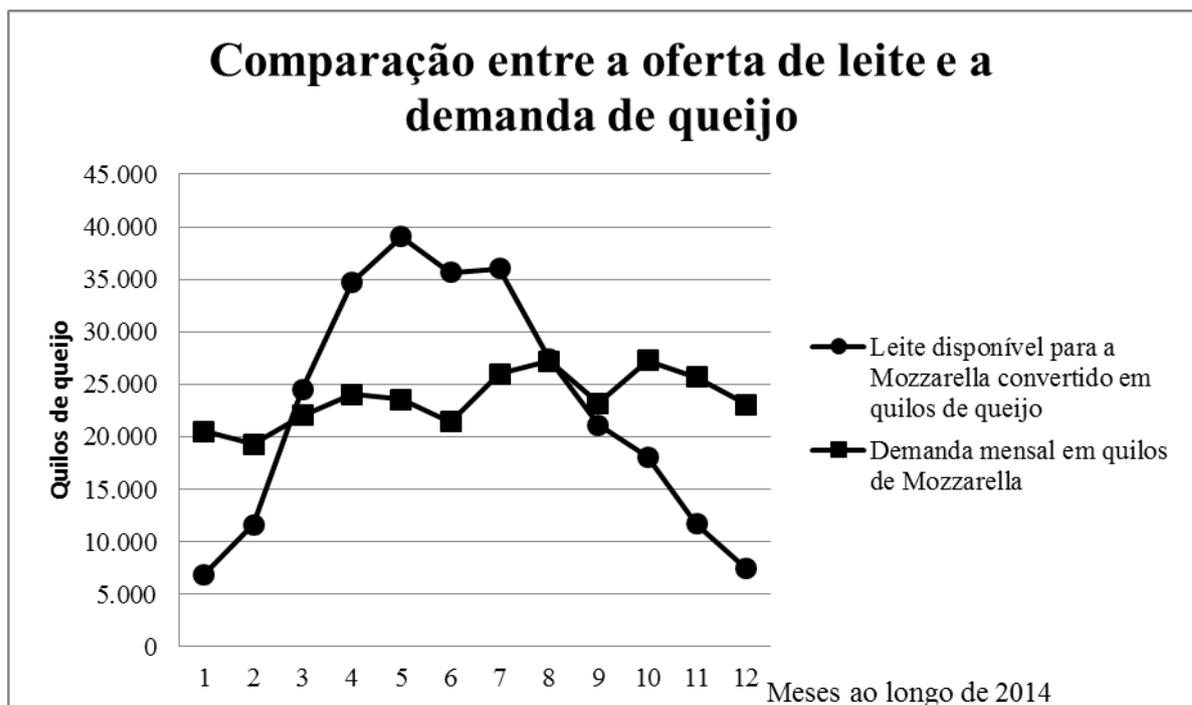


Figura 4.2 - Comparação entre a oferta de leite e demanda do produto mozzarella em 2014

O eixo das abcissas compreende os meses ao longo do ano de 2014. O eixo das ordenadas corresponde à produção em quilos de queijo. A linha com marcador quadrado corresponde à variação da demanda do queijo mozzarella. É possível observar que, com exceção do mês de fevereiro, a demanda se mantém relativamente estável variando entre 20 a 30 toneladas de queijo por mês.

A linha com marcador em círculo corresponde à variação da oferta de leite de búfala convertida em quilos de queijo ao longo do ano de 2014. A análise da Figura 4.2 mostra que o pico da oferta de leite em 2014 ocorreu no mês de maio. Já a baixa oferta ocorreu nos meses de dezembro e janeiro do mesmo ano.

Ainda é possível concluir que para o produto mozzarella, a linha da oferta de leite situou-se abaixo da linha da demanda de queijos nos meses de janeiro, fevereiro, setembro, outubro, novembro e dezembro. Já a linha da oferta de leite situou-se acima da linha da demanda de queijos nos meses de março, abril, maio, junho, julho e agosto. Dessa forma, pode-se afirmar que a *Bufalaen* trabalha ao longo de sete meses com volume de leite abaixo da demanda e cinco meses com volume de leite acima da demanda.

A estratégia utilizada pela empresa para atender à demanda de queijos ao longo do ano consiste em captar o volume máximo de leite possível ao longo dos períodos de safra, processar em queijo mozzarella no formato de peça de 4 kg e congelar essa produção excedente. Nos períodos de baixa oferta de leite, a produção excedente é descongelada e enviada ao mercado consumidor.

A empresa fabrica queijos de massa filada como mozzarellas de muita alta umidade (em formatos de bolas no soro), mozzarellas de média umidade (destinadas ao *food service*), queijo minas frescal, minas padrão, tipo provolone, parmesão, tipo burrata, requeijão, ricota e manteiga.

A demanda mensal média em quilos de queijos da *Bufalean* pode ser observada na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Demanda média mensal em quilos de queijos da *Bufalean*

Família	Produto	Unidade	Média	Família	Produto	Unidade	Média
Mozzarella média umidade	Barra 4 Kg	kg	17.592	Mozzarella muita alta umidade	Bola 10 g (200 g)	Unitário	641
	Barra 800 g	kg	1.093		Bola 10 g (250 g)	Unitário	44
	Barra 500 g	kg	3.362		Bola 10 g (360 g)	Unitário	326
	Rolo	kg	643		Bola 50 g (250 g)	Unitário	39
	Bola 10 g (250 g)	kg	769		Bola 50 g (360 g)	Unitário	475
	Bola 50 g (250 g)	kg	151		Bola 100 g (250 g)	Unitário	2
<b>Total</b>	kg	<b>23.610</b>	Bola 100 g (400g)		Unitário	95	
Demais queijos	Parmesão	kg	27		Bola 200 g (400 g)	Unitário	28
	Requeijão (120 g)	Unitário	321		Burrata	kg	5
	Ricota fresca	kg	232		Bola defumada	kg	5
	Provolone	kg	10		<b>Total</b>	kg	<b>1.660</b>

A tabela 4.1 mostra que a família de produtos que possui maior demanda é a do queijo mozzarella de média umidade. Ainda dentre os produtos relacionados a essa família, a peça de 4 kg consiste no item de maior demanda.

Para a escolha da família de produtos para a aplicação do método, foi considerado dentre outros fatores, o produto de maior demanda, a importância estratégica dos produtos, a sua similaridade em termos de processos de produção e o impacto das ações no resultado total da organização. A Tabela 4.2 resume os produtos fabricados, os processos de fabricação envolvidos em cada produto e a escolha da família de produtos a ser mapeada.

Tabela 4.2 - Processo de fabricação dos queijos da *Bufalean*

Produto/Processo	Pasteurização	Coagulação	Corte/mexedura	Fermentação	Prensagem	Filagem	Enformagem	Resfriamento	Salga	Secagem	Defumação	Embalagem	Maturação
Mozzarella média umidade													
Mozzarella muita alta umidade													
Provolone													
Parmesão													
Queijo minas padrão													
Queijo minas frescal													
Queijo tipo parmesão													

A família de produtos escolhida foi a do queijo mozzarella de média umidade que compreende os seguintes produtos:

- Mozzarella no formato retangular (peça) pesando 4 kg;
- Mozzarella no formato retangular (peça) pesando 0,8 kg;
- Mozzarella no formato retangular (peça) pesando 0,5 kg;

- Mozzarella no formato rolo (cilindro) pesando 0,5 kg;
- Mozzarella no formato bola de 10 g em pacote de 0,250 kg;
- Mozzarella no formato bola de 50 g em pacote pesando 0,250 kg.

Na Tabela 4.2 não foram considerados os processos da ricota, requeijão e da manteiga, por não se tratarem de queijo e possuírem processos de fabricação muito distintos. A partir desse ponto do trabalho, a família escolhida será denominada apenas de queijo mozzarella.

O próprio pesquisador foi escolhido para coordenar a aplicação do método em estudo como gerente da linha de produto mozzarella. A equipe de trabalho foi composta por membros da equipe da *Bufalean* que atuam nas áreas de produção, embalagem, laboratório e controle de qualidade.

A construção do MFV do estado atual ocorreu em três etapas: identificação do fluxo de materiais, identificação do fluxo de informações e levantamento dos desperdícios observados ao longo da modelagem. O *software* utilizado para a construção do modelo foi o Visio ®. A simbologia utilizada foi de acordo com Rother e Shook (2008).

As primeiras informações do mapa referem-se à demanda total e segregada dos produtos, que foram coletadas no departamento comercial da empresa. A demanda média mensal da família é de 23.610 kg, sendo 17.592 kg para peça de 4 kg, 1.093 kg para a peça de 0,8 kg, 3.362 kg para peça de 0,5 kg, 643 kg para rolo de 0,5kg, 769 kg para bola de 10g e 151 kg para bola de 50g. Tais informações foram descritas na parte superior e direita do mapa, conforme Figura 4.3.

Caracterizada a demanda, o passo seguinte foi a caracterização dos processos, desenhados na parte inferior do mapa, da esquerda para direita, no fluxo de produção, utilizando a simbologia da literatura. A produção inicia-se com um estoque médio de leite cru de 11.056 litros. Tal estoque foi caracterizado no mapa com a simbologia de um triângulo. A seta listrada indica que o estoque de leite cru é empurrado para o processo seguinte. O leite fica estocado em um silo e é transportado por meio de bomba e tubulação fechada. Os processos envolvidos na fabricação dos queijos são apresentados a seguir.

- Pasteurizar: consiste em elevar o leite a uma temperatura de 72-75°C ao longo de 15-20 segundos por meio de um trocador de calor a placas denominado pasteurizador. O processo elimina 100% das bactérias patogênicas do leite e 99,9% da flora banal, tornando o leite próprio para consumo ou fabricação dos derivados lácteos. O equipamento opera de forma contínua e transfere o leite para

o próximo processo a partir de uma bomba sanitária centrífuga e circuito fechado. O processo é automatizado e necessita de um operador para monitoramento.

- **Coagular:** o processo ocorre dentro de um tanque denominado queijomatic. Ao leite são adicionados os ingredientes (fermento láctico, cloreto de cálcio e coalho) que irão modificar a estrutura física e química dos componentes do leite (proteínas, cálcio, gorduras, sais minerais) que transformarão o leite inicialmente fluido em um estado gelatinoso, denominada de coalhada. Essa coalhada é então cortada por meio de liras, misturada por meio de agitadores e aquecida, gerando uma massa de queijo. O transporte da massa de queijo para o próximo processo é por meio de gravidade. O processo é automatizado e necessita de um operador para controlar a queijomatic.
- **Fermentar:** o processo também ocorre dentro de um tanque. As bactérias do fermento láctico irão consumir a lactose (açúcar do leite) e transformá-la em ácido láctico, o que demanda um determinado tempo de descanso da massa. O ácido láctico desmineraliza (retira o cálcio) da massa até abaixar o pH para 4,9, ou seja, ácido. Não são necessários operadores nesse processo.
- **Filar (peça ou bola):** a massa desmineralizada será então cortada em blocos, acondicionadas em baldes de 20 kg e transportadas manualmente para as máquinas de filagem. Existe uma máquina de filagem destinada às bolas e outra para as peças e rolo. Dentro da máquina de filar, a massa ácida é triturada e adicionada de água quente (80°) que irá unir os grãos de massa conferindo uma estrutura elástica. Na saída das máquinas de filagem possui um rolo que confere o formato específico aos produtos (nesse caso, retangular para as peças, circular para as bolas e cilíndrica para o rolo). No momento do *setup*, a peça trocada será o cilindro localizado no final da máquina. O processo é semiautomatizado e necessita de operadores para carga e um operador para descarga e controle da máquina.
- **Enformar:** consiste em colocar os queijos moldados na filagem em fôrmas de plástico para conferir o formato definitivo do queijo. A enformagem ocorre apenas nas peças e rolos. As peças de queijo são enformadas em fôrmas retangulares e os rolos em fôrmas cilíndricas. As peças precisam ser viradas em fôrma para garantir o formato em todas as faces do queijo. Os queijos no formato de bolas não são enformados. Após a filagem, essas são acondicionadas em caixas

plásticas contendo água. Já o rolo, apesar de ser enformado, não precisa de viragem e também é acondicionado em caixas plásticas contendo água. O processo é totalmente manual.

- Resfriar: as caixas plásticas contendo as bolas e rolos são transferidas para uma câmara fria à temperatura de 10-12°C. Já as peças de queijo permanecem dentro das formas e são acondicionados em *pallets* dentro da mesma câmara fria. Sendo que os queijos são levados para o resfriamento ao final do turno, esses permanecem sendo resfriados no período da noite até o dia seguinte, onde serão então salgados. Os operadores são necessários apenas para as operações de transporte dos queijos.
- Salgar: as bolas de queijo são retiradas da água e transferidas para tanques contendo salmoura (solução salina). As peças de queijos são retiradas das formas e também mergulhadas nos tanques de salga. Cada tipo de queijo possui um tempo específico de salga. As peças de 4 kg, por exemplo, permanecem cinco horas na salmoura. Já as bolas permanecem apenas vinte minutos na salmoura. Após a salga, os produtos são transferidos manualmente para o próximo processo que consiste na secagem.
- Secar: os queijos são acondicionados em prateleiras de fibra em câmara fria a 10-12°C no final do turno do segundo dia. Dessa forma, a secagem ocorrerá no período da noite até o terceiro dia.
- Embalar: os queijos são transferidos manualmente para mesas onde serão embalados manualmente. No caso das bolas, cada pacote será pesado para atender à especificação de peso líquido pré-definida na embalagem. Nos demais produtos não há necessidade de pesagem, visto que serão fracionados ou pesados nos pontos de vendas.
- Selar: os queijos embalados são transferidos manualmente para a máquina seladora à vácuo. Após a selagem, os queijos são acondicionados em caixas plásticas e armazenados em câmara fria de estoque.

A câmara fria foi descrita como expedição e caracterizada por um triângulo no mapa, o que indica a presença de estoque de produtos acabados antes de serem liberados aos consumidores. Ainda foram caracterizados no mapa os processos congelar, descongelar e reembalar.

Esses processos ocorrem apenas para as peças de 4 kg. Conforme explicado anteriormente, no período da safra do leite toda a matéria-prima excedente é processada em peça de 4 kg e segue para ser congelada. Na entressafra do leite, esses produtos são descongelados, reembalados e enviados ao mercado. Não foi possível a coleta de dados desses processos, visto a coleta de dados ocorreu no período de safra do leite, período no qual não ocorrem tais etapas.

Resumidamente, os processos podem ser classificados da seguinte maneira:

- Processos contínuos: pasteurizar.
- Processos em batelada: coagular, fermentar, resfriar, salgar e secar.
- Processos discretos: filar, enformar, embalar e selar.
- Processos de máquina: pasteurizar, coagular, filar e selar.
- Processos manuais: enformar e embalar.
- Processos que não demandam operadores enquanto são executados: fermentar, resfriar, salgar e secar.
- Processos nos quais os operadores executam operações de transporte: filar, enformar, resfriar, salgar, secar, embalar e selar.

A empresa trabalha em um turno, de segunda a sábado durante 7,3 horas por dia, com 1 hora de almoço e 15 minutos de café no período da tarde, ao longo de 25 dias no mês. No entanto, existem duas escalas de horário de trabalho, sendo a primeira escala destinada aos processos pasteurizar, coagular e fermentar, com início às 04h00min e término às 12h20min. A segunda escala inicia às 07h00min e termina às 15h20min e compreende os processos filar, enformar, salgar, embalar e selar. Os processos resfriar e secar, representados por câmara fria, operam 24 horas por dia.

Para finalizar o fluxo de materiais, foi inserido um quadro abaixo das caixas de processos. As informações caracterizadas nesses quadros foram: tempo de ciclo, disponibilidade, confiabilidade, capacidade do processo ou equipamento, quantidade de turnos e tempo de troca. No caso dos processos em batelada (coagular, fermentar, resfriar e secar) além do tempo de ciclo, foi descrito a informação de tempo de agregação de valor.

Nesse caso, houve a necessidade de adaptação do critério tempo de ciclo definido no mapa, uma vez que os produtos são expressos na grandeza quilos, e essa grandeza difere de um produto para o outro. O T/C será comparado com o critério *takt time* no momento da geração dos fluxos contínuos no MFV futuro. Dessa forma, o T/C foi expresso na mesma

grandeza que o *takt time*. Sendo o *takt time* expresso em segundos por unidade de produção, que será s/kg nesse caso, essa também foi a unidade de medida do T/C.

Resumidamente, o cálculo do T/C se baseia nas seguintes lógicas: para o processo contínuo (pasteurizar) foi coletada a informação relativa à vazão do equipamento. Essa vazão foi convertida em s/kg baseado na demanda por turno. Para os processos discretos (filar, enformar, embalar e selar) foi coletado o T/C para cada produto, no entanto, como cada produto possui peso diferente, esse T/C foi dividido pelo peso relativo ao produto, gerando um T/C em s/kg do produto.

Para os processos em batelada (coagular, fermentar, resfriar, salgar e secar), foi coletada a informação de tempo de agregação de valor por batelada, que dividido pela quantidade produzida em cada batelada, gerou o T/C do processo. Sendo a demanda mensal da família de produtos 23.610 kg e o total de dias trabalhados por mês de 25 dias, a demanda será de 944 kg/turno.

A coleta de dados dos processos ocorreu em conjunto com o desenho do MFV do estado atual. Os Quadros 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4 apresentam os dados adquiridos a partir da cronoanálise do processo. O cálculo detalhado do T/C de cada processo será apresentado a seguir:

- Pasteurizar: a taxa de conversão de leite em queijo é na razão de 7 litros/kg de queijo. Uma vez que a demanda é de 944 kg/turno, a demanda de leite por turno será de 6.608 litros. A vazão do pasteurizador pode ser expressa em 7.000 litros/hora. Dessa forma, serão gastos 3.398 segundos para processar a demanda de leite diária. Dividindo-se 3.398 segundos por 944 kg, obtém um T/C de 3,6 s/kg. Esse valor foi arredondado para um número inteiro subsequente, ou seja, 4 s/kg. A mesma regra de formatação foi aplicada aos demais cálculos.
- Coagular: o Quadro 4.4 mostra que o TAV para processamento de um tanque de coagulação é de 3.740 segundos. Existem dois tanques de coagulação com capacidade de processamento de 3.500 litros de leite ou 500 kg de queijo. Uma vez que a demanda é de 944 kg/turno, serão necessários dois tanques. Considerando que cada tanque de coagulação processa metade da demanda por turno (472 kg), o T/C consiste na divisão de 3.740 segundos por 472 kg, ou seja, 8 s/kg. No entanto, como existem dois tanques operando em paralelo, o T/C do processo será de 4 s/kg.

- Fermentar: o Quadro 4.3 mostra que o TAV para cada tanque coagulado na etapa anterior é de 14.900 segundos. Dividindo-se 14.900 pela metade da demanda, ou seja, pelos 472 kg, obtém-se o T/C de 32 s/kg. Na medida em que existem dois tanques de fermentação também operando em paralelo, o T/C do processo será de 16 s/kg.
- Filar: a Tabela 4.3 resume as informações do processo por produto. A demanda segregada é apresentada na primeira linha após o cabeçalho. O tempo de ciclo por produto consiste na média do T/C apresentada no Quadro 4.1. A terceira linha apresenta o peso de cada produto. O tempo de ciclo por kg de produto foi calculado dividindo-se o T/C por produto pelo peso relativo ao produto.

Tabela 4.3 – Informações do processo de filagem

Máquina	Filar peça e rolo			Filar bolas		
	Peça de 4 kg	Peça de 0,8 kg	Peça de 0,5 kg	Rolo de 0,5 kg	Bola de 10 g	Bola de 50 g
Parâmetro/Produto						
Demanda (kg/turno)	704	44	134	26	31	6
T/C por produto (s)	19	3	2	3	1	4
Peso do produto (kg)	4,00	0,80	0,50	0,50	0,06	0,20
T/C por kg de produto (s/kg)	5	4	4	6	17	20

A máquina de filar peça trabalha com três T/Cs (5 s/kg, 4 s/kg e 6 s/kg). Já a máquina de filar bolas trabalha com dois tempos de ciclo (17 s/kg e 20 s/kg). A escolha do T/C por máquina foi calculado a partir da média ponderada considerando a demanda por produto e o T/C por kg de produto. Nesse caso, o T/C da filadeira de peças é de 5 s/kg e da filadeira de bolas é de 18 s/kg. Já o T/C total do processo foi calculado a partir da média ponderada entre o T/C das máquinas de filar peça e bolas e a demanda em cada máquina. Nesse caso, o T/C do processo é de 6 s/kg.

(4.1)

$$\text{T/C filar peça} = \frac{(704 \times 5) + (44 \times 4) + (134 \times 4) + (26 \times 6)}{(704 + 44 + 134 + 26)}$$

$$\text{T/C filar peça} = 5 \text{ s/kg}$$

$$\text{T/C filar bola} = \frac{(31 \times 17) + (6 \times 20)}{(31 + 6)}$$

$$\text{T/C filar bola} = 18 \text{ s/kg}$$

$$\text{T/C processo} = \frac{(908 \times 5) + (37 \times 18)}{(908 + 18)}$$

$$\text{T/C processo} = 6 \text{ s/kg}$$

- Enformar: a Tabela 4.4 resume as informações do processo por produto. A demanda segregada é apresentada na primeira linha após o cabeçalho. O tempo de ciclo por produto foi cronometrado no sistema real (Quadro 4.1). A terceira linha demonstra o peso de cada produto. O tempo de ciclo por kg de produto foi calculado dividindo-se o T/C por produto pelo peso relativo ao produto.

Tabela 4.4 – Informações do processo de enformagem

Parâmetro/Produto	Peça de 4 kg	Peça de 0,8 kg	Peça de 0,5 kg
Demanda (kg/turno)	704	44	134
T/C por produto (s)	5	1	1
Peso do produto (kg)	4	1	0,5
T/C por kg de produto (s/kg)	1	1	2

O T/C médio do processo foi calculado a partir da média ponderada considerando o T/C por kg de produto e a demanda por produto. O T/C considerado foi de 2 s/kg.

(4.2)

$$\text{T/C enformar} = \frac{(704 \times 1) + (44 \times 1) + (134 \times 2)}{(704 + 44 + 134 + 134)}$$

$$\text{T/C enformar} = 2 \text{ s/kg}$$

- Resfriar: O processo de resfriamento tem início às 17h00min do primeiro dia de fabricação e finaliza às 05h00min do segundo dia de fabricação, ou seja, 12 horas. O T/C do processo foi calculado dividindo-se 43.200 segundos pela demanda de 944 kg/turno, ou seja, 46 s/kg.
- Salgar: a Tabela 4.5 resume as informações do processo por produto. A demanda segregada é apresentada na primeira linha após o cabeçalho. O TAV por produto foi cronometrado no sistema real (Quadro 4.3). A terceira linha trata no T/C por kg de produto. Este consiste na divisão do TAV pela demanda do produto.

Tabela 4.5 – Informações do processo de salga

Parâmetro/Produto	Peça de 4 kg	Peça de 0,8 kg	Peça de 0,5 kg	Bola de 10 g	Bola de 50 g	Rolo de 0,5 kg
Demanda (kg/turno)	704	44	134	31	6	26
TAV por produto (s)	19000	900	900	840	1200	2300
T/C por kg de produto (s/kg)	27	21	7	27	200	89

O T/C médio do processo foi calculado a partir da média ponderada considerando o T/C calculado e a demanda por produto. O T/C considerado foi de 27 s/kg.

(4.3)

$$\text{T/C salgar} = \frac{(704 \times 27) + (44 \times 21) + (134 \times 7) + (31 \times 27) + (6 \times 200) + (26 \times 89)}{(704 + 44 + 134 + 31 + 6 + 26)}$$

$$\text{T/C salgar} = 27 \text{ s/kg}$$

- Secar: o processo de secagem tem início às 19h00min do segundo dia de fabricação e finaliza às 07h00min do terceiro dia de fabricação, ou seja, 12 horas. O T/C do processo foi calculado dividindo-se 43.200 segundos pela demanda de 944 kg/turno, ou seja, 46 s/kg.
- Embalar: a Tabela 4.6 resume as informações do processo por produto. A demanda segregada é apresentada na primeira linha após o cabeçalho. O T/C por produto foi cronometrado no sistema real (Quadro 4.2). A terceira linha trata do peso relativo ao produto. A quarta linha apresenta o T/C por kg de produto.

Tabela 4.6 – Informações do processo de embalagem

Parâmetro/Produto	Peça de 4 kg	Peça de 0,8 kg	Peça de 0,5 kg	Bola de 10 g	Bola de 50 g	Rolo de 0,5 kg
Demanda (kg/turno)	704	44	134	31	6	26
T/C por produto (s)	16	13	5	15	5	28
Peso do produto (Kg)	4	0,8	0,5	0,25	0,25	0,5
T/C por kg de produto (s/kg)	4	16	10	60	20	56

O T/C médio do processo foi calculado a partir da média ponderada considerando o T/C por kg de produto e a demanda por produto. O T/C considerado foi de 9 s/kg.

(4.4)

$$\text{T/C embalar} = \frac{(704 \times 4) + (44 \times 16) + (134 \times 10) + (31 \times 60) + (6 \times 20) + (26 \times 56)}{(704 + 44 + 134 + 31 + 6 + 26)}$$

T/C embalar = 9 s/kg

- Selar/Encaixotar: a Tabela 4.7 resume as informações do processo por produto. A demanda segregada é apresentada na primeira linha após o cabeçalho. O T/C por produto foi cronometrado no sistema real (Quadro 4.2 e 4.3). A terceira linha trata do peso relativo ao produto. A quarta linha apresenta o T/C por kg de produto.

Tabela 4.7 – Informações do processo de selagem

Parâmetro/Produto	Peça de 4 kg	Peça de 0,8 kg	Peça de 0,5 kg	Bola de 10 g	Bola de 50 g	Rolo de 0,5 kg
Demanda (kg/turno)	704	44	134	31	6	26
T/C por produto (s)	76	37	58	41	52	52
Peso do produto (Kg)	4	0,8	0,5	0,25	0,25	0,5
T/C por kg de produto (s/kg)	5	8	14	20	35	5

O T/C médio do processo foi calculado a partir da média ponderada considerando o T/C calculado e a demanda por produto. O T/C considerado foi de **7 s/kg**.

(4.5)

$$\text{T/C selar} = \frac{(704 \times 5) + (44 \times 8) + (134 \times 14) + (31 \times 20) + (6 \times 35) + (26 \times 5)}{(704 + 44 + 134 + 31 + 6 + 26)}$$

$$\text{T/C selar} = 7 \text{ s/kg}$$

A Tabela 4.8 resume as informações de T/C e TAV dos processos. Os processos dedicados são: filar peça, filar bola, enformar e salgar. Os processos dupliados são: coagular e fermentar. Os processos em paralelo são: filar peça e filar bola.

Tabela 4.8- Resumo das informações de T/C e TAV do processo

Processo	T/C do processo	TAV do processo	Classificação
Pasteurizar	4 s/kg	Vazão: 7.000 litros/hora	Contínuo
Coagular	4 s/kg	1,03 horas	Batelada
Fermentar	16 s/kg	4,1 horas	Batelada
Filar	6 s/kg		Discreto
Enformar	2 s/kg		Discreto
Resfriar	46 s/kg	12 horas	Batelada
Salgar	27 s/kg	Variável	Batelada
Secar	46 s/kg	12 horas	Batelada
Embalar	9 s/kg		Discreto
Selar/encaixotar	7 s/kg		Discreto

O fluxo de informações foi desenhado na parte superior do mapa, da direita para a esquerda, ou seja, partindo da demanda. O departamento de programação e controle da

produção (PCP) informa ao processo pasteurizar a relação diária de volume de leite a ser processado. O rateio do volume de leite entre as demais famílias de produtos é repassado ao processo coagular.

O tipo e quantidade de cada produto da família são informados ao processo filar. A quantidade de produto a ser embalado é comunicada ao processo embalar. A programação de saída de produto é emitida três vezes por semana para a expedição, um dia antes da entrega, porém, este pode sofrer ajustes até o momento da expedição. A coleta de leite é diária, mas o fornecimento é sazonal, sendo a média de recebimento de leite anual de 11.056 litros por dia. Por questões comerciais, o departamento de vendas não consegue emitir uma previsão de demanda. Dessa forma, a produção se baseia em históricos do pedido semanal para adiantar produção dos queijos. A partir da liberação da demanda pelo setor comercial, a fábrica complementa a produção para atender a esses pedidos.

Na medida em que o mapa dos fluxos de materiais e informações foi sendo desenhado, foi possível observar desperdícios de esperas, estoques em processamento e estoques de produtos acabados. As esperas foram caracterizadas no mapa com simbologia extraída dos fluxogramas e expressas em unidades de horas. Os estoques (de produto processamento e produto acabado) foram caracterizados a partir da simbologia própria da literatura sobre MFV e expressos em unidade de quilo.

A linha do tempo foi inserida abaixo da caixa de dados do processo. No patamar inferior foram inseridas informações do tempo de agregação de valor. Para os processos discretos e contínuos, o TAV equivale ao tempo de ciclo. Para os processos em batelada (coagular, fermentar, resfriar e secar), o TAV é diferente do tempo de ciclo, o que justifica a presença dos dois critérios na linha do tempo.

No patamar superior da linha do tempo, os desperdícios (esperas e estoques) foram convertidos em dias de processamento em relação à demanda e compreendem ao tempo de não agregação de valor. A conversão das esperas foi a partir da divisão do tempo médio de espera observado pelo total de horas do turno (7,2 horas). Já a conversão dos estoques (produto em processamento e produtos acabados), foi a partir da divisão do estoque médio observado no decorrer das coletas de dados pela demanda média diária.

As informações de *lead time* e TAV totais foram definidas no final da linha do tempo. O TAV total consiste no somatório dos TAV's individuais de cada processo. O *lead time* consiste na soma do TAV total com o tempo de não agregação de valor, ou seja, patamar superior acrescido do patamar inferior.

Dessa forma, o TAV total foi calculado da seguinte maneira:

(4.6)

TAV total = 4 s/kg (pasteurizar) + 1,0 hora (coagular) + 4,1 horas (fermentar) + 6 s/kg (filar) + 2 s/kg (enformar) + 12,0 horas (resfriar) + 27 s/kg (salgar) + 12,0 horas (secar) + 9 s/kg (embalar) + 7 s/kg (selar)

TAV total = (29,1 horas + 55 segundos) / 7,2 (horas por turno)

TAV total = 4 dias

Já o *lead time* foi calculado da seguinte maneira:

(7)

*Lead time* = TAV + NAV

*Lead time* = 4 dias (TAV) + 1,7 dias (estoque matéria prima) + 0,2 dias (espera coagular) + 0,2 dias (espera fermentar) + 0,2 dias (estoque filar) + 2 dias (estoque resfriar) + 2 dias (estoque secar) + 0,3 dias (estoque embalar) + 95 dias (estoque produto acabado e congelado)

*Lead time* = 103,7 dias

A Figura 4.3 apresenta o Mapa do Fluxo de Valor do estado atual da *Bufalean*.

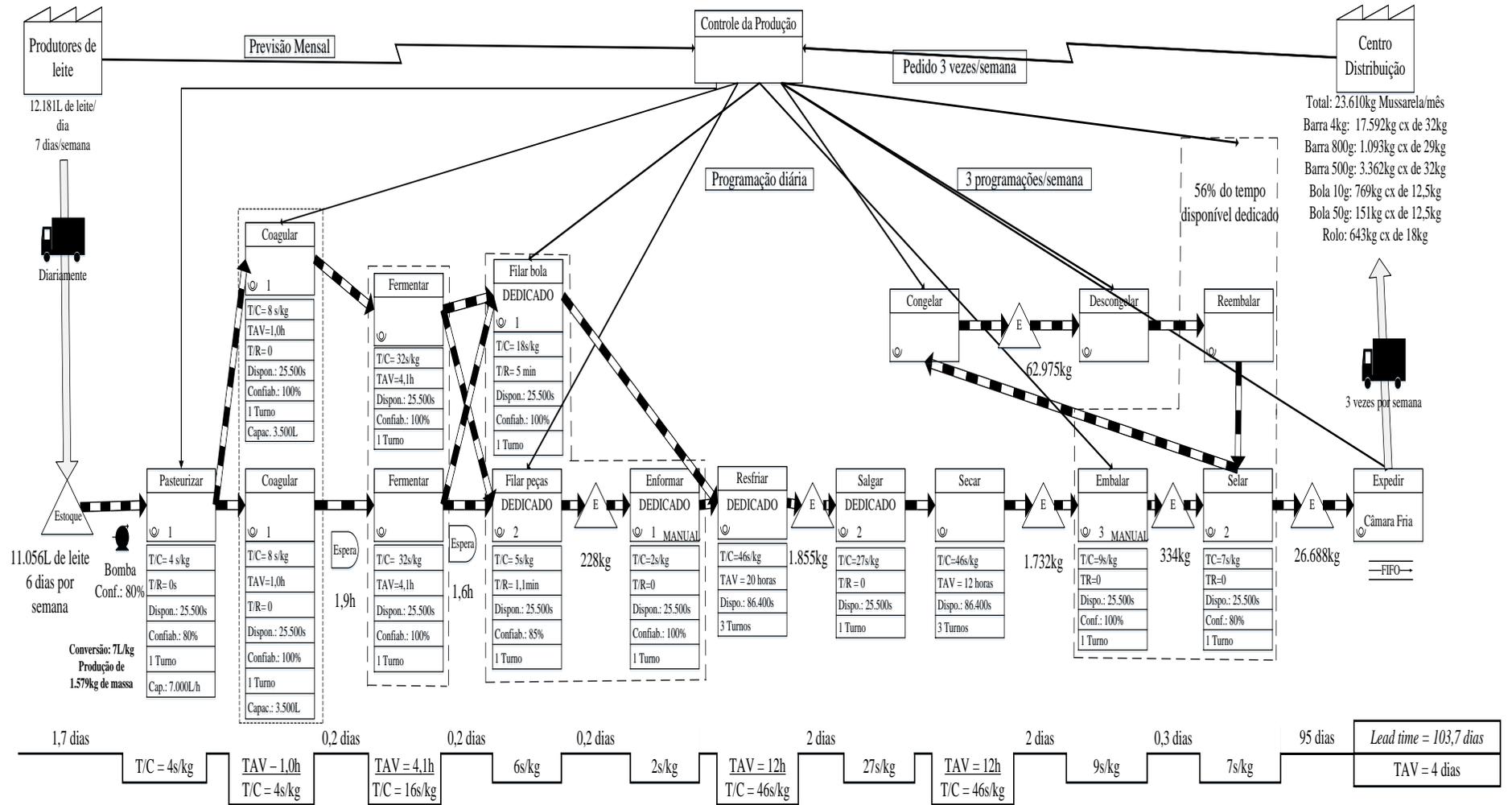


Figura 4.3 - Mapa do Fluxo de Valor do estado atual Bufalean

A Tabela 4.9 resume as informações do MFV atual.

Tabela 4.9 – Resumo das informações do MFV do estado atual

<b>Critério</b>	<b>Informação</b>
<i>Lead time</i>	103,7 dias
TAV	4,0 dias
Taxa de refugo	6 %
Espera	3,5 horas
Estoque em processamento	4,5 dias
Estoque produto acabado	95 dias
Estoque de matéria prima (L)	1,7 dias

A partir da análise da Tabela 4.9 é possível concluir que apenas 3,9% das atividades agregam valor. Foi possível identificar os seguintes desperdícios conforme classificação de Ohno (1997):

- **Superprodução:** ocorre sob duas formas, sendo essas por quantidade e por antecipação. A superprodução por quantidade pode ser exemplificada pelo estoque de produtos acabados na câmara fria de expedição. Já a superprodução por antecipação, pode ser exemplificada pelo estoque de produtos na câmara de congelado. O estoque de produtos acabados representa 95% dos desperdícios. Considerando a validade do produto de 120 dias, os queijos com 102 dias de fabricação ainda não foi comercializado, ou seja, ficam 85% da sua validade estocados na indústria.
- **Espera:** o desperdício de espera ocorre sob a forma de espera pelo processamento nas etapas coagular, no qual a massa fica aguardando dentro dos tanques de coagulação para iniciar o processo de fermentação. Já a espera pelo lote ocorre antes do processo de filagem.
- **Processos inadequados:** compreende os processos congelar, descongelar e reembalar. São considerados retrabalhos e compartilham máquinas e operadores com os processos que efetivamente agregam valor ao produto. Além desses, existe o desperdício de embalagem, visto que os queijos congelados possuem sua embalagem trocada no momento da comercialização.
- **Estoques desnecessários:** foram observados estoques de produtos em elaboração nos processos de enformagem, salga, embalagem e selagem.
- **Produtos defeituosos:** foi possível quantificar uma média de 6% de taxa de refugo ao longo do processo.

Não foi possível caracterizar os desperdícios transportes e movimentação e produtos defeituosos no MFV atual da Figura 4.3 devido à ausência de simbologia para esses desperdícios na literatura. O MFV atual também não descreve o fluxo dos operadores.

Inicialmente tentou-se construir um IDEF-SIM atual a partir do MFV atual da Figura 4.4. No entanto, não foi possível descrever os elementos de movimentações, os recursos utilizados, a lógica de transformação das entidades e as regras de fluxos. Dessa forma, foi necessária uma coleta de informações adicionais para a modelagem IDEF-SIM.

O IDEF-SIM atual foi construído no software Visio ®. A Figura 4.4 mostra o IDEF-SIM atual da *Bufalean*. O IDEF-SIM atual foi descrito em termos de entidades, funções, fluxos de entidades, recursos, controles, movimentação, regras de fluxos, fluxo de entrada no sistema, ponto final do sistema e conexão com outra figura. A simbologia utilizada foi a disponível na literatura para a técnica de modelagem IDEF-SIM (LEAL, 2008) e no Anexo A dessa dissertação.

Foi caracterizada no IDEF-SIM atual da Figura 4.4 dez tipos de entidades: leite cru, leite pasteurizado, massa, massa fermentada, bola de 10 g, bola de 50 g, rolo de 0,5 kg, peça de 0,5 kg, peça de 0,8 kg e peça de 4 kg. As entidades contínuas são: leite cru, leite pasteurizado, massa e massa fermentada. As demais entidades ou são discretas. As setas representam o fluxo das entidades.

As funções (locais) foram caracterizadas com quatro símbolos distintos: FC, BA, DI e ES. O local FC (pasteurizar) compreende o local de fluxo contínuo. Os locais BA (coagular, fermentar, resfriar, salgar, secar e descongelar) compreendem os locais em batelada. Os locais DI (filar, enformar, embalar, reembalar e selar) compreendem os locais discretos. Os locais ES compreendem os estoques de matéria-prima (estoque leite), estoque de produtos acabados (expedição) e estoque de produtos acabados congelados (congelar).

A simbologia da seta larga representou os transportes executados por operadores entre os locais, sendo esses no total de sete transportes. Os operadores foram representados a partir dos elementos recursos. São necessários quatorze operadores ao longo do processo. Os locais fermentar, resfriar, salgar e secar necessita de operadores somente para as operações de carga e descarga.

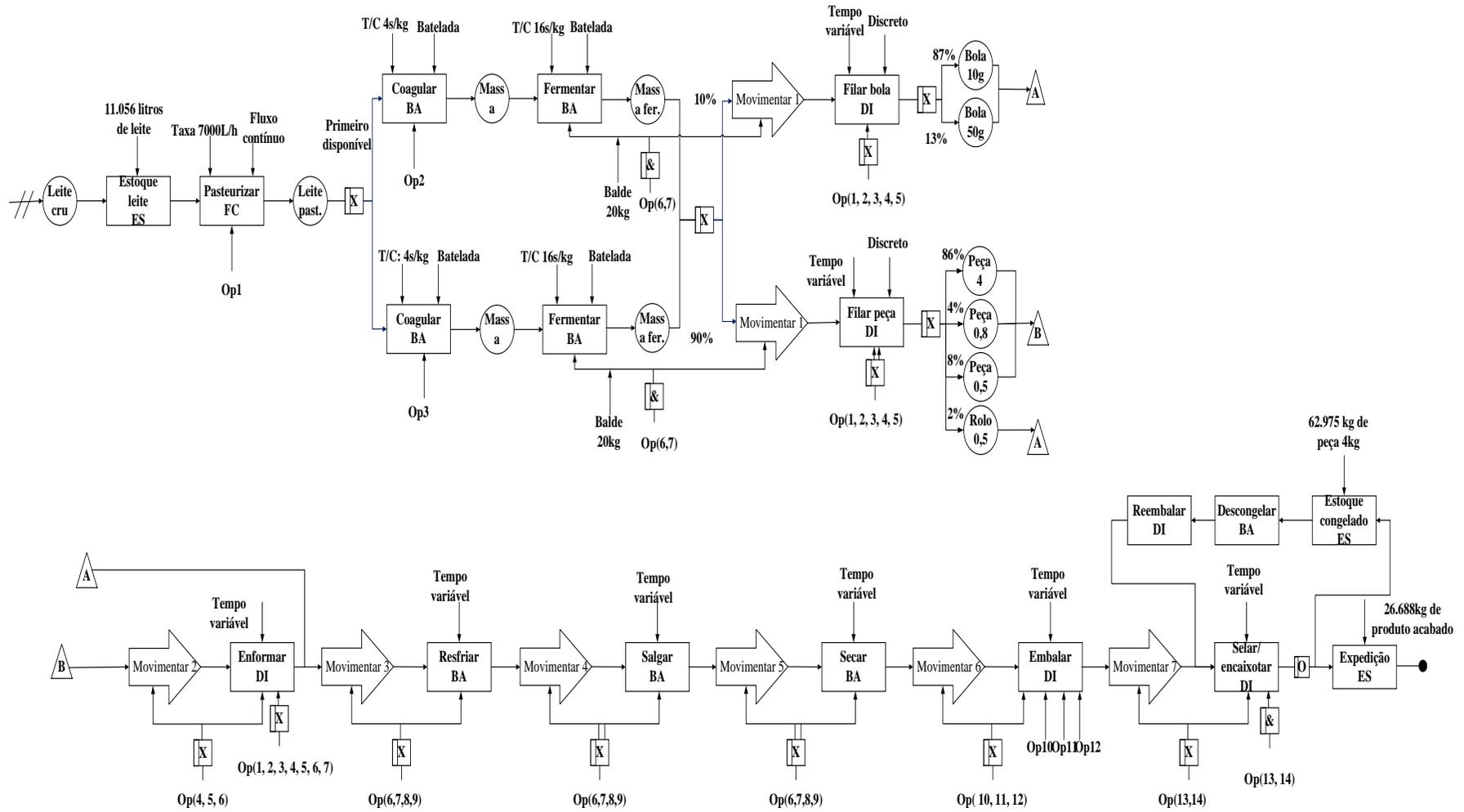


Figura 4.4 - IDEF-SIM do estado atual

A lógica de movimentação das entidades pôde ser bem compreendida a partir da Figura 4.4 que apresenta o IDEF-SIM atual. No entanto, a conversão das entidades contínuas em entidades discretas não foi possível ser visualizada a partir do IDEF-SIM. Nesse caso, foi necessária a utilização da modelagem IDEF3 foco objeto para representar tais mudanças no sistema. O IDEF3 foco objeto foi construído no software Visio ®. A Figura 4.5 mostra o IDEF3 foco objeto que representa a conversão das entidades ao longo do sistema.

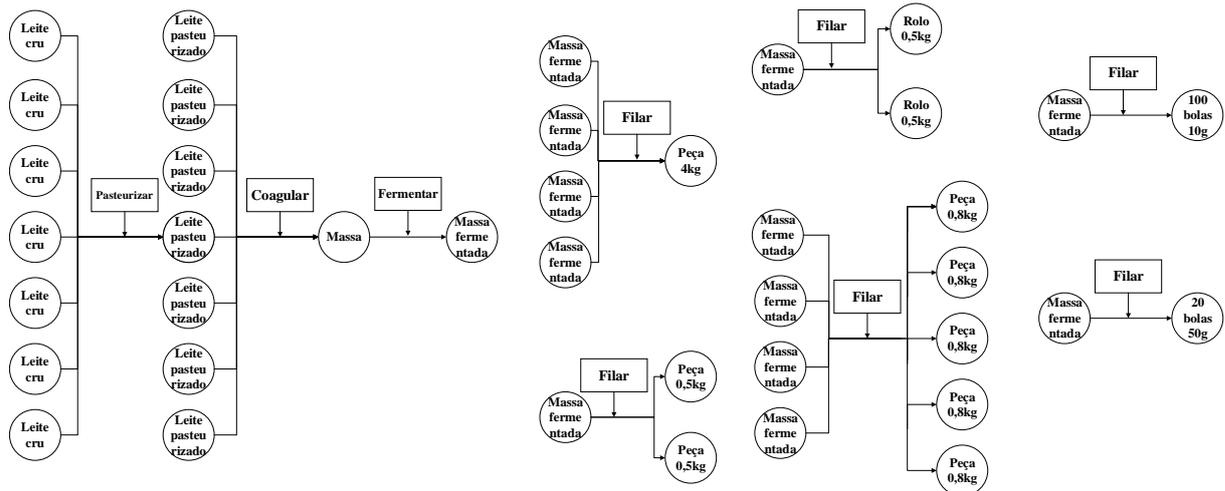


Figura 4.5 - IDEF3 foco objeto

Na Figura 4.5 as entidades contínuas são: leite cru, leite pasteurizado, massa e massa fermentada. As entidades discretas são: peça de 4 kg, peça de 0,8 kg, peça de 0,5 kg, bola de 10 g, bola de 50 g e rolo de 0,5 kg. A conversão de entidade leite cru para entidade leite pasteurizado é de 1:1, ou seja, sete entidades de leite cru geram sete entidades de leite pasteurizado após a pasteurização. A conversão da entidade leite pasteurizado em massa é de 7:1, ou seja, sete entidades de leite pasteurizado originam uma entidade de massa após a coagulação. A conversão da entidade massa para massa fermentada é de 1:1 após o processo fermentar.

No entanto, serão necessárias quatro entidades de massa fermentada para gerar uma entidade de peça de 4 kg. Na mesma razão, uma entidade de massa fermentada gera cinco entidades de peça de 0,8 kg após o processo filar.

Finalmente, uma entidade de massa fermentada gera duas entidades de rolo de 0,5 kg. Uma massa fermentada gera duas peças de 0,5 kg. Uma massa fermentada gera cem entidades de bola de 10g. Uma massa fermentada gera vinte entidades de bola de 50 g, todas após o processo filar.

A validação do modelo conceitual foi realizada através da técnica face a face. Os três modelos (MFV atual, IDEF-SIM atual e IDEF3 foco objeto) foram apresentados aos

especialistas do processo, que são pessoas da empresa diretamente relacionadas ao sistema. Uma vez que se verificou que o sistema foi representado corretamente, os modelos conceituais foram considerados válidos.

Os modelos gerados a partir do MFV atual, IDEF-SIM atual e IDEF3 foco objeto representam os documentos gerados até esse momento. Esses foram construídos no *software* Visio ® que possui a simbologia para as técnicas MFV e IDEF.

No caso do MFV, sua primeira versão foi construída à lápis na medida em que os dados foram sendo coletados, conforme orienta a técnica. Em seguida foi transferida para a versão em computador. Da mesma forma, o IDEF-SIM também foi construído à lápis a partir do MFV atual e complementado posteriormente com a coleta de dados adicionais. Somente a versão final foi transferida para a versão digital.

A coleta dos dados do processo envolveu a busca por informações relativas a tempo de ciclo dos locais discretos, taxa de transferência do local contínuo, tempo de agregação de valor dos locais em batelada, confiabilidade de máquinas, tempo de *setup*, quantidade de estoques em processamento e estoque de produtos acabados.

O tempo total para a coleta dos dados ocorreu num período de sete meses ao longo do ano de 2014, devido ao fato de não ser possível a presença do pesquisador todos os dias na empresa objeto de estudo. Os recursos utilizados para a coleta de dados foram cronômetros e filmadora.

Os dados referentes à confiabilidade das máquinas foram coletados a partir da elaboração de um formulário que foi entregue ao setor de manutenção, que registrava os dias de manutenção e o tempo total da manutenção das máquinas. Esse tempo foi computado e convertido em taxa de confiabilidade.

A quantidade de estoques de produtos acabados ou produtos em elaboração foram coletados pelo próprio pesquisador, que registrava diariamente a quantidade de produtos existentes antes das etapas (produto em processamento) e a quantidade de produtos acabados nas câmaras de expedição e congelamento. O valor considerado no mapa trata-se da média dos dados coletados.

O tempo de *setup* existe apenas para os locais filar peça e filar bola. Para esses casos, foram coletados 10 tempos e o valor médio dos dados foi considerado no MFV atual. Os dados relativos ao tempo de processamento dos locais foram classificados em três categorias, de acordo com a natureza do processo.

- Fluxo contínuo: no local pasteurizar. Nesse caso, como se trata de um equipamento de transferência de entidades, foi verificada a vazão real do equipamento disponível no painel de controle da máquina. Para esse local não houve necessidade de cronometrar tempo de processo.
- Batelada: nos locais coagular, fermenta e salgar. Os dados relativos a esses processos compreendem ao tempo de agregação de valor e ocorrem em escalas de horas. A coleta foi a partir do registro em formulário do horário de início e término de operação do local. Para cada local, foram coletados três tempos, sendo que no local salga, foram coletados três tempos para cada produto. Foram gerados 63 dados de tempos desses locais.
- Discreto: nos locais filar peça, filar bola, enformar, embalar e selar/encaixotar. As informações coletadas referem-se ao tempo de ciclo por produto. Na medida em que os dados ocorrem em termos de segundos, foi utilizada uma filmadora nesses processos. Em seguida, foi realizada a cronoanálise sobre as imagens coletadas. Para cada local, foram coletados trinta tempos. A partir dessa análise, gerou um total de 630 dados.

Os dados de tempo de ciclo e tempo de agregação de valor dos processos foram lançados em uma planilha do Excel ®. O fragmento dessa planilha pode ser observado nos Quadros 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4.

A planilha de dados do Excel ® está organizada de seguinte maneira: os dados dos locais discretos que compreendem ao tempo de ciclo estão separados dos dados dos locais em batelada que compreendem ao tempo de agregação de valor. O Quadro 4.1 representa os locais filar e enformar. O Quadro 4.2 compreende os locais embalar e parte dos dados do local selar. O Quadro 4.3 compreende o local selar. O Quadro 4.4 compreende os locais coagular, fermentar e salgar. Não foi coletado dados relativos aos locais resfriar e secar, pois esses ocorrem no período noturno.

A primeira linha contém o cabeçalho com o nome do local e o produto na qual se refere os dados. Após o cabeçalho, os tempos foram registrados, sendo um total de trinta para os locais discretos e três para os locais em batelada. A linha abaixo dos tempos compreende o cálculo do valor médio dos tempos, seguindo do cálculo do desvio padrão e dos parâmetros “número requerido”, “grau de confiança” e “erro relativo”. Esses parâmetros serão explicados na sequência.

Quadro 4.1 – Fragmento 01 da tabela de dados do Excel ® com tempos em segundos

Processo/ Tempo	4. Filar peça de 4 kg	5. Filar peça de 0,8 kg	6. Filar peça de 0,5 kg	7. Filar bola de 10 g	8. Filar Bola de 50 g	9. Filar rolo de 0,5 kg	10. Enformar peça de 4 kg	11. Enformar peça de 0,8kg	12. Enformar peça de 0,5 kg
1	21,42	2,98	2,07	0,62	3,29	2,39	5,69	1,21	1,26
2	16,29	2,49	2,50	1,23	4,42	2,47	5,24	0,20	1,35
3	18,69	3,43	1,55	0,36	6,32	2,93	4,77	0,90	0,73
4	19,33	3,10	2,31	0,22	4,41	3,57	3,58	1,70	1,21
5	18,46	2,99	2,66	1,14	5,12	2,57	5,70	0,02	1,36
6	17,46	2,94	1,98	0,63	2,61	2,95	3,64	1,54	0,86
7	19,45	3,15	1,72	1,28	2,71	2,14	4,93	0,42	0,49
8	20,73	3,21	2,52	0,81	3,68	2,38	3,33	0,26	0,70
9	18,62	2,98	1,58	0,59	3,29	3,57	5,42	0,82	1,35
10	19,52	3,20	1,24	0,78	3,23	3,76	4,09	1,43	0,91
11	19,38	3,11	1,75	1,15	3,22	3,28	7,05	1,18	1,15
12	18,75	2,93	2,32	1,09	3,46	3,89	5,38	0,55	0,93
13	19,26	2,33	2,15	1,29	3,82	3,96	5,95	1,35	1,75
14	16,00	2,89	1,72	1,50	4,23	3,00	6,45	0,99	0,76
15	19,12	2,93	1,83	1,03	2,65	1,89	5,40	0,75	0,67
16	19,65	2,58	2,46	1,11	3,91	2,03	3,94	1,18	0,51
17	19,27	2,73	2,41	0,93	3,52	2,8	5,33	0,58	0,39
18	20,87	3,15	1,55	0,92	4,94	3,16	4,85	1,42	1,03
19	20,39	2,88	2,22	1,05	4,98	2,99	5,13	1,01	1,41
20	19,00	2,75	1,56	0,91	2,84	2,54	5,28	1,28	0,91
21	21,26	2,97	1,87	0,73	3,62	2,35	4,1	0,90	0,78
22	20,94	3,19	2,71	0,75	3,84	3,19	4,71	0,87	0,82
23	22,2	2,89	2,50	1,18	4,15	1,37	4,89	1,05	1,19
24	19,68	2,73	1,85	0,74	3,96	3,06	6,05	0,78	0,57
25	21,44	2,52	2,75	1,48	2,29	2,55	3,89	1,04	1,12
26	19,67	3,13	2,35	0,72	5,02	2,99	3,98	0,24	1,80
27	19,15	2,81	1,91	0,83	4,38	3,34	5,02	1,01	1,02
28	19,2	3,27	2,10	0,58	5,47	3,58	3,88	1,66	1,62
29	17,41	3,59	1,23	1,72	4,31	3,38	6,33	0,81	1,93
30	20,82	2,80	1,46	1,50	3,57	3,80	5,93	0,92	0,21
Média (s)	19	3	2	1	4	3	5	1	1
Desvio padrão	1,4	0,3	0,4	0,4	0,9	0,6	0,9	0,4	0,4
N requerido	9	13	72	205	87	73	55	334	266
Grau de confiança	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%
Erro relativo	3%	3%	8%	13%	8%	8%	7%	17%	15%

Quadro 4.2 – Fragmento 02 da tabela de dados do Excel ® com tempos em segundos

Processo/ Tempo	31. Embalar peça de 4 kg	32. Embalar peça de 0,8 kg	33. Embalar peça de 0,5 kg	34. Embalar bola de 10 g	35. Embalar bola de 50 g	36. Embalar rolo de 0,5 kg	37. Selar peça de 4 kg	38. Selar peça de 0,8 kg
1	12,28	15,18	4,87	14,75	5,52	26,45	60,90	36,22
2	16,20	8,99	2,64	14,25	3,52	29,65	66,57	33,11
3	17,15	11,4	3,84	13,86	4,44	26,69	70,88	36,23
4	14,81	13,91	4,59	10,08	6,65	20,04	71,22	36,84
5	14,19	10,66	0,3	12,09	6,01	18,86	75,60	37,51
6	14,70	10,56	7,18	14,82	5,45	24,38	87,96	35,65
7	11,68	11,79	4,85	18,15	6,18	29,63	74,04	44,65
8	20,12	12,44	4,79	12,41	4,32	18,5	65,66	37,09
9	16,14	10,73	7,13	19,70	4,06	28,31	62,04	41,28
10	17,53	12,97	5,99	18,84	4,99	28,49	68,72	34,62
11	14,64	14,69	5,17	16,81	5,80	26,98	94,36	36,51
12	23,61	12,06	5,48	12,45	4,50	30,58	78,63	34,6
13	11,64	15,07	4,06	17,83	5,52	25,58	74,16	42,13
14	21,25	11,36	4,60	15,66	5,30	18,19	59,56	38,00
15	16,58	14,01	6,45	11,76	6,63	30,88	43,59	33,71
16	19,13	13,3	7,06	18,42	4,44	32,58	80,32	39,75
17	12,61	14,45	7,40	10,23	5,27	41,31	101,84	27,95
18	14,88	15,08	5,55	12,15	5,84	36,26	99,91	34,14
19	11,46	13,28	4,97	14,85	5,48	27,01	72,65	39,04
20	15,49	15,74	6,28	18,25	5,56	28,68	66,85	36,82
21	16,06	12,63	6,82	14,99	3,50	20,13	94,83	39,39
22	14,97	11,99	3,28	15,79	5,20	29,45	92,33	38,06
23	13,79	7,24	3,60	16,4	4,45	33,15	81,8	35,65
24	15,62	18,06	8,38	12,57	3,18	35,17	96,00	37,5
25	19,38	11,26	6,02	13,71	3,97	29,61	72,36	31,75
26	14,30	9,78	5,50	18,12	5,47	29,52	56,21	33,30
27	16,76	13,05	6,45	14,87	5,65	28,15	90,37	43,01
28	18,34	12,52	5,13	12,55	4,93	26,87	86,72	39,14
29	12,51	17,76	2,25	11,93	3,87	29,41	70,45	35,48
30	20,15	13,77	4,56	17,46	4,28	33,31	74,99	38,38
Média (s)	16	13	5	15	5	28	76	37
Desvio padrão	3,0	2,4	1,7	2,7	0,9	5,3	14,0	3,4
N requerido	55	53	168	51	52	55	52	13
Grau de confiança	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%
Erro relativo	7%	7%	12%	6%	7%	7%	7%	3%

Quadro 4.3 – Fragmento 03 da tabela de dados do Excel ® com tempos em segundos

Processo/ Tempo	39. Selar peças de 0,5 kg	40. Selar bola de 10 g	41. Selar bola de 50 g	42. Selar rolo de 0,5 kg
1	36,70	41,94	66,65	51,43
2	61,33	49,94	52,14	48,74
3	53,10	50,32	56,01	51,09
4	57,05	39,07	51,29	56,50
5	63,19	39,30	53,90	46,93
6	68,68	36,69	52,19	52,28
7	41,73	45,41	53,16	48,49
8	72,29	45,93	50,90	52,04
9	63,71	42,16	40,55	56,16
10	56,91	47,33	55,21	60,48
11	61,65	38,15	40,18	54,13
12	45,97	45,72	40,31	57,07
13	47,20	35,50	61,78	44,62
14	72,84	42,83	54,70	48,47
15	60,76	43,24	52,65	64,8
16	61,97	38,67	34,57	48,21
17	42,84	43,37	50,93	52,26
18	66,28	41,12	49,20	45,71
19	44,11	41,93	52,35	55,36
20	58,86	34,1	52,4	60,52
21	65,97	34,14	42,9	55,83
22	44,86	37,15	60,66	41,93
23	69,89	33,58	48,98	48,88
24	56,18	39,81	60,14	37,94
25	65,62	38,93	58,43	59,14
26	64,62	34,36	60,00	56,74
27	47,75	49,65	56,94	52,52
28	66,25	41,79	48,1	40,77
29	61,66	37,59	59,57	56,46
30	55,00	31,65	50,93	58,18
Média (s)	58	41	52	52
Desvio padrão	9,9	5,1	7,2	6,3
N requerido	45	24	29	22
Grau de confiança	95%	95%	95%	95%
Erro relativo	6%	4%	5%	4%

Quadro 4.4 – Fragmento 04 da tabela de dados do Excel ® com tempos em segundos

Processo/ Tempo	Coagular	Fermentar	Salgar peça de 4 kg	Salgar peça de 0,8 kg	Salgar peça de 0,5 kg	Salgar bola de 10 g	Salgar bola de 50 g	Salgar rolo de 0,5 kg
1	3300	15300	19200	900	900	840	1200	2400
2	4200	14400	19800	900	900	840	1200	2100
3	3720	15000	18000	900	900	840	1200	2400
Média (s)	3740	14900	19000	900	900	840	1200	2300
Desvio padrão	450,3	458,3	916,5	0,0	0,0	0,0	0,0	173,2
N requerido	22	1	4	0	0	0	0	9
Grau de confiança	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%
Erro relativo	4%	1%	2%	0%	0%	0%	0%	3%

A média e o desvio padrão foram calculados conforme regras estatísticas padrão. Já os demais parâmetros (número requerido, grau de confiança e erro relativo), foram calculados segundo equação de Triola (1999), que determina o tamanho da amostra com base na estimativa da média populacional.

(4.8)

$$n = [(Z \times S) / e]^2$$

Onde:

n = número requerido ou o número de indivíduos da amostra

Z = Valor crítico que corresponde ao grau de confiança desejado

S = desvio padrão da população

e = erro máximo de estimativa. Identifica a diferença máxima entre a média amostral e a verdadeira média populacional

A equação de Triola (1999) objetiva determinar o tamanho da amostra de dados a ser coletado do processo, baseado na estimativa da média populacional dos dados previamente coletados.

Exemplificando a equação, para o local de selar peça de 0,8 kg, foram coletados trinta dados de uma população. Fixando o grau de confiança em 95% e o erro relativo a 5%, seriam necessários 13 dados para representar a amostra. Como foram coletados 30 dados inicialmente, considera-se a amostra como sendo adequada.

O objetivo do uso da equação de Triola (1999) consiste em verificar a representatividade das amostras dos dados previamente coletadas. Como em alguns casos o

número requerido foi maior que o número de dados coletados e não havia tempo hábil para nova coleta de dados, optou-se por fixar os parâmetros de número requerido para 30 indivíduos, o grau de confiabilidade em 95% e calcular o erro relativo.

As amostras que apresentaram erro relativo acima de 5% referem-se aos seguintes locais: filar peça de 0,5 kg, filar bola de 10 g, filar rolo de 0,5 kg, enformar peça de 4 kg, enformar peça de 0,8 kg, enformar peça de 0,5 kg, embalar peça de 4 kg, embalar peça de 0,8 kg, embalar peça de 0,5 kg, embalar bola de 10g, embalar bola de 50g, embalar rolo de 0,5 kg, selar peça de 4 kg e selar peça de 0,5 kg.

As amostras que apresentaram erro relativo abaixo de 5% referem-se aos seguintes locais: coagular, fermentar, filar peça de 4 kg, filar peça de 0,8 kg, salgar peça de 4 kg, salgar peça de 0,8 kg, salgar peça de 0,5 kg, salgar bola de 10g, salgar bola de 50 g, salgar rolo de 0,5 kg, selar peça de 0,8 kg, selar bola de 10 g, selar bola de 50 g e selar rolo de 0,5 kg.

É possível afirmar que os locais que apresentaram erro relativo maior que 5% compreendem aos locais de processamento manual. A coleta de dados desses locais seguiu da aleatoriedade para a escolha do período de coleta e dos funcionários envolvidos (visto que podem se revezar ao longo do dia). A falta de critério para a coleta dos dados pode justificar a variabilidade dos dados coletados.

Os dados foram tratados no StaFit ® para descobrir a melhor distribuição de probabilidade que representasse a amostra. As distribuições encontradas podem ser observada na Tabela 4.10.

Tabela 4.10 - Distribuição de probabilidade dos tempos coletados

Local	Tempo de operação	Entidade	Local	Tempo de operação	Entidade
Coagular	T(3300, 3720, 4200) s	Leite pasteurizado	Secar	12 horas	Todas as entidades
Fermentar	T(15300, 15000, 14400) s	Massa fermentada		P(15.3) s	Bola de 10 g
Filar bola	P(1.1) s	Bola de 10 g		BI(7, 0.752) s	Bola de 50 g
	BI(6, 0.661) s	Bola de 50 g	Embalar	BI(43, 0.363) s	Peça de 4 kg
	BI(22, 0.845) s	Peça de 4 kg		BI(93, 0.12) s	Peça de 0,8 kg
Filar peças	N(3,0.3) s	Peça de 0,8 kg		BI(21, 0.229) s	Peça de 0,5 kg
	N(2,0.4) s	Peça de 0,5 kg		P(28.1) s	Rolo de 0,5 kg
	BI(4, 0.65) s	Rolo de 0,5 kg		BI(76, 0.545) s	Bola de 10 g
	BI(8, 0.617) s	Peça de 4 kg	Selar/Encaixotar	P(53.7) s	Bola de 50 g
Enformar	P(1.23) s	Peça de 0,8 kg		P(74.1) s	Peça de 4 kg
	P(1.2) s	Peça de 0,5 kg		N(41,5.1) s	Peça de 0,8 kg
Resfriar	12 horas	Todas as entidades		P(58.2) s	Peça de 0,5 kg
	19200 s	Bola de 10 g		P(52.2) s	Rolo de 0,5 kg
	900 s	Bola de 50 g			
Salgar	900 s	Peça de 4 kg			
	840 s	Peça de 0,8 kg			
	1200 s	Peça de 0,5 kg			
	2300 s	Rolo de 0,5 kg			

As distribuições de probabilidade que se aplicam às amostras dos dados coletados foram: Triangular, Normal, Binomial e Poisson. A distribuição Triangular foi considerada para os locais em batelada coagular e secar. A distribuição Triangular é descrita em termos de valor mínimo, moda e valor máximo. A distribuição Normal é descrita em termos da média e desvio padrão nesta ordem. A distribuição Binomial é descrita em termos de valor e probabilidade. A distribuição de Poisson é descrita em termos de quantidade e sequência.

## 4.2.2 Implementação da simulação

O modelo computacional foi desenvolvido no *software* Promodel ® em sua versão 7.1. A escolha do *software* se deu em função deste apresentar elementos capazes de desenvolver a simulação preterida.

Inicialmente foi desenvolvida uma biblioteca gráfica com ícones de laticínios, a partir do desenvolvimento de um trabalho de conclusão de curso por um aluno do curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Itajubá. A Figura 4.6 apresenta a biblioteca gráfica desenvolvida para esse modelo.

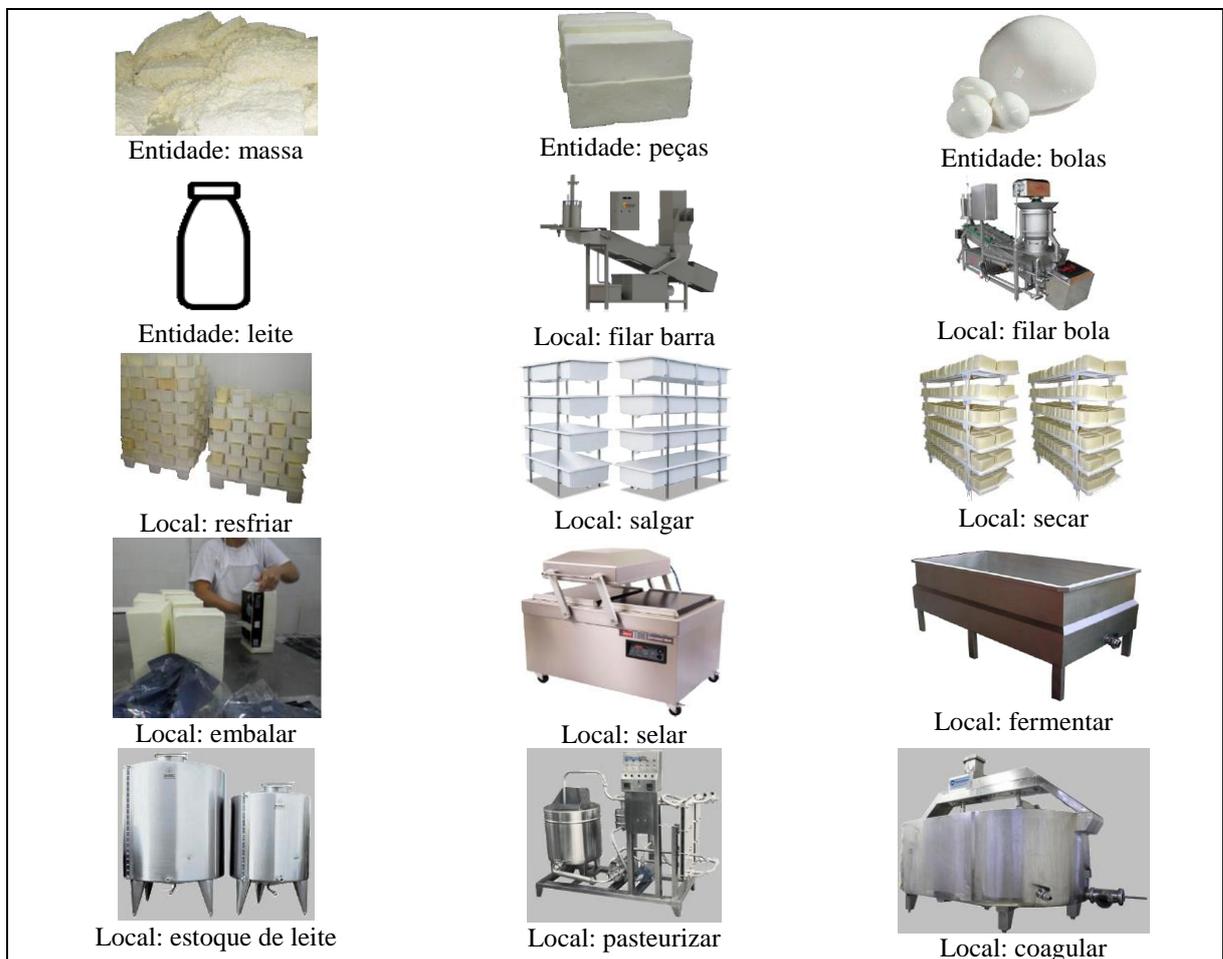


Figura 4.6 - Biblioteca gráfica desenvolvida para o Promodel ®

O desenvolvimento da biblioteca gráfica consistiu em inserir figuras que representassem as entidades leite, massa, peças e bolas de queijos, além dos locais como pasteurizar, coagular, fermentar, máquinas para filar bola e peça, tanques para salgar, prateleiras para secar os queijos, *pallets* para resfriar, silos para estoque de leite, mesa para embalar e máquinas para selar os produtos acabados.

A unidade escolhida foi em horas e a distância em metros. A Tabela 4.11 apresenta os locais desenvolvidos, suas capacidades, unidades e paradas.

Tabela 4.11 - Locais construídos no modelo computacional atual

Nome	Capacidade	Unidade	Paradas
Estoque de leite	16.000 litros	1	Nenhuma
Pasteurizar	50 litros	1	Relógio (Freq.: 5,4/ Primeira vez: 5,4/Lógica: DISPLAY “O pasteurizador está parado para manutenção corretiva”
Coagular1	3.500 litros	1	Nenhuma
Coagular2	3.500 litros	1	Nenhuma
Fermentar1	500kg	1	Nenhuma
Fermentar2	500kg	1	Nenhuma
Filar_barra	800kg	1	Relógio (Freq.: 6,4/ Primeira vez: 6,4/Lógica: DISPLAY “A filadeira peça está parada para manutenção corretiva”
Filar_bola	600kg	1	Nenhuma
Enformar	40 unidades	1	Nenhuma
Resfriar	Infinito	1	Nenhuma
Salgar	1579 kg	1	Nenhuma
Secar	1579kg	1	Nenhuma
Embalar	40 unidades		Nenhuma
Selar	4 unidades	1	Relógio (Freq.: 5,4/ Primeira vez: 5,4/Lógica: DISPLAY “A seladora está parada para manutenção corretiva”
Expedição	150.000 unid.	1	Nenhuma
Estoque_congelado	150.000 unid.	1	Nenhuma

As capacidades dos locais representam as capacidades reais do sistema real. As paradas atribuídas aos locais pasteurizar, filar peça e selar, correspondem à taxa de confiabilidade descrita no MFV atual da Figura 4.3. Nesse caso, 80% (5,4 horas) para o pasteurizador e a seladora, e 85% (6,4 horas) para a máquina de filar peça.

A Figura 4.7 apresenta um recorte da tela do Promodel ® onde consta o modelo computacional atual construído. Foram desenvolvidas imagens de fundo para nomear os locais, contadores para monitorar os locais de natureza discretas e medidor de volume para monitorar os locais de natureza contínua. O leiaute apresentado corresponde ao leiaute do sistema real.

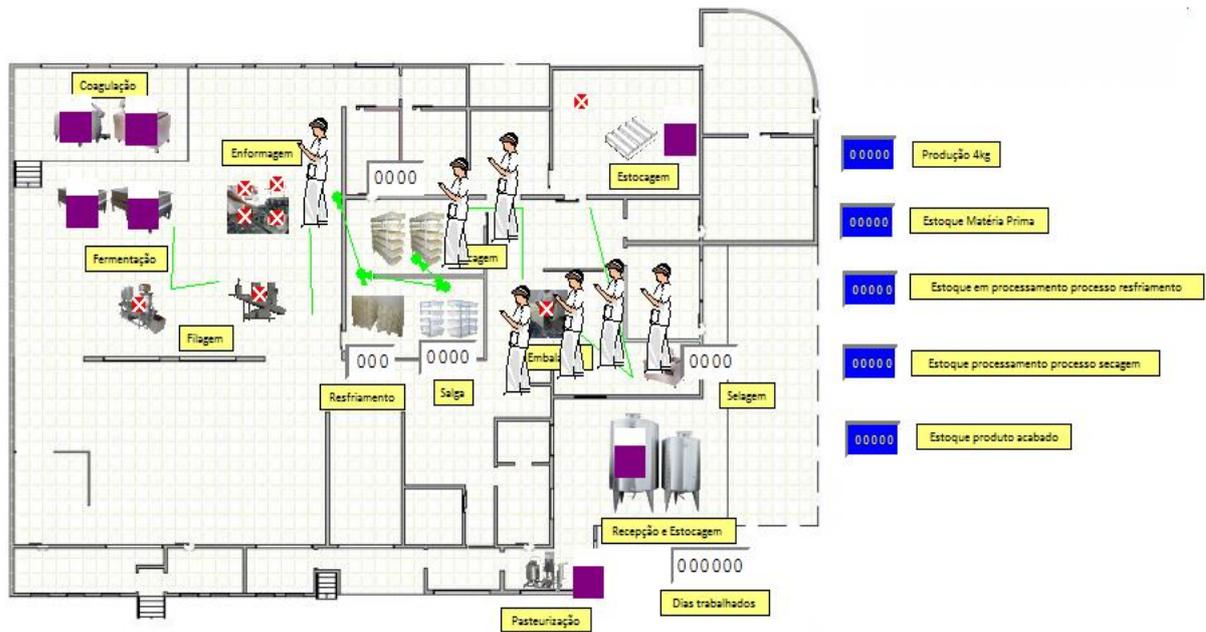


Figura 4.7 – Modelo computacional atual desenvolvido no Promodel ®

Foram construídas nove entidades: leite, massa, peça de 4 kg, peça de 800g, peça de 500g, rolo de 500g, bola de 10g, bola 50 de g e congelado. Foi limitado o número de entidades desenvolvidas para não sobrecarregar o modelo, dessa forma, as entidades leite pasteurizado e massa fermentada não foram construídas. Já a entidade tipo congelado difere o estoque de produto acabado congelado do estoque de queijo da expedição.

Foram desenvolvidas cinco redes de caminho. Três redes de caminho (que constam de imagens dos operadores) representam os locais de atividades manuais (enformar, embalar e selar). As outras duas redes de caminho (sem imagem de operador) representam os locais cujas operações de transporte são realizadas por operadores (fermentar, resfriar, salgar e secar). A Tabela 4.12 apresenta a construção das redes de caminho.

Tabela 4.12 – Redes de caminho construídas no modelo computacional atual

Nome da rede	Caminho	Interfaces	Nós
Rede_1	Da fermentação para a filagem	Fermentar_1, Fermentar_2, Filar_peça, Filar_bola	3
Rede_2	Da filagem para a enformagem	Filar_peça e Enformar	2
Rede_3	Da enformagem para o resfriamento, salga e secagem	Enformar, Resfriar, Salgar e Secar	4
Rede_4	Da secagem para a embalagem	Secar e Embalar	2
Rede_5	Da embalagem para a selagem e para a expedição	Embalar, Selar e Expedição	3

Foram criados oito operadores (Operadores 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13 e 14). Ao operador 5 foi atribuída a rede de caminho 2, na qual executa a operação de enformar. Aos

operadores 6 e 7 foram atribuídas as redes de caminho 1 e 3, que executam as operações de transporte dos locais fermentar, enformar, resfriar e salgar.

Foi atribuída a rede de caminho 4 aos operadores 9, 10, 11 e 12, que efetua o transporte da etapa secar e a atividades de embalar. Foi atribuída a rede de caminho 5 aos operadores 13 e 14, que executam os transporte da atividade embalar e a atividade de selar.

Foram criadas três chegadas, de forma a representar fielmente o MFV atual da Figura 4.3. A Tabela 4.13 exemplifica as chegadas do modelo.

Tabela 4.13 – Chegadas do modelo computacional atual

Entidade	Local	Quantidade	Primeira vez	Ocorrência	Frequência
Leite	Estoque_leite	11056 litros	01/08/2014	Infinita	24h
Congelado	Estoque_congelado	62.975kg	01/08/2014	1	
Peça 4kg	Expedição	26.688kg	01/08/2014	1	

De acordo com a Tabela 4.13 a entidade leite chegará ao local estoque\_leite diariamente a cada 24 horas. As entidades de congelado e peça de 4 kg chegarão apenas uma vez aos locais estoque\_congelado e expedição respectivamente no primeiro dia da simulação. A quantidade de chegada desses locais equivale ao estoque apresentado no MFV atual da Figura 4.4. Foram desenvolvidas dezoito variáveis. Essas podem ser visualizadas na Tabela 4.14.

Tabelas 4.14 – Variáveis do modelo computacional atual

Ícone	Nome	Tipo	Valor inicial	Objetivo
Não	vCapSalga	Real	11579	Programar o local salgar
Sim	VDia	Inteiro	0	Monitorar os dias corridos da simulação
Sim	Produção_final_4kg	Inteiro	0	Monitora o total produzido
Não	Produção_final_800g	Inteiro	0	Monitora o total produzido
Não	Produção_final_rolô	Inteiro	0	Monitora o total produzido
Não	Produção_final_500g	Inteiro	0	Monitora o total produzido
Não	Produção_final_bola10g	Inteiro	0	Monitora o total produzido
Não	Produção_final_bola50g	Inteiro	0	Monitora o total produzido
Sim	Estoque_materia_prima	Inteiro	0	Monitora o estoque de leite
Sim	Estoque_processo_salga	Inteiro	0	Monitora o estoque na salga
Sim	Estoque_processo_resfriamento	Inteiro	0	Monitora o estoque no resfriamento
Sim	Estoque_expedição	Inteiro	0	Monitora do estoque na expedição
Não	Tempo_leite	Inteiro	0	Monitora o tempo da entidade leite no sistema
Não	Tempo_massa	Inteiro	0	Monitora o tempo da entidade leite no sistema
Não	Tempo_peça4kg	Inteiro	0	Monitora o tempo da entidade leite no sistema
Não	Tempo de agregação de valor	Inteiro	0	Utilizado na lógica de finalização
Não	Tempo de não agregação de valor	Inteiro	0	Utilizado na lógica de finalização
Não	Lead time	Inteiro	0	Utilizado na lógica de finalização

As variáveis que constam o termo “Sim” para o elemento ícone ficaram visíveis no *layout* do modelo computacional. As demais variáveis serviram para controle interno do modelo. A variável “vCadSalga” é do tipo real, o que significa que essa variável terá seu valor real retornado em alguma lógica de programação do modelo. Essa lógica serviu para monitorar a capacidade do tanque de salga.

Foi desenvolvida uma sub-rotina denominada “SubDia”, cuja lógica consiste “While 1=1 do {vDia = Clock(day)+1Wait 4 h}”. A sub-rotina definida utiliza a variável interna “vDia”. Dessa maneira, o modelo está programado para acrescentar um dia na variável “vDia” quando o relógio mudar de dia (ultrapassar das 23h59min) e acrescentar mais 4 horas, que coincide com o início do turno da pasteurização.

Essa sub-rotina somente funciona quando ativada na lógica de inicialização. Para isso, foi descrito o comando “Activate SubDia()” no ícone lógica de inicialização do elemento informações gerais.

Foram desenvolvidos três turnos. O primeiro turno refere-se aos locais pasteurizar, coagular e fermentar. Tem início às 04h00min e término às 12h20min. O segundo turno refere-se aos funcionários e aos locais filar, enformar, salgar embalar, e selar. Tem início às

07h00min e término às 15h20min. O terceiro turno refere-se aos locais resfriar, secar e estoque\_leite, que operam 24 horas por dia. A lógica de programação do modelo está contida no Anexo B dessa dissertação.

Foi desenvolvida uma lógica de finalização para monitorar os critérios tempo de agregação de valor, tempo de não agregação de valor e *lead time*. O cálculo do tempo de agregação de valor consiste no somatório dos tempos monitorados pelas entidades \_leite, Tempo\_massa e Tempo\_peca4kg.

(4.9)

$$TAV = \text{Tempo\_leite} + \text{Tempo\_massa} + \text{Tempo\_peca4kg}$$

O tempo de não agregação de valor consiste no somatório dos estoques representados pelas seguintes variáveis: Estoqueprodutoacabado, Producao\_final\_4kg, Producao\_final\_peça500g, Producao\_final\_peça800g, Producao\_final\_rola500g, Producao\_final\_bola10g, Producao\_final\_bola50g, Estoqueprocessamentosecagem, Estoqueprocessoresfriamento, Estoquemateriaprimeira, que foram convertidos em dias.

(4.10)

$$\begin{aligned} \text{Tempo de não agregação de valor} = & ((\text{Estoqueprodutoacabado})/944) + (((\text{Producao\_final\_4kg}) + \\ & (\text{Producao\_final\_peça500g}) + (\text{Producao\_final\_peça800g}) + (\text{Producao\_final\_rola500g}) + \\ & (\text{Producao\_final\_bola10g}) + (\text{Producao\_final\_bola50g}))/944) + ((\text{Estoqueprocessamentosecagem})/944) + \\ & ((\text{Estoqueprocessoresfriamento})/944) + (\text{Estoquemateriaprimeira} / 6608) \end{aligned}$$

O *lead time* foi calculado a partir do somatório do tempo de agregação de valor com o tempo de não agregação de valor.

(4.11)

$$\text{Lead time} = \text{tempo de agregação de valor} + \text{tempo de não agregação de valor}$$

O modelo foi desenvolvido primeiramente em três etapas. A primeira etapa considerou os locais pasteurizar, coagular, fermentar, filar peça, filar bola e enformar. Na segunda etapa foram inseridos os locais de resfriar, salgar e secar. Na terceira etapa foram construído os locais embalar e selar. Em seguida os modelos foram mesclados em uma quarta versão. Até a quarta versão, os modelos foram determinísticos. Na quinta versão, houve a criação das redes de caminho e dos recursos. Na sexta versão, o modelo foi considerado estocástico.

Foram monitoradas duas informações de saída do modelo: total de peças de 4 kg produzidas e *lead time* do processo. As peças de 4 kg foram escolhidas para serem monitoradas, pois são o item de maior demanda e são fabricados diariamente.

O modelo computacional atual foi verificado de duas formas diferentes: acompanhamento visual da utilização dos locais e monitoramento dos estoques de matéria-prima, de produtos em processamento e produtos acabados.

O modelo foi construído inicialmente determinístico para facilitar a sua verificação. Em seguida os tempos determinísticos de processo foram modificados para tempos estocásticos, seguindo da execução das réplicas. Os elementos “contadores” que determinaram o número de produtos em cada local de natureza discreta, bem como os elementos “luz de estado de utilização” e o elemento “medidor de volume” dos locais de natureza contínua, auxiliaram na verificação do modelo quando ativado o recurso de animação gráfica.

A segunda forma de verificação do modelo foi à comparação dos estoques de matéria-prima, produtos em processo (nos locais resfriar e secar) e produtos acabados com os desperdícios do MFV atual da Figura 4.3.

O modelo computacional foi validado de duas formas distintas. A primeira consistiu em comparar *lead time* do MFV atual da Figura 4.3 com o *lead time* gerado a partir da lógica de finalização do modelo computacional do estado atual.

O *lead time* do MFV atual apresentou um valor de 103,7 dias. O *lead time* do modelo atual simulado apresentou com 85% de confiabilidade em um intervalo de {100,02:104,58}. Na medida em que o *lead time* do MFV atual (parâmetro discreto) está contido no *lead time* do modelo atual simulado (parâmetro estocástico), o modelo computacional foi considerado válido.

A segunda forma de validação do modelo foi a partir comparação dos dados de produção de peças de queijo gerados pelo modelo computacional do estado atual com os dados de produção reais do sistema. Os dados reais do sistema considerado foi o total de peças de 4 kg produzidos diariamente ao longo do mês de agosto de 2014, totalizando vinte e cinco resultados.

O modelo computacional do estado atual foi submetido às mesmas condições de contorno do sistema real. O resultado da simulação também considerou o total de entidades de peças de 4 kg. O modelo foi programado para simular o mês de agosto de 2014 gerando os mesmos vinte e cinco resultados de produção. Ainda foi realizado dez réplicas do modelo para cada dia de produção, gerando assim duzentos e cinquenta resultados de produção de peças de

4 kg. As réplicas foram executadas sem o recurso de animação e o tempo total de simulação foi de 15 minutos.

A Tabela 4.15 apresenta os dados reais do sistema e a média diária de produção dos dados simulados. Para realizar a comparação estatística entre os dados reais do sistema e os dados gerados pelo modelo, o conjunto de dados gerado pelo modelo foi reduzido para o mesmo valor (25 dados) que o conjunto de dados reais. Dessa forma, os dados simulados correspondem à média das réplicas diárias de produção geradas pelo modelo.

Tabela 4.15 – Dados reais e simulados do modelo computacional

Total de dados	Produção real (unidades)	Média da produção simulada (unidades)
1	157	217
2	242	201
3	204	214
4	143	193
5	142	206
6	261	214
7	234	203
8	173	206
9	287	209
10	258	213
11	227	216
12	216	203
13	131	205
14	276	219
15	243	227
16	237	214
17	204	219
18	208	215
19	233	204
20	227	209
21	197	206
22	222	210
23	155	197
24	223	210
25	135	203

A validação do modelo computacional foi a partir do uso de técnicas estatísticas conforme esquema apresentado pelos autores Leal *et al.* (2011).

Inicialmente foi verificado se os conjuntos de dados (reais e simulados) são formados por valores discretos ou contínuos. Na medida em que os dois conjuntos de dados representam quantidades de peças produzidas, ambos são constituídos por dados discretos.

Segundo o fluxograma, seria necessário aplicar uma função para transformar os dados discretos em dados contínuos. No entanto, os dois conjuntos apresentam um número de dados

razoáveis e nesse caso, pode-se afirmar que os dados apresentarão um comportamento contínuo, tornando-se desnecessária a conversão dos dados discretos em contínuos.

Em seguida, foi realizado um teste de normalidade para os dados reais e simulados. A Figura 4.8 apresenta os resultados desse teste.

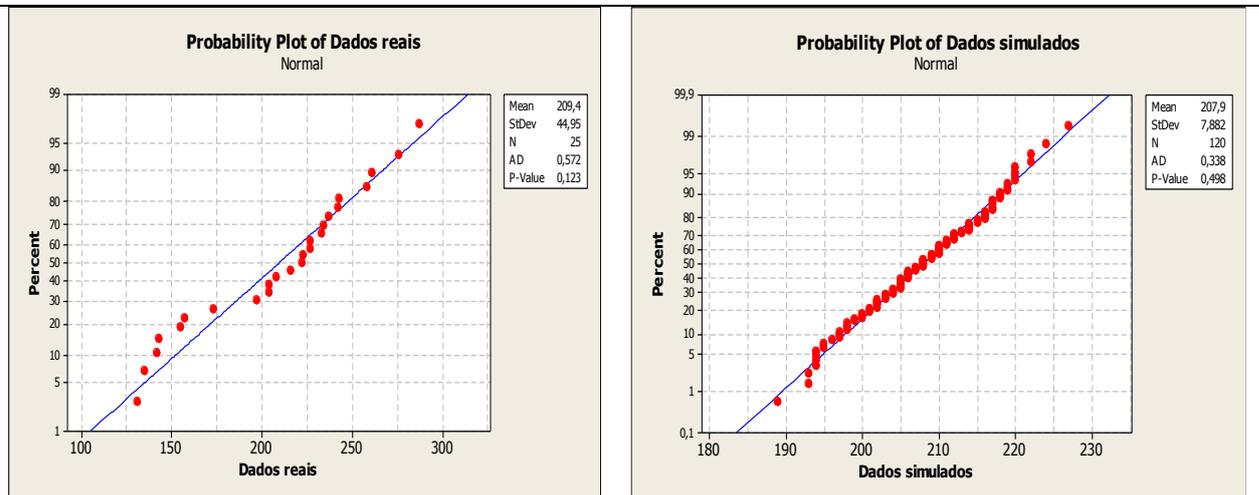


Figura 4.8 – Teste de Normalidade para os dados reais e simulado

Para o teste de normalidade, os *p-values* encontrados foram de 0,123 e 0,498 para os dados reais e simulados respectivamente. Em ambos os casos, como o valor do *p-value* foi maior que o nível de significância 0,05, aceitou-se a hipótese de normalidade. Nesse caso, ambos os conjuntos de dados puderam ser ditos Normais.

Na sequência, foi aplicado o Teste F (2 Variances) que verificou a igualdade da variância entre os conjuntos de dados reais e simulados. A Figura 4.9 apresenta o resultado para esse teste.

Test and CI for Two Variances: Dados reais; Dados simulados					
Distribution of Data	CI for Ratio	CI for Variance Ratio			
Normal	(4,297; 8,086)	(18,468; 65,377)			
Continuous	(4,086; 7,816)	(16,695; 61,094)			
Tests					
Method	DF1	DF2	Statistic	P-Value	
F Test (normal)	24	119	32,52	0,000	
Levene's Test (any continuous)	1	143	104,21	0,000	

Figura 4.9 – Resultado do teste 2 Variances para os dados reais e simulados

Para esse teste, o *p-value* foi de 0,000, ou seja, menor que o nível de significância 0,05. Nesse caso, se rejeitou a hipótese de que as variâncias são iguais.

Em seguida, o Teste T (2 *Sample t*) comparou as médias entre o conjunto de dados reais e simulado. Uma vez que o Teste F demonstrou que a variância entre os dados reais e simulados são diferentes, essa informação foi levada em consideração no momento de calcular o Teste T. A Figura 4.10 contém o resultado extraído do Minitab ® para o Teste 2 *Sample t*.

<b>Two-Sample T-Test and CI: Dados reais; Dados simulados</b>				
Two-sample T for Dados reais vs Dados simulados				
	N	Mean	StDev	SE Mean
Dados reais	25	209,4	44,9	9,0
Dados simulados	120	207,90	7,88	0,72
Difference = mu (Dados reais) - mu (Dados simulados)				
Estimate for difference: 1,50				
95% CI for difference: (-7,09; 10,09)				
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 0,35 P-Value = 0,730 DF = 143				
Both use Pooled StDev = 19,7670				

Figura 4.10 – Resultado do teste 2 *Sample t* para os dados reais e simulados

Neste teste, o *p-value* foi de 0,730, ou seja, maior que o nível de significância 0,05. Dessa forma, aceitou-se a hipótese de que as médias são iguais. Sendo assim, o modelo computacional atual simulado foi considerado válido.

O modelo computacional validado corresponde ao modelo operacional do estado atual. Esse modelo operacional será a base para a construção do modelo computacional do estado futuro, a partir das melhorias pré-definidas na construção do mapa do fluxo de valor do estado futuro.

### 4.2.3 Análise da simulação

A construção do modelo conceitual do estado futuro envolveu inicialmente a elaboração do Mapa do Fluxo de Valor do estado futuro. Essa modelagem gerou um estado futuro que não considera a variabilidade e a aleatoriedade de um sistema real.

O MFV futuro foi então convertido em linguagem de simulação a partir da modelagem IDEF-SIM, de forma a orientar a construção do modelo computacional futuro.

A construção do MFV futuro consistiu em responder na ordem aos questionamentos e diretrizes sugeridas por Rother e Shook (2008). Correspondem a um conjunto de oito questões-chave elaboradas pelos autores.

#### **Primeira Pergunta: Qual é o *takt time* que alinhará a produção à demanda?**

O *takt time* foi calculado dividindo-se o tempo de trabalho disponível por turno de 25.500 segundos pela demanda total por turno de 944 kg/turno, resultando em um *takt time* de 27 s/kg. Dessa forma, para atender à demanda sem gerar o principal desperdício da superprodução, a empresa precisa fabricar 1 kg de queijo a cada 27 segundos.

#### **Segunda Pergunta: A produção será para um supermercado de produtos acabados ou para a expedição?**

Na medida em que a demanda sofre ligeira oscilação ao longo do ano e que os clientes confirmam seus pedidos horas antes da entrega, optou-se por produzir para um supermercado de produtos acabados.

#### **Terceira pergunta: Onde podem ser introduzidos fluxos contínuos?**

A construção dos fluxos contínuos teve início com a construção do Gráfico de Balanceamento de Operador (GBO) do estado atual, que consiste na descrição da distribuição de trabalho entre os operadores em relação ao *takt time*. Seu objetivo consiste em integrar os operadores em termos de elementos de trabalho. A Figura 4.11 apresenta o GBO do estado atual.

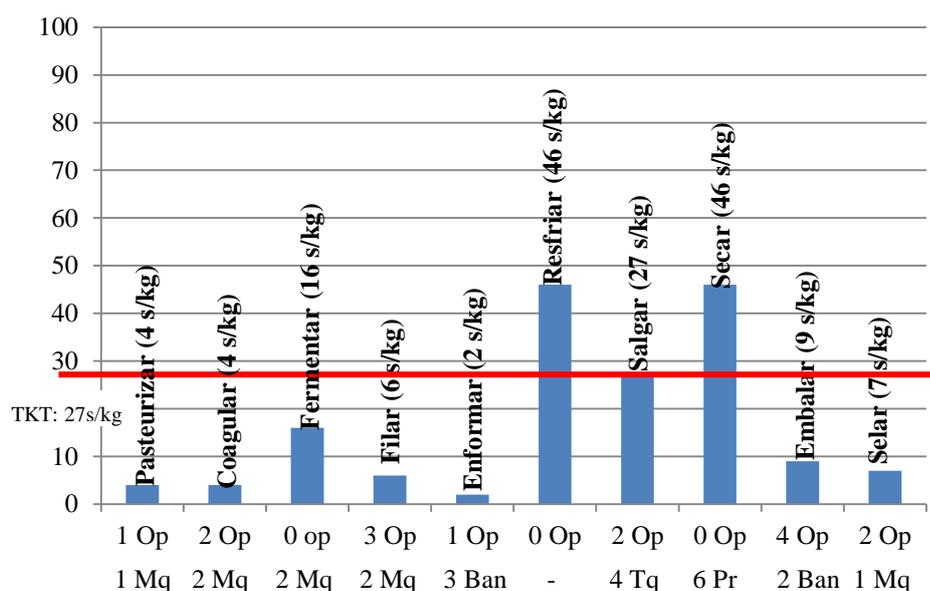


Figura 4.11 - Gráfico de balanceamento do operador do estado atual

Na Figura 4.11, o eixo X representa o número de operadores (Op – operadores) e a quantidade de estações de trabalho necessárias (Mq – máquinas, Ban – bancadas, Tq – tanques) para o processo descrito. O eixo Y representa o tempo em segundos gasto para a execução de casa operação. O *takt time* está representado pela linha horizontal vermelha. A altura da caixa na coluna representa o tempo de ciclo de cada processo nomeado.

Inicialmente, identificou-se que os processos que possuem tempo de ciclo abaixo do *takt time* (27 s/kg) são: pasteurizar (T/C de 4 s/kg), coagular (T/C de 4 s/kg), fermentar (T/C de 16 s/kg), filar (T/C de 5 s/kg), enformar (T/C de 2 s/kg), embalar (T/C de 9 s/kg) e selar (T/C de 7 s/kg).

O processo salgar possui tempo de ciclo igual ao *takt time*, ou seja, 27 s/kg. Os processos resfriar e secar possuem os mesmos tempos de ciclo (T/C de 46 s/kg) e são maiores que o *takt time*.

Foi possível visualizar dois fluxos contínuos. O primeiro fluxo contínuo abrangerá os processos pasteurizar, coagular, fermentar, filar e enformar. Contudo, por razões que serão explicadas brevemente, será necessário estabelecer um supermercado na entrada do processo filar, o que faz com que esse primeiro fluxo contínuo seja composto somente pelos processos pasteurizar, coagular e fermentar.

O segundo fluxo contínuo abrangerá o restante dos processos, ou seja, filar, resfriar, salgar, secar, embalar e selar. Nesse ponto, é importante um esclarecimento: observando-se atentamente a Figura 4.11, conclui-se, acertadamente, que os processos resfriar e secar não poderia fazer parte do fluxo contínuo 02, devido seus tempos de ciclo ser muito superiores ao

*takt time* (27 s/kg). Contudo, como será explicado logo adiante, serão introduzidas mudanças tecnológicas nestes processos, de tal modo que seus tempos de ciclo sejam reduzidos para 8 e 2 s/kg, respectivamente, o que daí sim, os capacitarão a fazer parte deste segundo fluxo contínuo.

Idealmente a *Bufalean* deveria captar somente o volume de leite necessário para atender a sua demanda. No entanto, isso não é possível devido problema associado à variação da oferta de leite. No período de safra a empresa precisa absorver todo o leite produzido pelos seus produtores, de forma que no período de entressafra estes se mantenham fiéis à empresa e continuem com o abastecimento, mesmo que em pequenas quantidades.

No estado atual, a *Bufalean* processa o leite excedente em mozzarella peça de 4 kg, mas, no entanto, tal medida leva ao pior dos desperdícios que é a superprodução, a qual consequentemente aumenta o *lead time* do processo e eleva a taxa de refugo para 6% da produção, diminuindo a rentabilidade da empresa.

Para reduzir o estoque de produtos acabados, uma alternativa seria a estocagem da matéria-prima leite ou do produto em processamento em algum ponto do processo. Proceder à estocagem da matéria-prima é inviável, uma vez que o leite possui baixa durabilidade.

Nesse caso, optou-se por estocar em câmara fria o produto em processamento (massa fermentada) em algum ponto do processo (câmara fria de congelamento), mas em um estágio de transformação que permitisse à empresa converter tal produto em processamento em diferentes produtos acabados.

Contudo, para que esse armazenamento fosse possível, foi necessário introduzir o processo de descongelamento antes do processo de filar, tal como apresentado na Figura 4.19 (Mapa do Fluxo de Valor do Estado Futuro).

A partir do processo de filagem os produtos serão moldados em seu formato, peso final e serão tratados de forma discreta ao longo do processo. Essa informação será essencial quando da definição do processo puxador, a ser feita em resposta à quinta questão-chave. Dessa forma, o material e o processo ideal para a estocagem consistem na massa fermentada após o processo fermentação. Sendo assim, o estoque deixa de ser de produtos acabados e passa a ser de massa fermentada congelada.

No estado futuro, nos períodos de safra do leite, toda a matéria-prima excedente deverá ser processada em massa fermentada e seguir para o processo de congelamento em câmara fria. Tal procedimento ocorrerá dentro do conceito da produção empurrada, o que justifica a utilização, mesmo no mapa do estado futuro, de triângulos (e não de

supermercados) para a identificação dos estoques de leite e de massa congelada, bem como a utilização de setas listradas (e não de produção puxada) entre os processos.

Na medida em que a oferta de leite diminui ao longo da entressafra, a massa congelada será retirada do estoque na câmara fria e reincorporada ao fluxo a partir do processo de filagem, de tal modo que a demanda continue sendo atendida na entressafra. Porém, a maior vantagem proporcionada a essa decisão não ficará restrita ao período da entressafra, uma vez que como o tempo de atravessamento dos produtos pelo segundo fluxo contínuo é muito pequeno, inferior a um dia, tal decisão possibilitará à empresa responder rapidamente às oscilações de demanda, sem a necessidade de manter grandes estoques de produtos acabados de todos os tipos de produtos que compõem essa família.

Ou seja, ao receber um pedido, será possível à empresa transformar a massa congelada no produto final acabado demandado e colocá-lo em condições de ser expedido ao cliente no mesmo dia ou no dia seguinte. Esses benefícios serão mais bem compreendidos quando for respondida a sexta e sétima questão-chave, que tratam dos nivelamentos de mix e de volume da produção no processo puxador.

Resumidamente, no MFV futuro os processos serão formados pelo fluxo contínuo 01 (pasteurizar, coagular e fermentar) que operará sob o sistema empurrado (no período entressafra) e pelo o fluxo contínuo 02 (filar, resfriar, salgar, secar, embalar e selar).

Dessa forma, o primeiro fluxo contínuo terá um tempo de ciclo de  $24s/kg$  (somatório do tempo de ciclo dos processos pasteurizar, coagular e fermentar), ou seja, abaixo do *takt time* ( $27 s/kg$ ). A massa será fermentada até determinado ponto de pH (que não é o específico da filagem), acondicionada em sacos plástico de 20 kg e transferidas para a câmara de congelamento. O processo de congelamento será representado pelo estoque de massa congelada e não possuirá tempo de ciclo.

O processo de descongelamento deverá ter um tempo de agregação de valor de 3 horas, equivalente a um tempo de ciclo de  $12 s/kg$  (3 horas equivalem a 10.800 segundos, que dividido pela demanda de 944 kg/turno, gera um tempo de ciclo de  $12 s/kg$ ). A massa congelada deverá ser retirada da câmara fria de congelamento três horas antes da filagem e mergulhada em soro contendo bactérias lácticas a uma temperatura de  $39^{\circ}C$ . Nessas condições, a massa finaliza seu processo de fermentação e atinge o pH ideal de filagem. As informações relativas ao tempo de ciclo para o processo descongelar foram obtidas através de pesquisas na área de tecnologias de processamento de mozzarella.

Ao unir os processos que contemplarão o fluxo contínuo 02, totalizou-se um tempo de ciclo de 143 s/kg, ou seja, muito acima do *takt time* de 27 s/kg. Para que o segundo fluxo contínuo funcione, algumas melhorias de processo precisarão ser consideradas.

Primeiramente será necessária a substituição de seu sistema de filagem de peças e rolos, do sistema de resfriamento, do sistema de salga e do sistema de secagem por um sistema contínuo de fabricação de mozzarella. São essas modificações que explicam porque os processos resfriar e secar, originalmente com tempos de ciclos muito maiores do que o *takt time* (46 contra 27 s/kg) puderam ser inseridos no segundo fluxo contínuo, após a redução dos seus tempos de ciclo para 8 e 2 s/kg, respectivamente.

O sistema contínuo de fabricação possui tecnologia patenteada no Brasil. Trata-se de uma máquina de filagem para peças e rolos com capacidade de 1.000 kg/hora, o que equivale a um tempo de ciclo na filagem de 4 s/kg (3.600 segundos dividido por 1.000 kg). O equipamento executará as mesmas atividades que a máquina atual, ou seja, trituração da massa, filagem e moldagem. Porém, em sua última seção, que consiste na moldagem, as peças são moldadas no formato desejado e, através de um sistema de resfriamento do cabeçote de moldagem, as peças então saem da máquina com formato perfeito, sem a necessidade de enformagem em fôrma plástica. A filadeira de bolas não será modificada.

Após a moldagem, as peças caem em uma via hídrica que contém uma solução ligeiramente salgada à temperatura controlada de 20°C. O sal aumenta a densidade da água e faz com que a peça de queijo flutue no tanque, de forma a ser transportada ao longo da via hídrica. A velocidade de transporte das peças ao longo da via hídrica de resfriamento será variável em função do tamanho e peso do queijo.

No caso das peças de 4 kg, o tempo total de atravessamento da via deverá ser de duas horas. Os queijos menores terão a velocidade de passagem aumentada, visto que resfriam mais rapidamente. Dessa forma, o tempo de ciclo do novo processo de resfriamento será de 8 s/kg, confirmando o que já foi mencionado anteriormente, quando da composição do segundo fluxo contínuo (2 horas equivalem a 7.200 segundos, que dividido por 944 kg/turno de demanda, gera um tempo de ciclo de 8 s/kg).

Ao final da via hídrica de resfriamento, as peças serão transferidas automaticamente para uma segunda via hídrica. Essa segunda via deverá conter solução de salmoura à temperatura de 12°C. A velocidade de transporte das peças ao longo da salmoura, assim como no novo sistema de resfriamento, será variável em função do peso do queijo. No caso da peça de 4 kg, o tempo total para o atravessamento da via hídrica de salga deverá ser de duas horas. Os queijos menores terão a velocidade de passagem aumentada, visto que salgam mais

rapidamente. Da mesma forma que o resfriamento, o novo processo de salga terá um tempo de ciclo de 8 s/kg.

Após a salga os queijos serão transferidos manualmente para uma esteira que os levarão ao processo de secagem. O processo de secagem será por meio de um túnel que sopra ar frio sobre a superfície do queijo, secando-o. Ao final da esteira de secagem, os queijos estarão secos e prontos para a embalagem. O tempo de ciclo da esteira de secagem será de 5 segundos por peça de 4 kg, ou seja, 2 s/kg, confirmando o que já foi mencionado anteriormente, quando da composição do segundo fluxo contínuo.

As informações relativas ao tempo de ciclo do novo processo de resfriamento, salga e secagem foram obtidos através de visita técnica em outras fábricas que possuem a tecnologia anteriormente descrita.

Até esse ponto, as melhorias incorporadas ao processo somam um tempo de ciclo para o fluxo contínuo 02 de 22 s/kg (T/C da filagem de 4 s/kg, T/C do resfriamento e da salga de 8 s/kg cada e T/C da secagem de 2 s/kg). Acrescido os T/C's dos processos de embalagem (T/C 9 s/kg) e selagem (T/C 7 s/kg), o T/C do fluxo contínuo 02 será de 38 s/kg, ou seja, ainda acima do *takt time*. Dessa forma, melhorias precisarão ser executadas nesses dois últimos processos de forma a reduzir o T/C do fluxo contínuo 02.

Sendo o *takt time* 27 s/kg e o T/C do fluxo contínuo 01 de 24 s/kg, as quantidades de operadores necessários nesse fluxo serão dois. Nesse caso, há sobra de um operador. Serão necessários dois operadores para a movimentação das massas entre os processos de congelamento e descongelamento

O controle do sistema de filagem, resfriamento e salga demandarão três operadores. Nesse novo sistema, dois operadores serão responsáveis pela alimentação das máquinas de filagem e um operador será responsável pelas transferências dos produtos da via hídrica de salga para o túnel de secagem. Considerando um total de quinze operadores, sobrarão oito operadores para os processos de embalagem e selagem.

No estado atual, o processo de selagem opera com dois funcionários e uma máquina. A máquina possui dois compartimentos de selagem. Enquanto um funcionário abastece e inicia a selagem de primeiro compartimento da máquina, o segundo funcionário desabastece o segundo compartimento, inspeciona as peças seladas e as encaixota. Quando este termina o encaixotamento, a selagem iniciada pelo primeiro operador no primeiro compartimento já foi completada. Dessa forma, o segundo operador inicia o desabastecimento do primeiro compartimento, enquanto o segundo compartimento está sendo abastecido pelo primeiro operador.

Existe uma segunda máquina de selagem reserva em função da taxa de confiabilidade de 80%. No estado futuro, a máquina reserva de selagem deverá ser incorporada ao processo. Nesse caso, haverá um operador para cada máquina, mais um operador para o encaixotamento. O processo de selagem absorverá três operadores.

Para que o processo de selagem funcione nas condições anteriormente projetadas, melhorias nas máquinas precisam ser executadas. Para eliminar a operação de inspeção da selagem, o conceito sobre automação, que consiste na máquina automatizada com toque humano, precisa ser adaptado. Nesse sentido, dispositivos à prova de erros deverão ser instalados de forma que a própria máquina paralise o processo quando alguma peça não for bem selada. Dessa forma, um único operador fará o abastecimento e desabastecimento de cada máquina.

Nesse mesmo sentido, conceitos sobre a Manutenção Produtiva Total deverão ser implementados de forma a aumentar a taxa de confiabilidade das duas máquinas de selagem para 90%. Após as melhorias previstas no processo de selagem (automação e Manutenção Produtiva Total) e a incorporação da segunda máquina de selagem ao processo juntamente com mais um operador, o T/C do processo selar diminuirá para 4 s/kg.

Finalmente, o processo de embalagem funciona com três operadores a um T/C de 9 s/kg no estado atual. Após a redefinição dos funcionários nos processos anteriores, sobrarão dois operadores, sendo um do processo de coagulação e o segundo do processo de enformagem. Esses operadores poderão ser realocados para o processo de embalagem. Com cinco operadores, o processo terá seu T/C reduzido para 3 s/kg.

Após as melhorias dos processos de embalagem e selagem, o novo T/C do fluxo contínuo 02 será de 29s/kg, ou seja, um pouco acima do valor do *takt time*. Eventualmente a empresa deverá decidir sobre a necessidade de contratação de mais um funcionário para o setor de embalagem, de forma a reduzir ainda mais o T/C desse fluxo e trabalhar com uma margem de segurança no caso de falhas do processo. A segunda opção para a redução do tempo de ciclo desses dois últimos processos (embalagem e selagem) seria a automação do tipo 3 no sistema de embalagem e selagem, através do transporte dos produtos por meio de esteiras e máquinas contínuas de embalagem e selagem.

Além disso, os dois operadores responsáveis pela movimentação das massas fermentadas entre os processos de fermentação, câmara fria de congelamento e filagem não ficarão ocupados integralmente com essas atividades, podendo ser deslocados para o processo de embalagem.

A Figura 4.12 apresenta o GBO do estado futuro e resume os novos tempos de ciclo, as necessidades de funcionários e o total de máquinas.

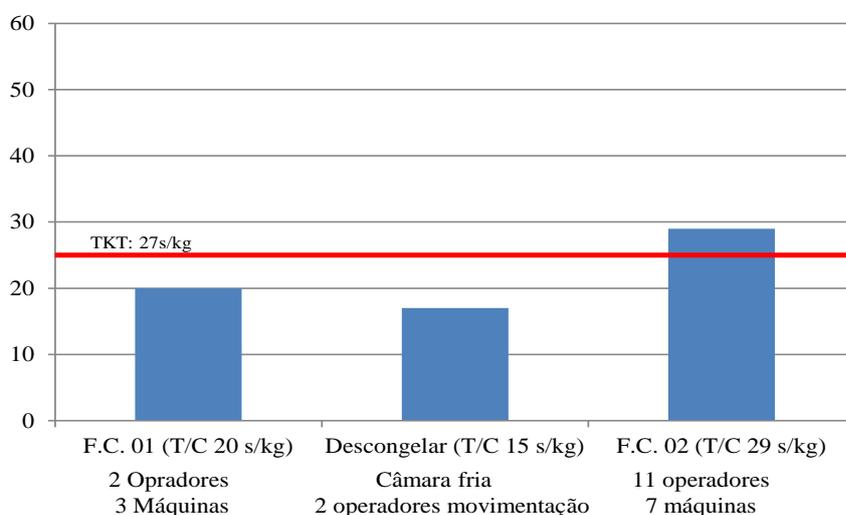


Figura 4.12 - Gráfico balanceamento do operador do estado futuro

A Tabela 4.16 compara os tempos de ciclo dos estados atual e futuro dos processos envolvidos.

Tabela 4.16 – Comparação entre os tempos de ciclo dos estados atual e futuro

Processo	T/C (s/kg) atual	T/C (s/kg) futuro
Pasteurizar	4	4
Coagular	4	4
Fermentar	16	16
Congelar	Não cronometrado	Estoque
Descongelar	Não cronometrado	12
Filar	6	4
Enformar	2	Não haverá esse processo
Resfriar	46	8
Salgar	27	8
Secar	46	2
Embalar	9	3
Selar	7	4

Resumidamente, o fluxo contínuo 01 continuará produzindo e empurrando para a câmara fria de congelamento. A partir desta etapa, o fluxo passará a ser puxado pela demanda. Não foi observada possibilidade de melhoria nos processos pasteurizar, coagular e fermentar em termos de tempo de ciclo. No entanto, no processo pasteurizar, fundamentos da técnica da Manutenção Produtiva Total deverão ser implementados de forma a elevar a taxa de confiabilidade do processo para 90%.

**Quarta pergunta: Onde deverão ser introduzidos sistemas puxados com supermercado?**

Os sistemas puxados deverão ser introduzidos nas saídas daqueles processos que não puderam ser inseridos nos fluxos contínuo estabelecidos anteriormente. O único processo que está fora dos fluxos contínuos 01 e 02 é o processo de descongelamento. Anterior a esse processo existe um estoque de massa congelada fermentada em câmara fria. Posteriormente existe o fluxo contínuo 02.

Dessa forma, deverá ser introduzido um supermercado entre o descongelamento e o fluxo contínuo 02 (filar, resfriar, salgar, secar, embalar e selar).

Antes do processo de descongelamento não será possível estabelecer um supermercado, mas sim um estoque de massa congelada, visto que o fluxo contínuo 01 produz dentro do conceito de sistema empurrado, pelos motivos já explicados anteriormente. Já após o processo de descongelamento será introduzido um supermercado de massa descongelada. O descongelamento deverá ocorrer três horas antes do início da operação do fluxo contínuo 02, mais especificamente do processo de filagem.

O estoque de produto em processamento (massa fermentada na câmara fria de congelamento) deverá ser equivalente ao volume de leite excedente no período de safra. Já o supermercado de massa fermentada descongelada do processo de descongelamento deverá ser o suficiente para um dia de fabricação.

Um outro estoque e um outro supermercado deverão ser previstos ao longo do processo, sendo o estoque de matéria-prima e o supermercado de produtos acabados (já definido pela resposta à segunda questão-chave). O estoque de matéria-prima no estado atual é de 1,7 dias. Este estoque deverá ser mantido no estado futuro em função da política da empresa de captação de todo o volume de leite disponível no período de safra. Ou seja, a matéria-prima, no caso o leite, continuará chegando de modo empurrado, pelos motivos também já explicados.

Já para o supermercado de produtos acabados, em função da confiabilidade das máquinas, da tecnologia de fabricação e da própria variação da oferta de leite, optou-se por manter um estoque de produtos acabados de uma semana, o que será suficiente para atender à demanda, mesmo diante de possíveis variações, como uma boa margem de segurança.

#### **Quinta pergunta: Em que ponto único da cadeia a produção deverá ser programada?**

A produção deverá ser programada no processo filar. Este também será o processo puxador. Conforme explicado anteriormente, a partir do processo filar os produtos são moldados em sua versão final e tratados de forma discreta. Este foi o motivo da escolha desse processo para ser o puxador e o programador.

O gerenciamento da produção ocorrerá por meio dos sistemas *kanbans*. A Figura 4.19 que apresenta o MFV do estado futuro exemplifica a nova forma de gestão da produção.

Serão previstos dois tipos de *kanbans* de produção e um *kanban* de retirada. No final do expediente, o PCP da *Bufalean* enviará ao processo de filagem (puxador e programador) *kanbans* de produção relativos aos produtos finais (peças de 4 kg, de 0,8 kg, de 0,5 kg, rolos de 0,5 kg e bolas de 10 g e de 50 g) nas quantidades demandadas pelos clientes. O cálculo desses *kanbans* será apresentado na sexta questão-chave.

Ao mesmo tempo, enviará um *kanban* de produção para o processo de descongelamento. Esse *kanban* corresponderá à quantidade de massa necessária para produzir todos os produtos, sendo essa quantidade de 944 kg por turno (demanda).

Dessa forma, o processo descongelar iniciará sua operação às 04h00min (juntamente com o fluxo contínuo 01), ou seja, três horas antes do início do processo de filagem. O funcionário responsável pela movimentação das massas irá retirar da câmara fria de congelamento a quantidade de massa especificada no *kanban* de produção e enviará para o descongelamento. O tempo para descongelamento da massa é exatamente três horas.

Após o período de descongelamento, a massa descongelada será enviada para o supermercado localizado após o processo de descongelamento e anterior ao processo de filagem. Dessa forma, às 07h00min o processo de filagem iniciará sua operação. Para produzir conforme programado através dos *kanbans* de produção (enviados pelo PCP no dia anterior), o processo de filagem precisará retirar massa fermentada descongelada desse supermercado.

A ordem para retirada dessa massa fermentada descongelada será via *kanban* de retirada. Ao final do processo de filagem, não haverá massa descongelada nesse supermercado, o que é o ideal, visto que a durabilidade da massa fermentada descongelada é baixa e deverão ser retiradas do congelamento apenas a quantidade necessária para o processo de filagem, não sendo possível o recongelamento da massa.

Ao final das etapas de descongelamento e filagem, os cartões *kanban* de produção utilizados por esses processos são depositados num posto de acumulação de *kanbans*. Já os *kanbans* de retirada retornarão para o processo puxador (filagem).

No final do turno o PCP enviará novamente cartões de *kanban* de produção para as etapas de filagem e descongelamento, programando assim a produção do dia seguinte.

**Sexta pergunta: Como será nivelado o mix de produção no processo puxador?**

O nivelamento do mix de produção no processo puxador ocorrerá a partir da distribuição nivelada dos *kanbans* de produção no processo de filagem. O cartão *kanban* será representado por um cartão de plástico que deverá conter informações sobre o local de produção, código do produto, nome do produto (queijo mozzarella de média umidade), o modelo do produto (peça de 4 kg, peça de 0,8 kg, peça de 0,5 kg, rolo de 0,5 kg, bola de 10 g ou bola de 50 g) e a quantidade de cada produto.

Cada cartão *kanban* irá corresponder a uma determinada quantidade de produto. Nesse caso, na medida em que as peças são transportadas para os clientes em caixas plásticas (embalagem secundária) e cada caixa equivale a 36 kg de produto, então o cartão *kanban* equivalerá a uma caixa de queijo (independente do tipo de produto), ou seja, 36 kg de queijo.

Dessa forma, cada cartão *kanban* ou 36 kg de produto corresponderá a um total de peças diferente por tipo de queijo:

- Peça de 4 kg: 1 *kanban* equivalerá a 1 caixa contendo 9 peças;
- Peça de 0,8 kg: 1 *kanban* equivalerá a 1 caixa contendo 45 peças;
- Peça de 0,5 kg: 1 *kanban* equivalerá a 1 caixa contendo 72 peças;
- Rolo de 0,5 kg: 1 *kanban* equivalerá a 2 caixas com 36 peças cada em cada caixa;
- Bola de 10 g: 1 *kanban* equivalerá a 3 caixas contendo 48 pacotes de 250g cada caixa;
- Bola de 50 g: 1 *kanban* equivalerá a 3 caixas contendo 48 pacotes de 250g cada caixa;

O processo filar deverá nivelar o mix de produção de queijo uniformemente durante o turno e será o único processo a ser programado. Para atender à demanda sem gerar a necessidade de manter estoques de produtos acabados de cada tipo de produto, deve-se produzir toda peça todos os dias (TPT dia), o que implica nas seguintes quantidades de *kanbans*:

- Peça de 4 kg:  $17.592 \text{ kg (demanda mensal/turno)} / 25 \text{ (dias de trabalho no mês)} = 703 \text{ kg/dia} \Rightarrow 703 \text{ (kg/dia)} / 36 \text{ kg (tamanho do kanban)} = 20 \text{ cartões kanbans/dia.}$
- Peça de 0,8 kg:  $1.093 \text{ kg (demanda mensal)} / 25 \text{ (dias de trabalho no mês)} = 44 \text{ kg/dia} \Rightarrow 44 \text{ (kg/dia)} / 36 \text{ kg (tamanho do kanban)} = 2 \text{ cartões kanbans/dia.}$
- Peça de 0,5 kg:  $3.362 \text{ kg (demanda mensal)} / 25 \text{ (dias de trabalho no mês)} = 135 \text{ kg/dia} \Rightarrow 135 \text{ (kg/dia)} / 36 \text{ kg (tamanho do kanban)} = 4 \text{ cartões kanbans/dia.}$

- Rolo de 0,5 kg:  $643 \text{ kg (demanda mensal)} / 25 \text{ (dias de trabalho no mês)} = 26 \text{ kg/dia} \Rightarrow 26 \text{ (kg/dia)} / 36 \text{ kg (tamanho do kanban)} = 1 \text{ cartão kanban/dia.}$
- Bola de 10 g:  $769 \text{ kg (demanda mensal)} / 4 \text{ (semanas no mês)} = 192 \text{ kg/semana} \Rightarrow 192 \text{ (kg/semana)} / 36 \text{ kg (tamanho do kanban)} = 5 \text{ cartão kanban/semana.}$
- Bola de 50 g:  $151 \text{ kg (demanda mensal)} / 4 \text{ (semanas no mês)} = 38 \text{ kg/semana} \Rightarrow 38 \text{ (kg/semana)} / 36 \text{ kg (tamanho do kanban)} = 1 \text{ cartão kanban/semana.}$

Para os queijos tipo peça e rolo, a produção poderá ser toda peça todos os dias. Já para os produtos do tipo bola a produção poderá ser semanal, em função da baixa demanda. Uma situação ideal de nivelamento de mix de produção poderia ocorrer conforme sequência:

- Para os produtos tipo peça e rolo: (5 *kanbans* de peças de 4 kg – 1 *kanban* de peça de 0,8 kg - 1 *kanban* de peça de 0,5 kg – 5 *kanbans* de peças de 4 kg – 1 *kanban* de peça de 0,5 kg – 1 *kanban* de rolos de 0,5 kg - 5 *kanbans* de peças de 4 kg – 1 *kanban* de peças de 0,5 kg - 1 *kanban* de peças de 0,5 kg - 5 *kanbans* de peças de 4 kg - 1 *kanban* peças de 0,5 kg).
- Para os produtos tipo bola: (5 *kanbans* de bolas 10g por semana – 1 *kanban* de bolas de 50g por semana).

No entanto, esse tipo de nivelamento deverá ser evitado em função das vias hídricas de resfriamento e salga do queijo, que precisa regular a velocidade de transporte das peças para adequar cada produto ao seu tempo necessário de resfriamento salga. Dessa forma, a produção deverá iniciar com a peça de 4 kg (que possui um tempo maior de resfriamento e salga), seguida pelas peças de 0,8 kg, pelas peças de 0,5 kg, pelos rolos de 0,5 kg e pelas bolas de 50 g e de 10 g.

- Nivelamento considerado: 20 *kanbans* de peças de 4 kg (por dia) - 2 *kanbans* de peças de 0,8 kg (por dia) - 4 *kanbans* de peças de 0,5 kg (por dia), 1 *kanban* de rolos de 0,5 kg (por dia), 5 *kanbans* de bolas de 10 g (por semana) - 1 *kanban* de bolas de 50g (por semana).

Este nivelamento do mix de produção implicará em *setups* frequentes no processo filar peças. Serão necessários, regularmente, quatro *setups* por dia, dado que serão produzidos quatro produtos diferentes diariamente. Eventualmente, poderão ser necessários cinco ou seis *setups*, dado que uma vez por semana outros dois produtos serão produzidos, seja no mesmo ou em diferentes dias se uma semana.

O *setup* desse processo no estado atual é de 1,1 min. Embora seja um tempo de *setup* baixo, pode-se (deve-se) tentar otimizá-los por meio da aplicação dos princípios do SMED, aumentando assim, a eficiência do processo.

**Sétima pergunta: Como será nivelado o volume de produção no processo puxador?**

O nivelamento do volume de produção no processo puxador será feito a partir do cálculo do incremento *pitch*. O incremento *pitch* consiste na imagem *takt* para o processo programado de filagem. Foi calculado considerando 27 s/kg de *takt time* do processo, multiplicado pela unidade de produção do *kanban* (36 kg que consiste na unidade de transferência), originando o incremento *pitch* de 16 minutos.

O incremento *pitch* ficará disponível no quadro de nivelamento do volume de produção colocado junto ao processo de filagem. Um modelo desse quadro pode ser observado na Figura 4.13, que regulará a filagem das peças e das bolas.

Produto	07:00	07:16	...	12:20	12:36	12:52	13:08	13:24	...	13:56
Peça de 4 kg	32 kg	32 kg		32 kg						
Peça de 0,8 kg					32 kg	32 kg				
Peça de 0,5 kg							32 kg	32 kg		
Rolo de 0,5 kg										32 kg

Figura 4.13 - Quadro nivelamento do volume de produção

O quadro de nivelamento do volume de produção (ou *heijunka box*) da Figura 4.13 consiste na forma de viabilizar a liberação de pequenas e uniformes quantidades de trabalho no processo puxador. O *heijunka box* possui escaninhos para os *kanbans* de cada tipo de produto. Neste sistema, é indicado não somente a quantidade a ser produzida, mas também o tempo que levará para ser produzido, baseado no *takt time*.

De acordo com o *heijunka box*, das 07h00min da manhã até as 12h20min, o processo de filagem deverá produzir todos os vinte *kanbans* de peças de 4 kg. Das 12h20min às 12h52min, deverá produzir todos os dois *kanbans* de peças de 0,8 kg. Das 12h52min às 13h56min, deverá produzir todos os quatro *kanbans* de peças de 0,5 kg. Das 13h56min às 14h12min deverá produzir o *kanban* de rolos de 0,5 kg. A Figura 4.14 apresenta o mapa do fluxo de valor do estado futuro.

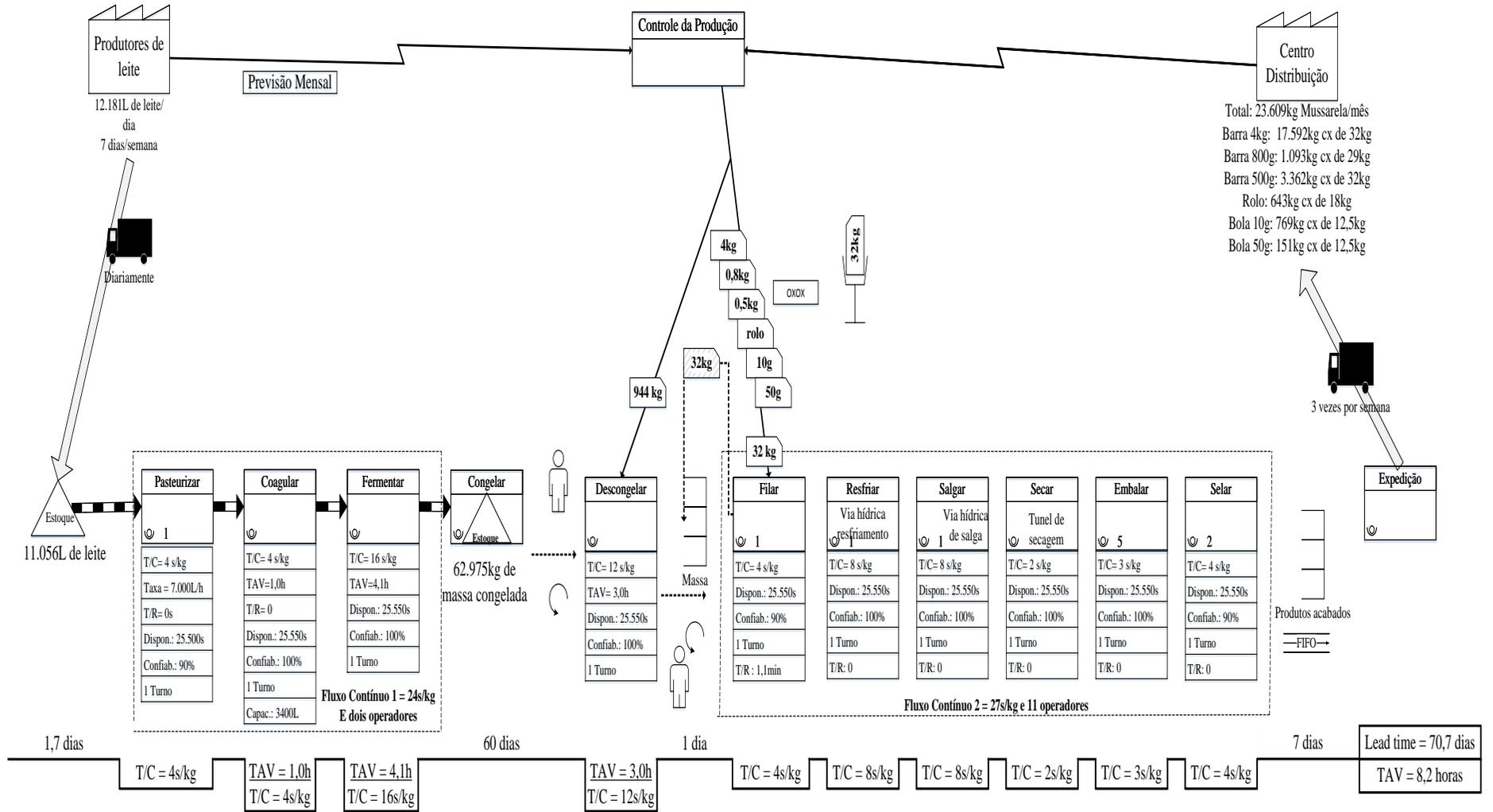


Figura 4.14 – Mapa do Fluxo de Valor do estado futuro

A Tabela 4.17 compara os critérios de produção do MFV atual da Figura 4.3 com o MFV futuro da Figura 4.14.

Tabela 4.17 – Comparação dos critérios de produção do MFV atual e futuro

<b>Informação</b>	<b>Estado Atual</b>	<b>Estado Futuro</b>
<i>Lead Time</i>	103,7 dias	70,7 dias
TAV	4 dias	8,2 horas
Refugo	6%	2%
Espera	3,5 horas	0 hora
Estoque em processamento	4,3 dias	61 dias
Estoque produto acabado	95 dias	6 dias
Estoque de matéria-prima	1,7 dias	1,7 dias

O estado futuro propõe a diminuição do *lead time* de 103,7 dias para 70,7 dias, ou seja, uma redução de 32%. No caso do TAV houve uma redução de 4 dias para 8,2 horas, dada as mudanças tecnológicas inseridas no processo. Contudo, deve-se destacar que o foco não foi reduzir o TAV, e que este só foi reduzido como consequência de soluções propostas para reduzir o *lead time* e, sobretudo, o estoque de produtos acabados, anteriormente de 95 dias, o que era muito crítico para um produto cujo prazo de validade é de 120 dias.

A taxa de refugo tende a diminuir de 6% para 2%, uma vez que não haverá retrabalho com peças congeladas acabadas, conforme acontecia no estado atual. Nesse sentido a *Bufalean* ganha em termos de elasticidade de processo, uma vez que consegue atender rapidamente qualquer variação de pedido por parte dos clientes, além de aumentar a qualidade dos produtos finais, algo que, não é demais reforçar, que só foi possível com a substituição do estoque elevado de produtos acabados por um estoque até menor de produtos em elaboração (massa congelada).

O estoque em processamento aumentará de 4,3 para 61 dias, em função da massa congelada. Já o estoque de matéria-prima deverá permanecer em 1,7 dias.

**Oitava pergunta: Quais são as melhorias de processo necessárias para fazer fluir o fluxo de valor tal como planejado no estado futuro?**

As alterações necessárias em cada processo foram descritas ao longo das respostas às oito questões-chaves apresentadas anteriormente. Resumidamente, as melhorias de processo envolvem:

- Substituição do estoque de produtos acabados pelo estoque de massa congelada fermentada.

- Substituição dos processos de filagem, enformagem, resfriamento, salga e secagem por um processo contínuo de filagem, resfriamento, salga e secagem através de utilização de vias hídricas e túnel de secagem.
- Realocação de dois operadores para o processo de embalagem.
- Inserção de mais uma máquina e um operador no processo de selagem.
- Implementação da metodologia do SMED para redução do tempo de *setup* do processo de filagem.
- Implementação da técnica de Manutenção Produtiva Total no processo de pasteurização e nas máquinas de selagem, de forma a aumentar a confiabilidade do processo.
- Instalação de dispositivos à prova de erro para otimização da mão de obra no processo de selagem.

O MFV futuro foi traduzido em uma linguagem mais adequada à simulação a partir do IDEF-SIM futuro. Este pode ser observado através da Figura 4.15.

Assim como no IDEF-SIM atual na Figura 4.4, o IDEF-SIM futuro da Figura 4.15 foi construído no *software* Visio ®, descrito em termos de entidades, funções, fluxos de entidades, recursos, controles, movimentação, regras de fluxos, fluxo de entrada no sistema, ponto final do sistema e conexão com outra figura.

Ao IDEF-SIM futuro foram acrescentadas as entidades: massa congelada, massa descongelada, *kanban* de bola de 10 g, *kanban* de bola de 50 g, *kanban* de peça de 4 kg, *kanban* de peça de 0,8 kg, *kanban* de peça de 0,5 kg, *kanban* de rolo de 0,5 kg e *kanban* massa descongelada.

Na Figura 4.15, os processos, os estoques e os supermercados foram caracterizados como locais. A simbologia da seta larga representou os transportes executados por operadores entre os locais, sendo esses no total de três transportes, exatamente entre os processos que não foram possíveis estabelecer o fluxo contínuo.

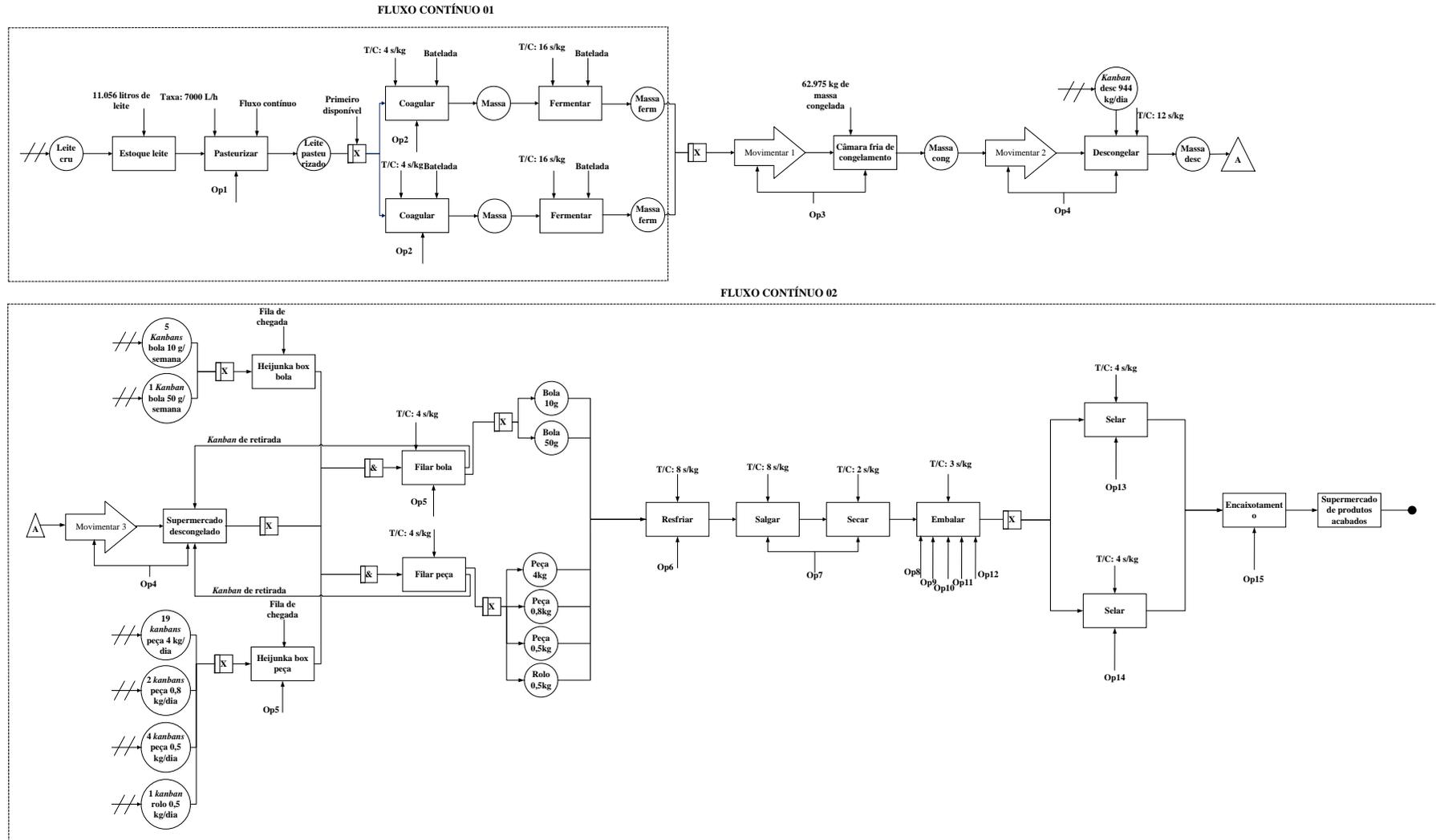


Figura 4.15 - IDEF-SIM do estado futuro

Não foram consideradas alterações nos três primeiros locais (pasteurizar, coagular e fermentar). O pontilhado envolto desses locais indica que operam em fluxo contínuo. O operador 01 será responsável pela pasteurização e o operador 02 ficará responsável por duas queijomatics. Os operadores 03 e 04 farão os transportes das massas entre a fermentação, a câmara fria de congelamento, o local descongelar e o supermercado de massa descongelada.

O operador 04 inicia o transporte de entidade massa congelada localizada no local câmara fria de congelamento para o local descongelar a partir da chegada de uma entidade denominada *kanban* descongelamento no local descongelar.

O *kanban* descongelamento corresponde a um *kanban* de produção que autoriza o local descongelar a produzir determinada quantidade de massa descongelada (nesse caso, 944 kg por dia, ou seja, a demanda).

Com a chegada da entidade massa congelada no local descongelar, este inicia sua operação de três horas. A entidade massa congelada se transforma então em massa descongelada e o operado 04 executa o transporte dessa entidade para o local supermercado descongelado.

Os locais *heijunka box* peça e *heijunka box* bola recebem entidades denominadas *kanbans* (*kanban* de bola de 10 g, *kanban* de bola de 50 g, *kanban* de peça de 4 kg, *kanban* de peça de 0,8 kg, *kanban* de bola de 0,5 kg e *kanban* de rolo de 0,5 kg).

Em seguida, esses *kanbans* seguem para os locais filar peça e filar bola. Porém, para que esses locais iniciem suas operações, uma informação precisa sair desses locais e seguir até o local denominado de supermercado descongelado. Essa informação corresponde a um *kanban* de retirada. Esse *kanban* vai indicar a movimentação da entidade massa descongelada para os locais filar peça e filar bola.

Nesse caso, os locais filar peça e filar bola somente iniciam suas operações se houver entidades de *kanbans* de produção (*kanban* de bola de 10 g, *kanban* de bola de 50 g, *kanban* de peça de 4 kg, *kanban* de peça de 0,8 kg, *kanban* de bola de 0,5 kg ou *kanban* de rolo de 0,5 kg) e entidades de massa descongelada (representando pela lógica &).

O elemento *heinjunka box* é o responsável por regular o mix e o volume de produção. Estes foram caracterizados no IDEF-SIM futuro como locais (*heijunka box* peça e *heijunka box* bola). Estes locais terão comportamento de filas, o que irá garantir o nivelamento do mix da produção. Já a quantidade de *kanbans* que chegarão nesses locais (*heijunka box* peça e *heijunka box* bola) garantirão o nivelamento do volume de produção.

Os locais seguintes (resfriar, salgar, secar, embalar e selar) seguem em fluxo contínuo até o supermercado de produtos acabados. Os dois operadores ainda foram realocados para o

local embalar. Da mesma forma, um operador e uma segunda máquina de selar não foram disponibilizados para o local selar.

O modelo computacional do estado futuro foi construído a partir da modificação do modelo computacional do estado atual validado (modelo operacional do estado atual). Tais modificações ocorreram em três etapas denominadas: alinhamento da produção à demanda, criação dos fluxos contínuos e introdução dos supermercados entre os fluxos contínuos.

Nessa primeira etapa o objetivo do modelo computacional consistiu em eliminar o estoque de produtos acabados congelados e criar o estoque de massa fermentada congelada.

Nessa primeira versão do estado futuro simulado, a massa fermentada após a etapa fermentação seguiu para a câmara de congelamento. Diariamente foram retirados do congelamento 944 kg de massa (equivalente à demanda diária de mozzarella de 944 kg/turno) e movidos para o local descongelamento. Logo após, a massa foi enviada para as máquinas de filagem e seguiu o processo normal sem qualquer alteração.

O modelo computacional sofreu as seguintes modificações:

- Locais: foi criado um local denominado descongelar.
- Entidades: foram criadas duas entidades denominadas massa congelada e massa descongelada.
- Redes de caminho: no estado atual existem cinco redes de caminho. Foram criadas mais duas redes de caminho. A primeira possui origem nos locais fermentar e destino no local congelar. A segunda possui origem no local congelar, passando pelo local descongelar e destino nos locais de filar peça e filar bola.
- Recursos: foram destinados dois operadores para a movimentação da massa congelada entre os locais fermentar, congelar, descongelar e filar.
- Chegadas: no estado atual existe uma chegada de entidade congelada no local estoque congelado, que representa o estoque de peças de 4 kg já embalado. A chegada dessa entidade foi transferida para o local congelar, representando assim, o estoque de massa congelada.
- Processamento: foi alterado o roteamento dos locais fermentar, congelar, descongelar, filar peça e filar bola de forma a respeitar o novo fluxo de fabricação. O local congelar enviará no turno do pasteurizador (início às 04h00min e término 12h20min) a quantidade de massa congelada equivalente à demanda diária de mozzarella (944 kg/turno) para o local descongelar. A entidade ficará nesse local um período de três horas descongelando. A partir das 07h00min, correspondente

ao turno do local de filar, as entidades começarão a ser processado pelo local filar e seguirão o fluxo normal construído no modelo computacional atual. O tempo de descongelamento foi considerado determinístico, uma vez que se trata de um processo futuro e não existem dados disponíveis para considerá-lo estocástico.

A Figura 4.16 apresenta um recorte da tela do *software* e representa o modelo computacional futuro da etapa atendendo à demanda.

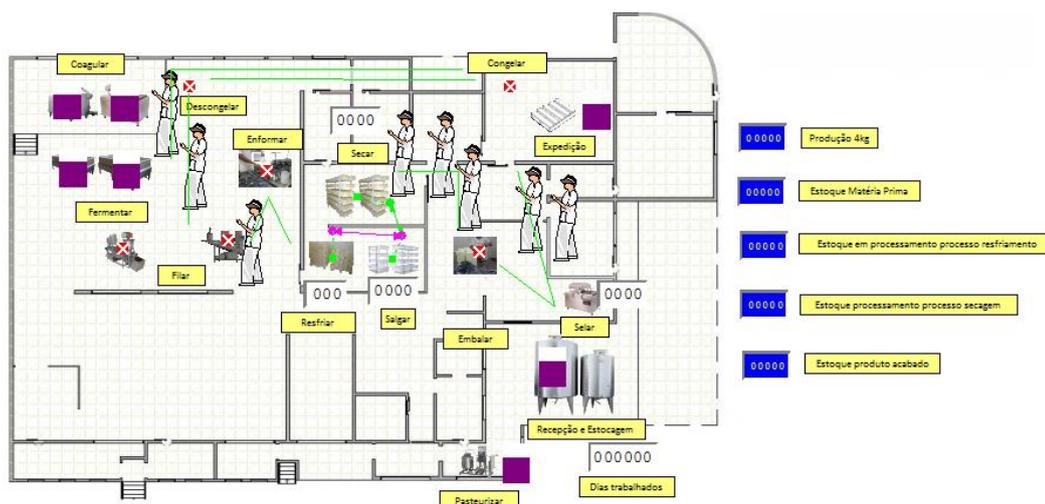


Figura 4.16 - Estado futuro simulado atendendo à demanda

O modelo computacional futuro dessa etapa foi simulado nas mesmas condições que o modelo computacional atual. Os resultados monitorados foram a produção de peças de 4 kg.

Para a variável total produzido de peças de 4 kg, a demanda diária real é de 175 peças/turno de queijos. A saída do modelo nessa etapa gerou com 95% de confiabilidade um resultado situado na faixa entre {143:147} de queijo mozzarella peça de 4 kg.

Ainda foi possível monitorar o *lead time* do processo no estado futuro. No MFV futuro estático da Figura 4.19, o *lead time* é de 70,7 dias. A saída do modelo nessa etapa gerou com 95% de confiabilidade um resultado de *lead time* situado na faixa entre {84,05:84,06} dias.

Nesse caso, observa-se que não foi possível atender à demanda e chegar ao valor de *lead time* ideal. Conclui-se que mesmo sendo retirada do congelamento a quantidade exata de massa fermentada para atender à demanda de 944 kg/turno, as ineficiências dos processos que não foram tratadas nessa versão geraram os resultados em uma faixa fora do ideal.

A segunda etapa do modelo computacional do estado futuro consistiu na criação dos fluxos contínuos. Nessa segunda versão do estado futuro simulado, mantiveram-se as modificações inseridas na etapa anterior (atendimento à demanda) e os locais filar, resfriar,

salgar, secar, embalar e selar foram modificados para fluxo contínuo. Para representar tal lógica, o modelo computacional sofreu as seguintes modificações:

- **Locais:** o local enformar foi retirado do fluxo. Os locais resfriar, salgar e secar foi modificado para local do tipo esteira, de forma a representar a via hídrica desses locais.
- **Layout:** o *layout* foi modificado de forma que os novos locais seguem um uma linha reta. Não serão mais necessárias as duas câmaras frias (resfriamento, salga e secagem), visto que a temperatura do produto será monitorada através da água gelada. Dessa forma, o descongelamento pôde ser realocado para a antiga câmara de secagem e o fluxo como um todo foi melhorado.
- **Redes de caminho:** foram construídas quatro novas redes de caminho, apresentadas na Tabela 4.18.

Tabela 4.18 – Redes de caminho do modelo computacional futuro

Nome da rede	Caminho	Interfaces	Nós
Rede_1	Da fermentação para o congelamento, descongelamento e filagem	Fermentar_1, Fermentar_2, Descongelar, Filar_bola	Câmara de Filar_peça, 4
Rede_2	Da coagulação para a fermentação	Coagular_1, Coagular_2, Fermentar_2	Fermentar_1, 2
Rede_3	Da secagem para a embalagem	Secar e Embalar	2
Rede_4	Da embalagem para a selagem e expedição	Embalar, Selar e Expedição.	3

- **Recursos:** os recursos considerados foram: Operador 2 para a Rede\_2, Operadores 3 e 4 para a Rede\_1, Operadores 10, 11 e 12 para a Rede\_3 e Operadores 13 e 14 para a Rede\_4. Os operadores das etapas coagular, filar, resfriar, salgar e secar não foram considerados no modelo computacional futuro.
- **Processamento:** foi modificado o tempo de processamento dos locais filar peça, resfriar, salgar e secar.

Para o local filar peça, o tempo de agregação de valor por tipo de queijo foi assim considerado: 16 segundos para a entidade peça\_4kg; 2 segundos para a entidade rolo e a entidade peça\_0,5kg; 3 segundos para a peça\_0,8kg (T/C de 4s/kg do novo processo filar peça). Estes foram considerados determinísticos no modelo.

Para os locais resfriar e salgar, o tempo de agregação de valor por tipo de queijo foi assim considerado: 2 horas para a entidade peça\_4kg; 30 minutos para as entidades rolo, peça\_0,5kg e peça\_0,8kg; 15 minutos para as entidades bola 10g e bola 50g. Estes também foram considerados determinísticos.

Para o local secar, todos os tipos de queijo tiveram o tempo de agregação de valor ou de atravessamento no túnel de secagem de 4 minutos.

A Figura 4.17 apresenta um recorte da tela do modelo computacional futuro em sua segunda fase.

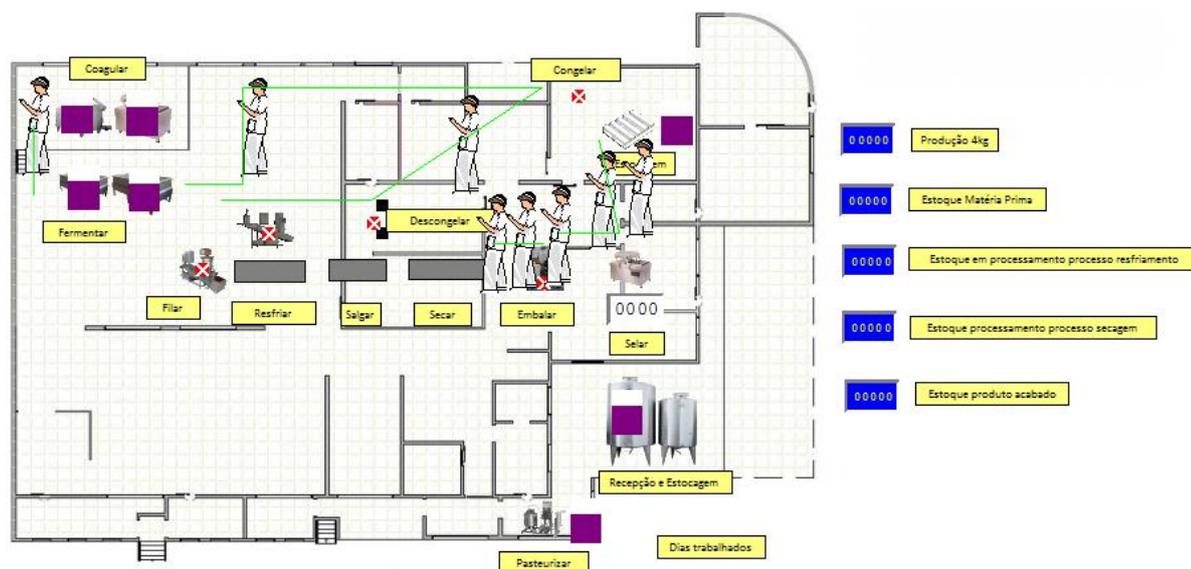


Figura 4.17 - Estado futuro simulado criando fluxo contínuo

O modelo computacional futuro da etapa criando fluxo contínuo foi simulado nas mesmas condições que o modelo computacional atual. Os resultados monitorados foram a produção de peças de 4 kg e o *lead time* do processo.

Para a variável total produzido de peças de 4 kg, a demanda diária real é de 175 peças/turno de queijos. A saída do modelo nessa etapa gerou com 95% de confiabilidade um resultado situado na faixa entre {153:157} de queijo mozzarella peça de 4 kg.

No caso do *lead time*, o MFV futuro estático da Figura 4.14 considera um valor de 70,7 dias. A saída do modelo nessa etapa gerou com 95% de confiabilidade um resultado de *lead time* situado na faixa entre {84,36:84,43} dias.

Nesse caso, observa-se que ainda não foi possível atender à demanda e chegar ao valor de *lead time* ideal. Conclui-se que mesmo sendo retirada do congelamento a quantidade exata de massa fermentada para atender à demanda e criando os fluxos contínuos, as ineficiências dos processos que não foram tratadas nessa versão geraram os resultados em uma faixa fora do ideal.

A terceira etapa do modelo computacional do estado futuro consistiu na inserção dos supermercados entre os fluxos contínuos e o gerenciamento do fluxo de materiais e informações através dos *kanbans*.

Na Figura 4.15 que apresenta o IDEF-SIM futuro, foram considerados dois tipos de supermercados e dois estoques. O primeiro supermercado foi destinado à massa descongelada e o segundo supermercado para os produtos acabados. Quanto aos estoques, foi considerado um estoque de leite e um estoque de massa congelada.

Os estoques (leite e massa congelada) já haviam sido construídos no modelo computacional atual. No modelo computacional do estado futuro, foi criado um local para representar o supermercado de massa descongelada localizado entre os locais descongelar e filar. Para representar o supermercado de produtos acabados, não foram necessárias modificações da lógica de programação. Este já havia sido construído no modelo computacional do estado atual sob o nome de expedição.

As modificações nessa versão do modelo envolveram elementos como locais, entidades, chegadas, redes de caminho, variáveis e processamento.

- Locais: foram criados mais quatro locais: supermercado de massa descongelada, *heijunka box* peça, *heijunka box* bola e zona de união.

O local “zona de união” não foi previsto anteriormente no MFV futuro da Figura 4.14 nem no IDEF-SIM futuro da Figura 4.15. Este local foi necessário apenas no modelo computacional do estado futuro. O objetivo é modelar computacionalmente a lógica de produção dos locais de filar peça e filar bola, que consiste no processo puxador e programador (filagem). O local “zona de união” foi descrito como local invisível e servirá como um local de apoio que antecede os locais de filagem.

A função de cada local será explicada na descrição do processamento.

- Entidades: foram criadas oito entidades para representar os cartões *kanbans*: *kanban\_descongelamento*, *kanban* 4 kg, *kanban* 800 g, *kanban* 500 g, *kanban* rolo, *kanban* bola 10g, *kanban* bola 50g e *kanban\_retirada*.

A entidade *kanban\_retirada* não havia sido prevista no IDEF-SIM do estado futuro da Figura 4.15. No modelo computacional do estado futuro ela foi criada para programar a movimentação do *kanban* de retirada entre os processos filar e supermercado de massa descongelada, conforme apresentado na Figura 4.14 do Mapa do Fluxo de Valor do estado futuro.

No IDEF-SIM do estado futuro, essa lógica foi previamente definida como uma informação, que saía do local filar e seguia para o local supermercado de massa

decongelada. Porém, na construção do modelo computacional do estado futuro, observou-se a necessidade da criação dessa entidade adicional.

- Chegadas: as chegadas programadas podem ser observadas na Tabela 4.19.

Tabela 4.19 – Chegadas do modelo computacional futuro

Entidade	Local	Quantidade	Primeira vez	Ocorrência	Frequência
Leite	Estoque_leite	11056 litros	01/08/2014	Infinita	24h
Congelado	Estoque_congelado	62.975kg	01/08/2014	1	
Kanban_descongelamento	Descongelar	1	01/08/2014	Infinita	24h
Kanban_retirada	Supermercado_massa_congelada	1	01/08/2014	1	
Kanban_4kg	Heijunka_peca	19	01/08/2014	Infinita	24h
Kanban_800g	Heijunka_peca	2	01/08/2014	Infinita	24h
Kanban_500g	Heijunka_peca	4	01/08/2014	Infinita	24h
Kanban_Rolo	Heijunka_peca	1	01/08/2014	Infinita	24h
Kanban_Bola10g	Heijunka_bola	5	01/08/2014	Infinita	168h
Kanban_Bola50g	Heijunka_bola	1	01/08/2014	Infinita	168h

As chegadas das entidades leite e congelado já haviam sido previstas na primeira versão do modelo computacional do estado futuro. As chegadas das entidades *kanban\_descongelamento* no local descongelar e *kanbans* (800 g, 500 g, rolo, bola 10 g e bola 50 g) nos locais de *heijunka* (*heijunka\_peca* e *heijunka\_bola*) serão responsáveis pela programação da produção.

A entidade *kanban\_retirada* chegará apenas uma vez no início do modelo, para dar início ao transporte das entidades “massa descongelada” do local supermercado de massa descongelada para o local filar. Ao longo dos dias da simulação, essa entidade ficará movimentando-se entre esses dois locais (supermercado de massa descongelada e filar).

No IDEF-SIM futuro da Figura 4.15 as quantidades de *kanbans* necessárias foram convertidas em unidades de transferência do produto (caixa com 32 kg de cada produto). No modelo computacional do estado futuro essa conversão foi considerada e a programação seguiu conforme definido no MFV futuro da Figura 4.14.

As quantidades de chegadas de cada *kanban* correspondem à demanda diária convertida em unidade de transferência do *kanban* de produção. A frequência de chegada indica se que a produção será TPT, ou seja, toda peça todos os dias, com exceção dos produtos bola de 10 g e bola de 50 g, cuja produção será semanal.

- Redes de caminho: foi inserido o local supermercado de massa descongelada à Rede de caminho 1.
- Variável: foram criadas duas variáveis. A primeira variável foi denominada de *kanban\_descongelamento*, que serve para representar o *kanban* de produção que

chega ao processo descongelar, conforme descrito na Figura 4.14 que apresenta o MFV do estado futuro. No modelo computacional do estado futuro, objetiva controlar o envio da entidade massa congelada do local congelar para o local descongelar.

A segunda variável foi denominada de *kanban\_retirada* e representa o *kanban* de retirada que sai do processo filar e segue para o supermercado de massa descongelada, conforme descrito na Figura 4.14 que apresenta o MFV do estado futuro. No modelo computacional do estado futuro, serve para controlar o envio da entidade massa descongelada do local denominado de supermercado de massa descongelada para o local zona de união, que antecede aos locais filar.

- Processamento: a programação do modelo computacional futuro pode ser observada no Anexo C dessa dissertação.

A Figura 4.18 apresenta um recorte da tela do Promodel ® do modelo computacional do estado futuro.

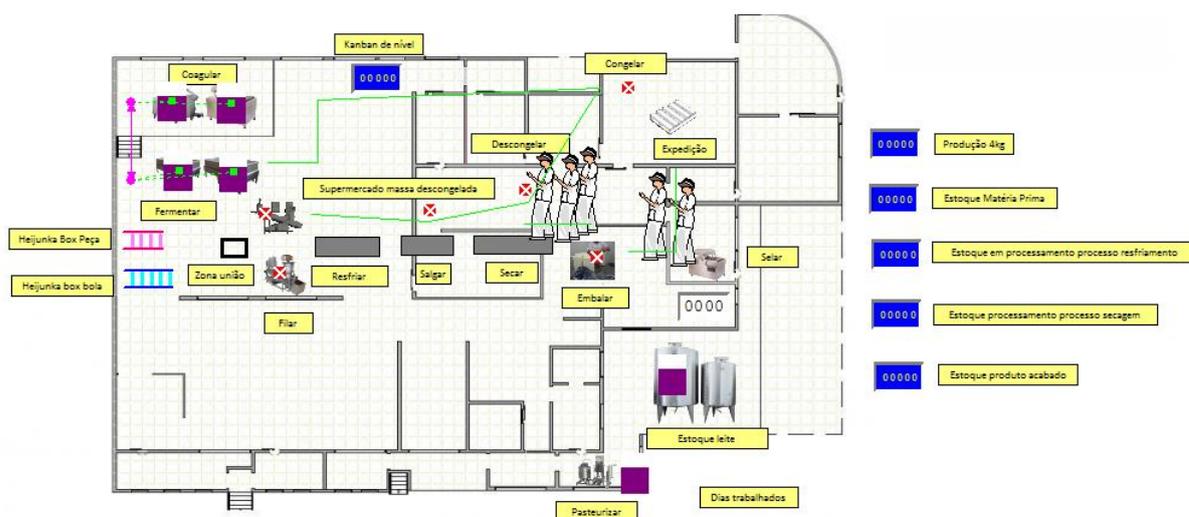


Figura 4.18 - Estado futuro simulado final

Assim como nas versões anteriores do modelo computacional do estado futuro, não foram consideradas as melhorias como realocação de funcionários na embalagem e selagem, além da inserção da segunda máquina na selagem. O modelo computacional futuro foi simulado nas mesmas condições que o modelo computacional atual. Assim como no modelo computacional atual, os resultados monitorados foram a produção de peças de 4 kg e o *lead time* do processo.

Para a variável total produzido de peças de 4 kg, a demanda média diária real é de 175 peças/turno de queijos. A saída do modelo nessa etapa gerou com 95% de confiabilidade um resultado situado na faixa entre {173:175} de queijo mozzarella peça de 4 kg.

No caso do *lead time*, o MFV futuro estático da Figura 4.19 considera um valor de 70,7 dias. A saída do modelo nessa etapa gerou com 95% de confiabilidade um resultado de *lead time* situado na faixa entre {74,85:74,46} dias.

Na terceira e última versão do modelo computacional futuro foi possível atender à demanda de 175 peças de 4 kg, porém, ainda não foi possível atingir o valor de *lead time* ideal. Nesse caso, conclui-se que apesar das grandes melhorias inseridas ao modelo (produção prevista somente a partir da demanda, inserção dos fluxos contínuos e do controle da produção por meio do sistema *kanban*), ainda existem ineficiências no sistema impedindo o alcance do *lead time* ideal.

O modelo computacional foi verificado a partir IDEF-SIM do estado futuro da Figura 4.15. Desta forma, foi realizado um acompanhamento visual da utilização dos locais e o monitoramento dos estoques de matéria- prima e de produtos acabados.

Os elementos “contadores” que determinaram o número de produtos em cada local de natureza discreta, bem como os elementos “luz de estado de utilização” e o elemento “medidor de volume” dos locais de natureza contínua, auxiliaram na verificação do modelo quando ativado o recurso de animação gráfica.

Na medida em que o modelo computacional do estado futuro foi verificado, este se tornou o modelo operacional do estado futuro. A partir do modelo operacional do estado futuro é que os cenários futuros embasados nos conceitos do *lean* poderão ser testados, assim como um projeto experimental poderá executado.

O MFV do estado futuro foi capaz de projetar um estado futuro ideal de acordo com os conceitos da Produção Enxuta. A partir da construção de um modelo computacional do estado futuro, foi possível visualizar uma possível forma de implementação das melhorias projetadas a partir da aplicação dos conceitos do *lean*.

O modelo computacional do estado futuro, além de transformar o MFV do estado futuro em uma versão que consegue expressar o dinamismo de um sistema real, constitui em uma excelente ferramenta capaz de gerar diversos cenários futuros, bastando apenas modificar alguns parâmetros do processo.

Dessa forma, somente a união entre as duas técnicas MFV e SED não foi capaz de identificar a melhor opção de cenário. Sendo assim, a técnica escolhida para auxiliar a escolha do melhor cenário futuro foi o DOE.

O modelo computacional do estado futuro representado pela Figura 4.18, após todas as melhorias de tecnologias de processo, bem como do sistema de gestão, ainda não foi capaz de atingir o *lead time* proposto no MFV do estado futuro (70,7 dias) da Figura 4.14.

As respostas às oito questões-chave sugeridas por Rother e Shook (2008) que levaram à construção do MFV futuro da Figura 4.14, indicou a necessidade de sete mudanças para o MFV futuro:

- Alinhamento da produção à demanda,
- Criação dos fluxos contínuos,
- Introdução de supermercado e controle da produção via sistema *kanban*,
- Realocação de dois funcionários para o processo de embalagem,
- Diminuição da taxa de refugo de 6% para 2%
- Melhoria da confiabilidade dos equipamentos de pasteurização, filagem de peças e seladora e,
- Inserção de uma segunda máquina de selar, bem como mais um operador no processo de selagem.

Os três primeiros parâmetros foram modificados na medida em que o modelo computacional do estado futuro foi sendo construído. Porém, os quatro últimos parâmetros ainda não foram modificados no modelo computacional do estado futuro.

Para definir um estado futuro simulado ideal, os quatro últimos parâmetros (funcionários, taxa de refugo, confiabilidade e máquinas) foram transformados em fatores (ou variáveis de entrada) na construção de uma matriz experimental.

Para cada fator foram considerados dois níveis. O nível (-) corresponde ao valor do fator no estado atual. O nível (+) compreende o valor do fator no estado futuro. A Tabela 4.20 apresenta os fatores e os níveis utilizados no projeto experimental.

Tabela 4.20 - Níveis e fatores considerados no projeto experimental

<b>Fator</b>	<b>Nível (-) MFV atual</b>	<b>Nível (+) MFV futuro</b>
Taxa de refugo	6%	2%
Quantidade de operadores na embalagem dos queijos	3 operadores	5 operadores
Quantidade de máquinas na selagem dos queijos	1 máquina	2 máquinas
Confiabilidade dos equipamentos	80% e 85%	90%

O *software* Minitab ® foi utilizado para gerar a matriz experimental. Sendo quatro fatores e dois níveis cada, foi possível definir um projeto experimental fatorial completo  $2^k$ , onde 2 corresponde à quantidade de níveis dos fatores e o K compreende a quantidade de fatores. Dessa forma, assim como  $2^4$  resultam em 16, foram gerados dezesseis experimentos na matriz experimental. Não foi considerada aleatoriedade na geração do projeto experimental. A variável resposta foi o total de peças de 4 kg produzidas.

Os experimentos foram executados na última versão do modelo computacional do estado futuro apresentada na Figura 4.18. Os fatores e seus níveis foram sendo modificados conforme planejamento dos experimentos e seguiram sendo salvos em cada cenário. Dessa forma, foram gravados dezesseis cenários futuros. Cada cenário ainda foi replicado dez vezes. A Tabela 4.21 apresenta os resultados dos experimentos em cada cenário.

A primeira coluna representa o número do experimento. A segunda coluna apresenta a taxa de refugo utilizada em cada experimento. Da mesma forma, a terceira, a quarta e a quinta coluna, representam a confiabilidade, o número de operadores e o número de máquinas respectivamente, em cada experimento.

As colunas seguintes, numeradas de R1 até a R10 sequencialmente, contém os resultados das saídas dos cenários para a variável que controla o total de peças de 4 kg. As linhas pertencentes a essas colunas contém o resultado das dez réplicas realizadas em cada cenário.

Tabela 4.21 - Resultado dos experimentos

Cenário	Taxa refugo	Confiabilidade	Operadores	Máquina seladora	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
1	6	80%	5	1	181	179	173	178	178	181	180	184	181	189
2	2	80%	5	1	189	183	178	183	193	178	182	181	190	191
3	6	90%	5	1	181	179	173	178	178	181	180	184	181	189
4	2	90%	5	1	189	183	178	183	193	178	182	181	190	191
5	6	80%	3	1	127	114	142	124	115	127	141	127	162	142
6	2	80%	3	1	142	129	164	114	127	115	125	125	126	144
7	6	90%	3	1	127	114	142	124	115	127	141	127	162	142
8	2	90%	3	1	142	129	164	114	127	115	125	125	126	144
9	6	80%	5	2	181	180	178	177	174	170	179	176	178	178
10	2	80%	5	2	181	181	177	179	176	178	180	181	181	179
11	6	90%	5	2	181	175	179	177	175	179	178	180	173	176
12	2	90%	5	2	189	183	188	186	180	188	180	182	189	192
13	6	80%	3	2	127	136	128	126	116	125	128	139	125	140
14	2	80%	3	2	142	125	141	125	142	140	126	164	126	142
15	6	90%	3	2	181	175	179	177	175	179	178	180	173	176
16	2	90%	3	2	189	183	188	186	180	188	180	182	189	192

Os resultados dos experimentos serão analisados no próximo item desse capítulo. Para o fator “taxa de refugo”, as entidades *kanbans* foram redefinidas de forma que no nível (-), que corresponde ao estado atual, representasse uma demanda de 1.000 kg/turno de queijo (944 kg/turno de demanda média mais 6% de taxa de refugo).

No nível (+), que corresponde ao estado futuro, a demanda foi modificada para 963 kg/turno (944 kg/turno de demanda média mais 2% de taxa de refugo).

No fator “operador”, no nível (-) foram considerados apenas os operadores 10, 11 e 12 no local de embalagem. No nível (+) os operadores 8 e 9 foram acrescentados ao mesmo local.

No fator “máquinas”, o nível (-) foi simulado com apenas uma máquina de selagem, já no nível (+), foram consideradas duas máquinas de selagem. No fator “confiabilidade”, as paradas programadas das máquinas pasteurizador, filar peça e selar, foram alteradas de forma a representar no nível (-) uma taxa de 80 e 85% conforme MFV atual da Figura 4.3. Já no nível (+), a taxa de confiabilidade foi elevada para 90% em todas as máquinas.

A análise dos resultados dos experimentos foi a partir do *software* Minitab®, que permitiu a determinação dos principais efeitos dos quatro fatores (operadores, taxa de refugo, confiabilidade e máquinas) sobre a variável resposta (total de peças de mozzarella de 4 kg produzidas), bem como todas as possíveis interações entre esses quatro fatores.

A partir de uma análise simplificada da Tabela 4.19 foi possível observar que o pior cenário, (Cenário 5) que apresenta todos os fatores com os níveis (-), o total de peças produzidas foi de 142 peças de mozzarella de 4 kg. Já no melhor cenário, (Cenário 12) que apresenta todos os fatores com os níveis (+), o total de peças produzidas foi de 192 peças de mozzarella de 4 kg. Nesse caso, conclui-se que no cenário otimista, o total produzido tende a ser melhor.

Seguindo da principal análise, sendo essa a estatística, sob os resultados apresentados na Tabela 4.21 foi aplicado o teste de normalidade dos resíduos expressos na Figura 4.19.

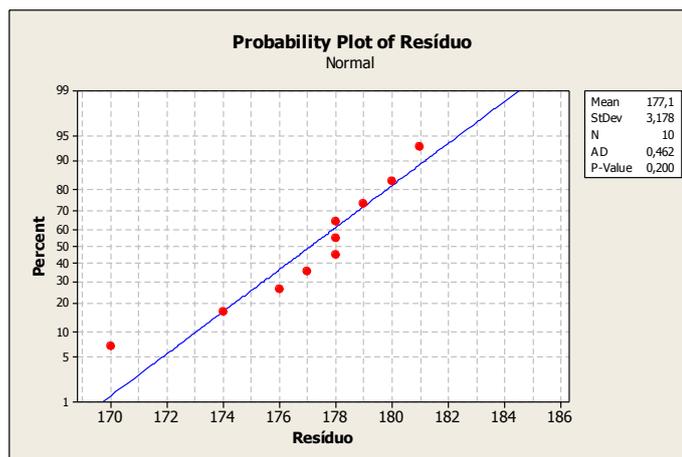


Figura 4.19 - Teste de normalidade para os resíduos dos experimentos

O valor do *p-value* superior a 0,05 (neste caso, 0,200) não rejeita a hipótese de normalidade. A partir dessa confirmação, tornou-se possível calcular os principais efeitos de cada fator e o efeito de suas interações.

O peso dos efeitos pode ser observado na Figura 4.19 que apresenta o gráfico de Pareto. Verifica-se que o fator principal C (operadores) e a interação CD (operadores e máquinas seladoras) são significativos para um nível de significância  $\alpha$  de 5%. Para efetuar o teste de significância, através do Teste T, o Minitab ® calcula utilizando-se do erro experimental e a variância global, comparando-o com o valor crítico.

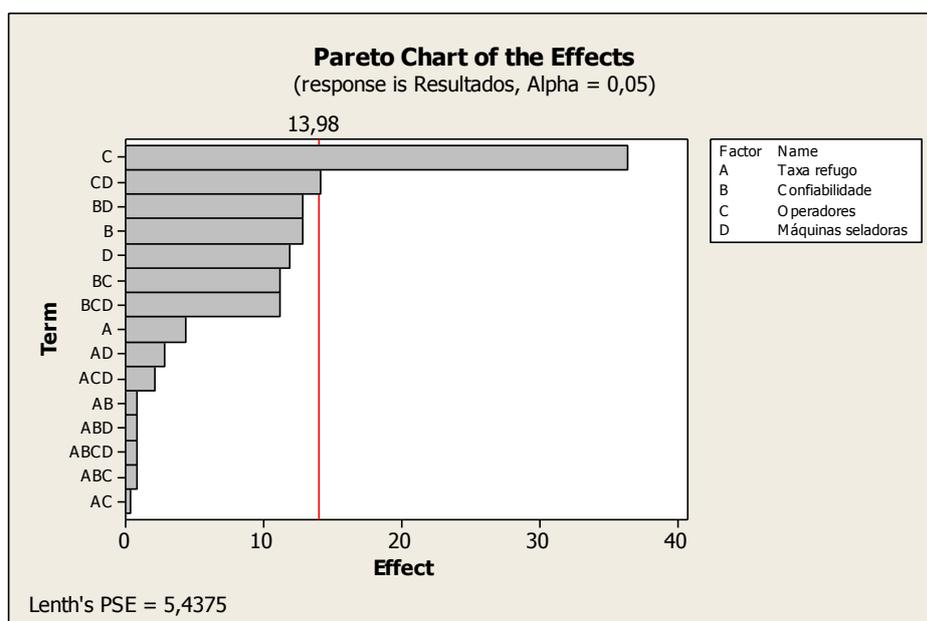


Figura 4.20 – Gráfico de Pareto para os fatores

A Figura 4.20 apresenta a análise dos efeitos de cada fator. Os fatores “operadores”, “confiabilidade” e “máquinas” possuem forte efeito positivo sobre a resposta final, ou seja, a alteração do nível (-) para o nível (+) melhora o resultado final.

Já o fator “taxa de refugo” não possui efeito positivo sobre o resultado final. O nível (-) representa um valor de demanda (1.000 kg/turno) maior que o nível (+) (963 kg/turno), em função da taxa de refugo, que no estado atual era 6% e no estado futuro se tornou 2%. Sendo assim, na medida em que a taxa de refugo aumenta, o total produzido diminui.

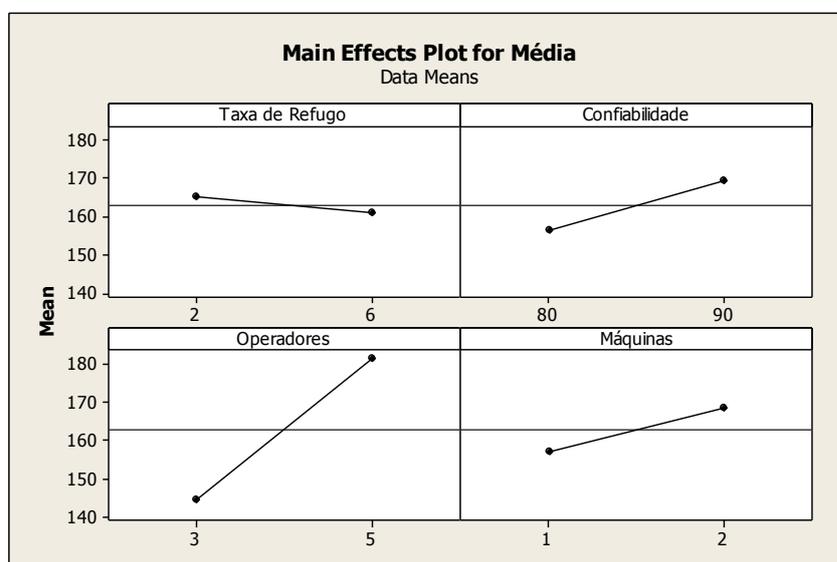


Figura 4.21 – Efeito da interação dos níveis dos fatores

Após a análise estatística dos experimentos, foi possível concluir que as melhorias como o aumento do número de funcionários na embalagem de três para cinco, bem como o aumento de uma máquina de selagem para duas máquinas, seriam necessários para a geração do estado futuro ideal. Dessa forma, o modelo computacional futuro foi alterado e as melhorias previstas incorporadas ao modelo.

A Tabela 4.22 compara as duas principais variáveis monitoradas ao longo do desenvolvimento dos modelos, sendo elas o total de peças mozzarella de 4 kg produzidas e o *lead time* do processo.

Tabela 4.22 - Resumo dos resultados dos modelos computacional atual e futuro

Modelagem	Total de peças produzidas	Lead time do processo	Tempo de agregação de valor
MFV atual determinístico	211 peças	103,7 dias	4 dias
Estado atual simulado estocástico	{207:211} peças	{100,02:104,58} dias	
MFV futuro determinístico	175 peças	70,7 dias	8,2 horas
Estado futuro simulado alinhando à demanda estocástico	{143:147} peças	{84,05:84,06} dias	
Estado futuro simulando criando fluxo contínuo estocástico	{153:157} peças	{84,36:84,83} dias	
Estado futuro introduzindo supermercado estocástico	{173:175} peças	{74,85:74,86} dias	
Cenário futuro ideal após a análise dos experimentos	{173:175} peças	{71,15:73,26} dias	

A Tabela 4.22 apresenta os resultados do total de queijo mozzarella produzido e o *lead time* gerado em cada modelo desenvolvido. A técnica de Mapeamento do Fluxo de Valor gerou as informações determinísticas, enquanto a técnica da Simulação a Eventos Discretos gerou as informações estocásticas.

O total de peças de mozzarella produzidas no Mapa do Fluxo de Valor do estado atual situava-se acima da demanda, contribuindo para a geração de todos os desperdícios como superprodução, esperas, produtos defeituosos e movimentações excessivas. Esses desperdícios geraram um *lead time* elevado de 103,7 dias.

No Mapa do Fluxo de Valor do estado futuro, o total de peças de mozzarella produzidas equivaleu à demanda dos produtos e o *lead time* reduziu para 70,7 dias. A Tabela 4.26 também compara o tempo de agregação de valor dos estados atual e futuro. Houve uma redução de TAV de 4 dias para 8,2 horas.

A redução do tempo de agregação de valor contribui para o ganho de flexibilidade da empresa. No caso de oscilação da demanda, a empresa terá mais flexibilidade para reprogramar sua produção e continuar atendendo à demanda.

O *lead time* do MFV futuro de 70,7 dias não foi alcançado em nenhum dos modelos computacionais futuro desenvolvidos, mesmo após as mudanças previstas na análise do projeto experimental. A justificativa para tal situação é que o *lead time* determinístico do MFV futuro (70,7 dias) corresponde a um valor médio idealizado, que considera os tempos de *setups* das máquinas iguais à zero, bem como a taxa de confiabilidade dos processos de 100%.

No modelo operacional do estado futuro os tempos de *setups* foram modificados. No estado atual o tempo de *setup* da máquina de filagem era de 1,1 minutos. Esse tempo foi reduzido para 50 segundos no estado futuro. No entanto, como no estado futuro opera-se com a idéia de TPT, ou seja, todas as peças todos os dias, elevou-se o número de *setups* para quatro ou cinco.

Dessa forma, ao longo do turno, a máquina de filagem poderá ficar parada por um período de cerca de 5 minutos, ou seja, tempo esse em que o processo poderia estar produzindo para atender à demanda de produtos,

Além disso, no estado futuro, a taxa de confiabilidade dos processos de pasteurização, filagem e selagem foram elevadas para 90% e não 100%, conforme estabelece o MFV futuro da Figura 4.19. Sendo assim, o modelo operacional do estado futuro foi capaz de prever que mesmo após a implementação de todas as melhorias indicadas pela Produção Enxuta, o sistema real não terá o comportamento previsto no MFV futuro da Figura 4.19, ou seja, não atingirá o *lead time* ideal.

Dessa forma, conclui-se que para a implementação da Produção Enxuta no sistema real, deverá ser considerado um valor de *lead time* mais real, que considera tanto as ineficiências do processo (tempos de *setups* diferentes de zero e taxa de confiabilidade menor que 100%), bem como a variabilidade dos sistemas reais.

A implantação da técnica do MFV segundo Rother e Shook (2008) prevê a criação de um plano de implementação para melhorias definidas ao longo da criação do MFV do estado futuro. Os autores sugerem a identificação de *loops* (pontos de melhorias) e atuação isolada em cada ponto do processo.

Porém, a partir da criação de um modelo computacional do estado futuro em etapas, foi possível estabelecer uma diretriz de implementação. Essa diretriz de implementação prevê a modificação do sistema em três etapas, conforme sequência estabelecida para a construção do modelo computacional do estado futuro:

O plano de implementação apresentado a seguir na Tabela 4.23 contém as etapas de implementação, o tempo e o custo médio previsto em cada etapa. As informações contidas no plano de implementação consiste no resultado de pesquisas com fornecedores de equipamentos da área de laticínios.

Tabela 4.23 – Plano de Implementação para o estado futuro

Etapa	Descrição das atividades	Tempo previsto	Custo previsto
Etapa 01: atendendo à demanda.	<p>Aguardar o próximo período de safra. O leite excedido deverá ser transformado em massa de queijo fermentada e estocada na câmara fria de congelamento. Enquanto aguarda o período correto, testes deverão ser executados para a definição do pH de fermentação ideal de congelamento da massa.</p> <p>No período da entressafra do leite, quando a massa fermentada congelada deverá ser transformada em mozzarella, o processo de descongelamento deverá ser implementado. Como esse processo trata-se da imersão da massa congelada em soro de leite aquecido, haverá necessidade de tanques de inox para imersão da massa em soro de leite.</p>	<p>De agosto de 2014 a março de 2015, quando a oferta de leite começa a superar a demanda de queijos, os testes deverão ser executados.</p> <p>De março de 2015 a agosto de 2015 o leite em excesso deverá ser transformado em massa fermentada e congelada em câmara fria.</p> <p>De agosto de 2015 a março de 2016, a massa fermentada congelada deverá ser transformada em mozzarella.</p>	<p>Não haverá custos envolvidos nessa etapa, visto que já existe uma câmara fria para congelamento de produtos, bem como tanques disponíveis para a imersão da massa congelada em soro de leite.</p>
Etapa 02: criação dos fluxos contínuos.	<p>Os seguintes equipamentos deverão ser adquiridos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Filadeira de peças com capacidade de 1.000 kg/hora de queijo com carrossel de enformagem;</li> <li>• Esteira para resfriamento dos queijos;</li> <li>• Esteira para salga dos queijos;</li> <li>• Tunel de secagem para queijos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Filadeira: 12 meses;</li> <li>• Esteira para resfriamento dos queijos: 6 meses;</li> <li>• Esteira para salga dos queijos: 6 meses;</li> <li>• Tunel de secagem dos queijos: 4 meses.</li> </ul> <p>Com exceção da filadeira, os demais equipamentos estarão disponíveis no próximo período de safra do leite.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Filadeira: R\$ 1.400.000,00;</li> <li>• Esteira para resfriamento dos queijos: R\$ 450.000,00;</li> <li>• Esteira para salga dos queijos: R\$ 400.000,00;</li> <li>• Tunel de secagem dos queijos: R\$ 200.000,00.</li> </ul> <p>Com exceção da filadeira, que possui tecnologia exclusivamente Italiana, os demais equipamentos poderão ser adquiridos de empresas brasileiras.</p>

Continuação da Tabela 4.23 – Plano de Implementação do estado futuro

Etapa	Descrição das atividades	Tempo previsto	Custo previsto
Etapa 03: introdução dos supermercados de produto em elaboração entre as etapas descongelamento e filagem e do supermercado de produtos acabados.	Conforme descrito anteriormente, o processo de descongelamento será executado por meio de tanques de inox para imersão da massa fermentada congelada. Após a massa descongelada atingir o pH de filagem, deverão ser retiradas do tanque e transferidas para mesas de inox, aguardando o processo de filagem. Dessa forma, o supermercado poderá ser representado por mesas de inox ao lado dos tanques de descongelamento. O processo de filagem ao iniciar o turno, irá puxar as mesas de inox contendo massa fermentada descongelada e iniciará seu processo de conformação da massa em peças acabadas.	De agosto de 2015 a março de 2016, a massa fermentada congelada deverá ser transformada em queijo mozzarella.	Não haverá custos envolvidos nessa etapa de implementação, visto que já existem mesas disponíveis para tais eventos.
Etapa 03: gerenciamento da produção pelo sistema <i>kanban</i> .	Um Quadro de Kanban ( <i>heijunka box</i> ) deverá ser adquirido, assim como cartões de plástico confeccionados para o gerenciamento da produção.	A implantação dos <i>kanbans</i> de produção na etapa de filagem poderá ser imediata (agosto de 2014). Como a implantação dos processos de congelamento e descongelamento somente ocorrerão apenas nos meses de março a agosto de 2015 para congelamento e, agosto de 2015 a março de 2016 para descongelamento, os demais <i>kanbans</i> de produção e retirada somente serão implementados nesse último período, onde haverá movimentação de massa fermentada congelada.	Compra do <i>Heijunka box</i> e confecção dos cartões <i>kanbans</i> de plástico customizados: R\$ 700,00.

Continuação da Tabela 4.23 – Plano de Implementação do estado futuro

<b>Etapa</b>	<b>Descrição das atividades</b>	<b>Tempo previsto</b>	<b>Custo previsto</b>
Etapa 04: melhoria contínua dos processos.	Realocação de um operador para o processo de embalagem. Realocação de um operador para o processo de selagem. Instalação da segunda máquina no processo de selagem. Implementação da TPM. Implementação do SMED.	Aumento do número de funcionários: a empresa poderá contratar temporariamente mais dois funcionários para atender de imediato aos processos de embalagem e selagem. A instalação da segunda máquina se selagem poderá ser imediato. A implementação das ferramentas como TPM e SMED são previstas para um período de três meses.	Custo de mão de obra adicional: R\$ 6.000,00 mensais. Não haverá custo com a instalação da segunda máquina de selagem. Treinamento da TPM: R\$ 3.000,00. Treinamento SMED: R\$ 3.000,00.

O plano de implementação apresentado na Tabela 4.23 prevê um tempo total estimado de doze meses. O custo total de investimento estimado será de R\$ 2.456.700,00 e o aumento da folha de pagamento mensal com a contratação imediata de mais dois operadores poderá ser de R\$ 6.000,00.

Considerando uma empresa de médio porte, que processa em média onze mil litros de leite por dia ao longo do ano, que no período de safra do leite o recebimento atinge um pico de 38.000 litros de leite por dia, porém, na entressafra pode chegar a processar apenas 3.000 litros de leite por dia, tal investimento não se justificaria.

No entanto, no estado atual, considerando uma taxa de refugo de 6% ao dia, ou seja, 94 kg de queijo mozzarella de búfala são refugados diariamente. O preço de venda do produto é de R\$ 40,00 o kg de queijo e dessa forma, a empresa deixa de acrescentar à sua receita um valor médio estimado de R\$ 3.760,00 por dia. Anualmente, esse valor pode chegar a R\$ 1.128.000,00, ou seja, 46% do investimento inicial para aquisição das máquinas adicionais.

Ademais, a *Bufalean* poderá compartilhar sua linha de produção contínua de mozzarella com o leite bovino. Dessa forma, sua capacidade de processamento para esse tipo de queijo será de 40.000 litros de leite de vaca por dia, podendo mesmo optar por terceirizar a produção desse tipo de queijo na região. Um elemento natural contribui para reforçar essa ideia, que consiste no fato das vacas (bovinos) possuírem período de safra do leite em períodos de entressafra dos bubalinos.

Finalmente, é importante salientar que o compartilhamento da linha de produção contínua de mozzarella, mesmo sendo para o leite bovino, deverá seguir os conceitos básicos da Produção Enxuta, no qual a indústria somente deverá processar queijos baseados na existência de demandas.

## 5. CONCLUSÃO

O trabalho consistiu em analisar a integração entre o Mapeamento do Fluxo de Valor e a Simulação a Eventos Discretos, elaborar uma proposta de integração entre as duas técnicas e aplicá-la em um caso real.

A proposta de integração entre o MFV e SED foi elaborada a partir da análise da literatura sobre o tema. Nesse aspecto, é possível afirmar que o MFV e a SED são técnicas integráveis, na medida em que suas etapas individuais foram realinhadas em um novo passo a passo que contempla os aspectos individuais das duas técnicas.

O passo a passo proposto prevê a execução de dezenove etapas e o desenvolvimento de quatro mapas de processo, sendo eles um MFV para o atual, um IDEF-SIM para o estado atual, um MFV para o estado futuro e um IDEF-SIM para o estado futuro. Além disso, a proposta orienta a construção de dois modelos computacionais, sendo um para o estado atual e outro para o estado futuro.

Diferentemente das demais metodologias existentes na literatura sobre a integração entre o MFV e a SED, a nova proposta desenvolvida foi estruturada baseada na metodologia de pesquisa modelagem e simulação. Além disso, o desenvolvimento do estado futuro deverá ser a partir das respostas às oito questões-chaves elaboradas pelos criadores da técnica (ROTHER e SHOOK, 2008).

Conclui-se ainda que o MFV e a SED são técnicas complementares. Sendo assim, é possível relacionar os benefícios gerados para as duas técnicas quando aplicadas de forma integrada.

Os benefícios identificados para o MFV quando aplicados de forma integrada com a SED incluem a conversão de modelos estáticos em modelos dinâmicos, a melhoria dos critérios para coleta dos dados, o monitoramento dos desperdícios no estado atual, a avaliação da Produção Enxuta antes da sua implementação, o treinamento sobre a Produção Enxuta e a construção e avaliação de cenários futuros.

O Mapa do Fluxo de Valor consiste em um modelo estático. Os parâmetros calculados pela técnica, também chamados de métricas lean, correspondem ao *lead time*, tempo de agregação de valor, esperas, estoques e tempos de ciclo dos processos. Esses são descritos de forma determinísticos no MFV e representam uma média do sistema.

O Mapa do Fluxo de Valor pode ser comparado como uma fotografia momentânea de determinado processo. A construção de modelos computacionais tanto para o estado atual

quanto para o estado futuro possibilita a transformação desses parâmetros de processo em informações estocásticas.

Na medida em que os sistemas reais são dinâmicos e os parâmetros se alteram constantemente, o modelo computacional pode representar de forma mais adequada o sistema avaliado. Resumidamente, a SED incide sobre o MFV um caráter dinâmico.

A técnica MFV elaborada pelos autores Rother e Shook (2008) não fornece detalhes sobre as formas de coleta e tratamento para os dados do processo. A SED por sua vez, estabelece uma sistemática para a coleta, o tratamento, a inferência e a validação dos dados coletados, proporcionando maior segurança dos modelos.

Somente o MFV do estado atual não é suficiente para representar todos os desperdícios do processo. O desenvolvimento do IDEF-SIM como uma segunda técnica de modelagem é capaz de representar os desperdícios que não puderam ser monitorados a partir do MFV, sendo esses os desperdícios de transporte, movimentação e produtos defeituosos.

O desenvolvimento de modelos de simulação permite a avaliação do estado futuro antes da implementação da Produção Enxuta. Dessa forma, a SED permite avaliar o comportamento dos processos e corrigir eventuais falhas antes da implementação da Produção Enxuta. Sendo assim, os modelos de simulação auxiliam no treinamento para a Produção Enxuta e pode ser utilizado para esclarecimento dos gestores quanto às possíveis melhorias a partir da implementação da Produção Enxuta.

Finalmente, a SED permite a construção e avaliação de cenários futuros a partir de mudanças simples de alguns critérios de avaliação ou métricas *lean*. A análise dos experimentos simulados auxilia na escolha da melhor combinação de fatores, gerando assim, um cenário futuro ideal.

Os benefícios identificados para a SED quando implementados de forma integrada com o MFV incluem a definição dos objetivos da simulação e a melhoria do desempenho dos modelos de simulação para a geração dos cenários futuros.

Uma das primeiras dificuldades encontradas na elaboração de um projeto de simulação consiste na definição dos objetivos da simulação, do escopo do projeto e o nível de detalhamento do modelo a ser desenvolvido.

O desenvolvimento do Mapa do Fluxo de Valor do estado atual na fase de concepção irá auxiliar na definição dos objetivos do projeto de simulação, no escopo do projeto e no nível de detalhamento dos modelos desenvolvidos. Além disso, ao fornecer um diagnóstico do sistema real, o MFV irá direcionar a construção de modelos com foco na eliminação dos desperdícios.

Um projeto de simulação não termina com o desenvolvimento de um modelo computacional. A metodologia desenvolvida pelos autores Montevechi *et al.* (2010) prevê a elaboração de cenários futuros pautados em melhorias no sistema avaliado. No entanto, em alguns casos, tais melhorias nem sempre são fáceis de ser estabelecidas. Geralmente os cenários futuros são construídos baseados em melhorias pontuais e em pontos aleatórios do processo.

Nesse aspecto, o desenvolvimento de um Mapa do Fluxo de Valor para o estado futuro na fase de análise irá garantir a implementação de melhorias para os cenários futuros baseadas nos conceitos da Produção Enxuta. Dessa forma, o MFV irá melhorar o desempenho dos modelos de simulação.

A proposta de integração entre o MFV e a SED desenvolvido nessa dissertação permite a integração total entre as duas técnicas. No entanto, em alguns casos, as duas técnicas poderão ser integradas com o objetivo de favorecer apenas uma delas. Nesse caso, quando o tema central da integração for apenas o MFV ou a SED, o mesmo cronograma poderá ser utilizado.

Quando o foco da integração for o MFV, a SED poderá ser utilizada como ferramenta de apoio. O pesquisador ainda deverá avaliar a necessidade de construção de um modelo computacional para o estado atual. Caso os dados estejam disponíveis, a modelagem computacional do estado atual auxiliará no monitoramento dos desperdícios identificados no MFV e na identificação de gargalos do processo.

Também poderá haver casos em que não haverá necessidade de conversão do MFV em IDEF-SIM, especialmente se o pesquisador for especialista em MFV e em simulação. Quando o MFV consistir no tema central, estima-se que o principal benefício da utilização da SED consiste na construção e análise dos cenários futuros simulados.

Quando a SED consistir no tema central, o MFV irá auxiliar na fase de análise do modelo de simulação. Nesse caso, deverá ser avaliada a necessidade da construção de um Mapa do Fluxo de Valor para o estado atual.

O desenvolvimento de um MFV para o estado atual poderá ser a partir do retorno do pesquisador ao objetivo de estudo ou a partir da visualização do próprio modelo computacional já previamente desenvolvido. A sua construção irá identificar os desperdícios do processo e orientar a construção do MFV do estado futuro. Finalmente, a elaboração do MFV do estado futuro irá orientar as mudanças a serem introduzidas no modelo computacional para a geração e análise dos cenários futuros.

Um objetivo específico consistiu em desenvolver uma simulação para o processo de laticínios, marcado pela presença de eventos discretos, contínuos e em batelada.

Uma biblioteca gráfica com ícones de laticínios foi desenvolvida para facilitar o entendimento do modelo. O modelo computacional foi desenvolvido a partir da “discretização” de todas as etapas do processo de fabricação de queijos. Tal procedimento não interferiu na validação do modelo computacional, sendo possível afirmar que a Simulação a Eventos Discretos foi capaz de representar sistemas híbridos.

Outro objetivo específico consistiu em aplicar a Produção Enxuta em um processo de laticínios, marcado pela presença de eventos discretos, contínuos e em batelada. A técnica MFV foi totalmente implementada nesse tipo de processo, sendo apenas necessária adaptação de cálculos das métricas *lean* como tempo de ciclo e *lead time*.

O desenvolvimento do MFV do estado futuro demonstrou que o pilar do *lean* denominado *Just in Time* é perfeitamente adaptado para esse tipo de indústria química e com processos mistos (contínuo e em batelada). Uma vez que foi possível calcular o *takt time* do processo, estabelecer o fluxo contínuo, introduzir supermercados e gerenciar a produção através dos sistemas *kanban*, a maioria dos princípios do *lean* foram implementados no objeto de estudo dessa dissertação.

O desenvolvimento da SED junto ao MFV melhorou o desempenho de ambas as técnicas, cujos benefícios foram citados anteriormente. No entanto, somente a SED e o MFV não são capazes de propor cenários futuros e avaliar o desempenho dos cenários futuros simulados. Nesse caso, o desenvolvimento do DOE foi importante identificar um cenário futuro ideal e auxiliar na construção de um Plano de Implementação da Produção Enxuta.

As propostas de trabalhos futuros incluem estender o desenvolvimento do Mapeamento do Fluxo de Valor para a cadeia de suprimentos, a utilização da otimização para a identificação do cenário ótimo e a utilização da previsão estatística para tornar tanto a demanda de queijos quanto a oferta de leite mais adequada para o modelo de simulação.

Esta dissertação é um dos produtos esperados do projeto de pesquisa intitulado “DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DE UMA ABORDAGEM DE INTEGRAÇÃO ENTRE MAPEAMENTO DA CADEIA DE VALOR E SIMULAÇÃO A EVENTOS DISCRETOS”, financiado pela Fapemig.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDULMALEK, F.A. ; RAJGOPAL, J. Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process setor case study. **Internation Journal Production Economics**. p. 223–236, sept. 2006.

ABIQ. Leite ajuda crescimento do leite em Minas. Disponível em <http://www.abiq.com.br>. Acesso em: 04 set 2014.

AGYAPONG-KODUA, K.; AJAEFOBI, J. O.; WESTON, R. H. Modelling dynamic value streams in support of process design and evaluation. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**. p. 411–427, 2009.

ALI, N. B.; PETERSEN, K.; FRANÇA, B. B. N. Evaluation of simulation-assisted value stream mapping for software product development: two industrial cases. **Information and Software Technology**. p. 45-91, dec, 2015.

AL-KHAFAJI, S. K. H.; L-RUFAITI, H. M. R. A Case Study of Production Improvement by Using Lean with Simulation Modeling., **In: Proceedings of the 3rd International Conference on Industrial Engineering and Operations Management**, 2012.

AOMAR, R. A. Handling multi-lean measures with simulation and simulated annealing. **Journal the Franklin Institute**. p 1506–1522, may. 2010.

BANKS, J.; CARSON II, J. S.; NELSON, B. L.; NICOL, D. M. **Discrete-event simulation**. 5th New Jersey: Prentice-Hall, 2010.

BANKS, J. **Handbook of simulation: Principles, Methodology, Advances, Applications, and Practice**. New Jersey: John Wiley & Sons, 1998.

BATEMAN, E.R.; BOWDEN, R.O.; GOGG, T.J.; HARRELL, C.R.; MOTT, J.R.A.; MONTEVECHI, J.A.B. **Simulação de Sistemas - Aprimorando processos de logística, serviços e manufatura**. São Paulo: Campus, 2013.

BAYKASOGLU, A.; DURMUSOGLU, Z.D.U. Flow time analyses of a simulated flexible job shop by considering jockeying. **International Journal Adventure Manufacturing Technology**. p 693–707, 2010.

BERTRAND, J. W. M.; FRANSOO, J. C. Modelling and simulation: operations management research methodologies using quantitative modeling. **International Journal of Operations & Production Management**. p. 241-264, 2002.

BEVILACQUA, M.; CIARAPICA, F. E.; GIACCHETTA, G. Value Stream Mapping in Project Management: A Case Study. **Project Management Journal**. p. 110–124, 2008.

BHAGAT, A.; WANG, S.; KHASAWNEH, M. T.; SRIHARI, K. Enhancing hospital health information management using industrial engineering tools. **In: Proceedings of the Society for Health Systems Conference and Expo**, 2009.

BHAMU, J.; SANGWAN, K. S. Lean manufacturing: literature review and research issues. **International Journal of Operations & Production Management**. p 876 -940, 2014.

<http://www.periodicosapes.gov.br>. Acesso em 25 nov 2015.

CHUNG, C. A. **Simulation modeling handbook: a practical approach**. Florida: CRC Press, 2004.

CHWIF, L.; MEDINA, A.C. **Modelagem e Simulação de eventos discretos. Teoria e aplicações**. São Paulo: Elsevier, 2014.

COPPINI, N. L.; BEKESAS, L. C.; BAPTISTA, E. A.; VIEIRA JUNIOR, M.; LUCATO, W.C. Value stream mapping simulation using ProModel software. **In: Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)**. 2011.

DOTOLIA, M.; FANTIA, M. P.; LACOBELLISA, G.; ROTUNNOB, G. An integrated technique for the internal logistics analysis and management in discrete manufacturing systems. **International journal of computer integrated manufacturing**. p. 165-180, 2014.

- ESFANDYARI, A.; OSMAN, M. R.; ISMAIL, N.; TAHRIRI, F. Application of value stream mapping using simulation to decrease production lead time: A Malaysian manufacturing case. **International Journal of Industrial and Systems Engineering**. p. 230–250, 2011.
- FLEURY, A. C. C.; MELLO, C. H. P.; NAKANO, D. N.; TURRIONI, J. B.; LEE HO, L.; MIGUEL, P. A. C.; MORABITO NETO, R.; MARTINS, R.; PURZA, V.; LIMA, E. P.; SOUZA, R.; COSTA, S. E. G.; **Metodologia de Pesquisa Em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.
- FULLERTON, R. R.; KENNEDY, F. A.; WIDENER, S. K.; Lean manufacturing and firm performance: The incremental contribution of lean management accounting practices. **Journal of Operations Management**. p. 414–428, nov 2014.
- GAHAGAN, S. M. Adding value to value stream mapping: A simulation model template for VSM. **In: Proceedings of the IIE Annual Conference and Expo 2007 - Industrial Engineering's Critical Role in a Flat World**, Institute of Industrial Engineers, 2007.
- GOPAKUMAR, B.; SUNDARAM, S.; WANG, S.; KOLI, S.; SRIHARI, K. A Simulation Based Approach for Dock Allocation in a Food Distribution Center. **In: Proceedings of the Winter Simulation Conference**. 2008
- GURUMURTHY, A.; KODALI, R. Design of lean manufacturing systems using value stream mapping with simulation A case study. **Journal of Manufacturing Technology Management**. p. 444–473, 2011.
- HAMAD, W. A.; CROWE, J.; ARISHA, A. Towards leaner healthcare facility: Application of simulation modelling and value stream mapping. **In: Proceedings of the 1st International Workshop on Innovative Simulation for Health Care**. 2012.
- HARREL, CHARLES R. MOTT, JACK R. A. BATEMAN, ROBERT E. BOWDEN, ROYCE, G. GOGG, THOMAS J. **Simulação: Otimizando Sistemas**. São Paulo: IMAM, 2002.
- HELLENO, A. L.; PIMENTEL, C. A.; FERRO, R.; SANTOS, P. F.; OLIVEIRA, M. C. Integrating value stream mapping and discrete events simulation as decision making tools in operation management. **International Journal Adventure Manufacturing Technology**. p. 1059–1066, 2015.
- HINES, P.; TAYLOR, D. **Going lean**. Cardiff, UK: Lean Enterprise Research Center, 2000.
- INCE, O. A simulation study on an office process by applying lean tools. **In: Proceedings of the 38th International Conference on Computers and Industrial Engineering**, 2008.
- JASTI, N.; KODALI, R. A literature review of empirical research methodology in lean manufacturing. **International Journal of Operations & Production Management**. p.1080-1122, 2014.
- JENSEN, J. B.; AHIRE, S. L.; MALHOTRA, M. K. Trane/Ingersoll Rand Combines Lean and operations Research Tools to Redesign Feeder Manufacturing Operations. **Interfaces**. p. 325–340, 2013.
- KLEIJNEN, J.P.C.; SANCHEZ, S.M.; LUCAS, T.W.; CIOPPA, T.M. State-of-the-Art Review: A User's Guide to the Brave New World of Designing Simulation Experiments. **Journal on Computing**. p. 263–289, 2005.
- LAW, A. M.; KELTON, W. D. **Simulation modeling and analysis**. New York: McGraw-Hill, 2000.
- LEAL, F. **Análise do efeito interativo de falhas em processos de manufatura através de projeto de experimentos simulados**. 2008. 237 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2008.
- LEAL, F.; COSTA, R. F. S.; MONTEVECCHI, J. A. B.; ALMEIDA, D. A. A.; MARINS, F. A.; A Practical guide for operational validation of discrete simulation models. **Pesquisa Operacional**. p 1-21, 2011.
- LIAN, Y.-H.; VAN LANDEGHEM, H. Analysing the effects of Lean manufacturing using a value stream mapping-based simulation generator. **International Journal of Production Research**. p. 3037–3058, july, 2007.
- LIKER, J. K. **O modelo Toyota**. São Paulo: Artmed. 2005.
- LU, J.C.; YANG, T.; WANG, C. (2011). A lean pull system design analysed by value stream mapping and multiple criteria decision-making method under demand uncertainty. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**. p. 211–228, 2011.
- MAHFOUZ, A.; ARISHA, A. Lean distribution assessment using an integrated framework of value stream mapping and simulation. **In: Proceedings of the 43rd Winter Simulation Conference, IEEE Computer**

Society, 2013.

McDONALD, T.; VAN AKEN, E.M.; RENTES, A.F. Utilizing simulation to enhance value stream mapping: a manufacturing case application. **International Journal of Logistics: Research and Applications**. p. 213–232, 2002.

MONTVECCHI, J. B.; PINHO, A. F.; LEAL, F.; MARINS, F. A. S. Application of design of experiment on the simulation of a process in the automotive industry. **In: Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference**. Washington, DC, USA.

Montvechi, J. A. B., F. Leal, A. F. Pinho, R. F. S. Costa, M. L. M. Oliveira, and A. L. F. S. Silva. 2010. Conceptual Modeling in Simulation Projects by Mean Adapted IDEF: An Application in a Brazilian Tech Company. **In: Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference**, Washington, DC, USA.

MONTGOMERY, D.C. **Design and Analysis of Experiments**. Dubai: Wiley, 2012.

NASAB, H. H.; BIOKI, T. A.; ZARE, H. K. Finding a probabilistic approach to analyze lean manufacturing. **Journal of Cleaner Production**. p. 73–81, July, 2012.

O’KANE, J. F.; SPENCELEY, J. R.; TAYLOR, R. Simulation as an essential tool for advanced manufacturing technology problems. **Journal of Materials Processing Technology**. p. 412-424, 2000.

OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção - Além da produção em larga escala**. Rio de Janeiro: Bookman, 1997.

PAJU, M.; HEILALA J.; HENTULA, M.; HEIKKILA, A.; JOHANSSON, B.; LEONG, S.; LYONS, K. Framework and Indicators for a Sustainable Manufacturing Mapping Methodology, **In: Proceedings of the Winter Simulation Conference**, 2010.

PAN, C.; ZHANG, D.; KHON, A.W.; WAI, C.S.; ANG, W.B. Patient flow improvement for an ophthalmic specialist outpatient clinic with aid of discrete event simulation and design of experiment. **Health Care Management Science**. p.137 -155, 2015.

PEPE, C.; WHITNEY, D.; HENRIQUES, E.; FARNDON, R.; MOSS, M. Development of a Framework for Improving Engineering Processes. **In: Proceedings of the 18th International Conference on Engineering Design**. 2011.

PERNSTÅL, J.; FELDT, R.; GORSCHKE, T. The lean gap: A review of lean approaches to large-scale software systems development. **Journal of Systems and Software**. p. 2797 – 2821, 2913.

PIRARD, F., IASSINOVSKI, S.; RIANE, F. A Simulation Based Approach for Supply Network Control. **Journal of Product Innovation Management**. p. 7205–7226, 2011.

PRADO, C.S. Proposta de um modelo de desenvolvimento de Produção Enxuta com utilização da ferramenta Visioneting. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2012, Bento Gonçalves – Rio Grande do Sul. **Anais do XXXII ENEGEP**. Bento Gonçalves: ENEGEP 2006.

QUEIROZ, J.A. **Proposta de um método de gestão econômica para os sistemas produtivos tendo como base teórica os pressupostos que sustentam a contabilidade de ganhos da Teoria das Restrições e os princípios da produção enxuta**. 159f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

QUEIROZ, J.A. Produção enxuta: uma síntese dos aspectos teóricos e práticos. XXXI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO Inovação Tecnológica e Propriedade Intelectual: Desafios da Engenharia de Produção na Consolidação do Brasil no Cenário Econômico Mundial. **Anais do XXXI ENEGEP**. Belo Horizonte, MG, Brasil, 04 a 07 de outubro de 2011.

QUEIROZ, J. A.; RENTES, A. F. Contabilidade de custos vs. Contabilidade de ganhos: resposta às exigências da produção enxuta. **Gestão & Produção**. p. 377-388, 2010.

RAMAKRISHNAN, S.; AL-FANDI, L.; CHEN, J. A simulation based framework to study the impact of lean techniques on green supply chains. **In: Proceedings of the 30th Annual National Conference of the American Society for Engineering Management (ASEM)**, 2009.

RIEDEWALD, F.; BYRNE, E; CRONIN, K. A stochastic model for performance analysis of pharmaceutical high purity water systems. **Simulation Modelling Practice and Theory**. p. 26-38, 2012.

- ROBINSON, S.; BROOKS, R.J. Independent verification and validation of an industrial simulation model. **Simulation**. p. 405-416, 2010.
- ROBINSON, S.; REDNOR, Z.; BURGESS N.; WORTHINGTON C. SimLean: Utilising simulation in the implementation of lean in healthcare. **European Journal of Operational Research**. p. 188–197, 2012.
- ROHANA, A.; NOORIRINAH, O.; ISA, H.; KAMAT, M.P; MEHAD, M.P. Lean waste analysis and improvement using dynamic value stream mapping. **Global Engineers and Technologists**. p 1–8, 2013.
- ROTHER, M.; HARRIS, R. **Criando Fluxo Contínuo**. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2008.
- ROTHER, M.; SHOOK, J. **Aprendendo a enxergar. Mapeando o fluxo de vaor para agregar valor e eliminar desperdícios**. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2008.
- SALGADO, E. G.; MELLO, C. H. P.; LEAL, F.; SILVA, C. E. S. Investigating waste on new product development: case study. **Management & Development**. P June 2015
- SANTOS, G. L.; RIBEIRO, S. L.; LEAL, F.; QUEIROZ, J. A.; ROCHA, F. Aplicação do mapeamento do fluxo de valor integrado à simulação a eventos discretos em uma fábrica de laticínios. **Anais do Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**. Salvador, 2014.
- SARGENT, R. Verification and validation of simulation models. **In: Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference**. Washington, DC, USA.
- <http://www.scopus.com>. Acesso em 25 nov. 2015.
- SHARARAH, M.A. A value stream mapping motion. **Industrial Engineer**. p. 46–50, 2013.
- SHARARAH, M. A.; EL-KILANY, K. S.; EL-SAYED, A. E. Value Stream Map Simulator Using ExtendSim. **In: Proceedings of the World Congress on Engineering (WCE)**, 2011.
- SLACK, N., CHAMBERS, S., JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. Atlas. São Paulo, 2009.
- SMALLEY, A. **Criando o Sistema Puxado Nivelado**. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2004.
- SOLDING, P.; GULLANDER, P. Concepts for Simulation Based Value Stream Mapping. **In: Proceedings of the Winter Simulation Conference**, 2009.
- SUGAI, M.; McINTOSH, R. I.; NOVASKI, O. Metodologia de Shigeo Shingo (SMED): análise crítica e estudo de caso. **Gestão & Produção**. p. 323-335, maio-ago, 2007.
- TANCO, M.; SANTOS, J.; RODRIGUEZ, J. L.; REICH, J. Applying lean techniques to nougat fabrication: a seasonal case study. **International Journal Adventure Manufacturing Technology**. p. 639–1654, 2013.
- THIEDE, S.; YINGYNG, S.; ANDERSSON, J.; JOHANSSON, B. Environmental aspects in manufacturing system modelling and simulation - State of the art and research perspectives. **CIRP Journal Manufacturing Science and Technology**. p. 78-87, 2013.
- TRIOLA, M. F. **Introdução à Estatística**. Rio de Janeiro: LTC, 1999.
- VINODH, S.; SOMANAATHAN, M.; ARVIND, K. R. Development of value stream map for achieving leanness in a manufacturing organization. **Journal of Engineering, Design and Technology**. p. 129–141, 2013.
- WANG, T.K.; YANG, T.; YANG, C. Y. Lean principles and simulation optimization for emergency department layout design. **Industrial Management**. p 678 -699, 2015.
- WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROSS, D. **A máquina que mudou o mundo: baseado no estudo do Massachusetts Institute of Technology sobre o futuro do automóvel**. Rio de Janeiro, Elsevier, 2004.
- WOMACK, J.; JONES, D. **A mentalidade enxuta nas empresas**. Rio de Janeiro, Elsevier, 2004.
- XIA, W. SUN, J. Simulation guided value stream mapping and lean improvement: A case study of a tubular machining facility. **Journal of Industrial Engineering and Management**. p. 456-476, 2013.
- YANG, Q.; CHEN, X.; YAN, Z. The Lean Improvement Analysis based on Simulation for the Process of Civil Aviation Service. **Industrial Engineering and Management**. p. 51–56, 2010.
- YANGA, T.; KUO, Y.; SUC, C. T.; HOUA, C. L. Lean production system design for fishing net manufacturing using lean principles and simulation optimization. **Journal of Manufacturing Systems**. p. 66–73, 2012.

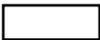
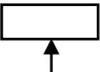
YANG, M. G.; HONG. P.; MODI, S.B. Impact of lean manufacturing and environmental management on business performance: An empirical study of manufacturing firms. **International Journal of Production Economics**. p .251-261, 2011.

YIKUN, X.; QINGJIN, P. Integration of value stream mapping and agent-based modeling for OR improvement. **Business Process Management Journal**. p. 585–599, 2012.

ZUTING, K. R.; MOHAPATRA, P.; DAULTANI, Y.; TIWARI, M. K. A synchronized strategy to minimize vehicle dispatching time: a real example of steel industry. **Adventure Manufacturing**. p. 333-343, 2014.

## ANEXO A

### Simbologia utilizada no IDEF-SIM

Elementos	Simbologia	Elementos	Simbologia
Entidade			Regra E 
Funções		Regras para fluxo paralelos e/ou alternativos	Regra OU 
Fluxo de entidade			Regra E/OU 
Recursos		Fluxo de entrada no sistema modelado	
Controles		Ponto final do sistema	
Movimentação		Conexão com outra figura	
Informação explicativa			

Fonte: Leal (2008)



## ANEXO B

## Lógica de programação do modelo computacional do estado atual

Processo			Roteamento				
Entidade	Local	Operação	Bloco	Saída	Destino	Regra	Lógica de movimento
Leite	Estoque_leite	INC Estoque_materia_prima, 1	1	Leite	Pasteurizar	Primeiro disponível	DEC Estoque_materia_prima, 1
Leite	Pasteurizar	ACCUM 50 Tempo_leite = CLOCK( MIN) Wait 25sec	1	Leite	Coagular1	Até cheio	LOG "Tempo agregação valor leite", Tempo_leite
				Leite	Coagular2	Até Cheio	
Leite	Coagular1	ACCUM 3500 Wait T(3320, 3720, 4200)sec Tempo_massa = CLOCK( MIN)	1	Massa	Fermentar1	Primeiro disponível	
Leite	Coagular2	ACCUM 3400 Wait T(3320, 3720, 4200)sec	1	Massa	Fermentar 2	Primeiro disponível	
Massa	Fermentar1	GROUP 7 Wait T(14400, 15000, 15300)sec GROUP 20	1	Massa	Filar_bola	Probabilidade 0,1 (Começar novo bloco – 1)	MOVE WITH Operador6 AND Operador7 THEN FREE
				Massa	Filar-peca	Probabilidade 0,9 (Começar novo bloco – 1)	
Massa	Fermentar2	GROUP 7 Wait T(14400, 15000, 15300)sec GROUP 20	1	Massa	Filar_bola	Probabilidade 0,1 (Começar novo bloco – 1)	MOVE WITH Operador6 AND Operador7 THEN FREE
				Massa	Filar-peca	Probabilidade 0,9 (Começar novo bloco – 1)	
Massa	Filar_barra	UNGROUP Real a=Rand(1) / If a<=0.02 then { Wait BI(4, 0.65) sec Route 1	1	Rolo_500g	Resfriar	Primeiro disponível Começar novo bloco (2)	
			2	Peca_800g	Enformar	Primeiro disponível Começar novo bloco (1)	
			3	Peca_500g	Enformar	Primeiro disponível Começar novo bloco (2)	

		<pre> } Else If a&lt;=0.06 then { Wait N(3,0.3) sec Route 2 } Else If a&lt;=0.14 then { Wait N(2,0.4) sec Route 3 } Else { Wait BI(22, 0.845) sec Route 4 } LOG "Tempo agregação valor massa", Tempo_massa Tempo_peca4kg = CLOCK( MIN) </pre>	4	Peca_4kg	Enformar	Primeiro disponível Começar novo bloco (1)	
Peca_500g	Enformar	Wait P(1.2) sec	1	Peca_500g	Resfriar	Primeiro disponível	MOVE WITH Operador6 THEN FREE
Peca_800g	Enformar	Wait P(1.23) sec	1	Peca_800g	Resfriar	Primeiro disponível	MOVE WITH Operador7 THEN FREE
Peca_4kg	Enformar	COMBINE 4 Wait BI(8, 0.617) sec	1	Peca_4kg	Resfriar	Primeiro disponível	MOVE WITH Operador8 THEN FREE
Massa	Filar_bola	<pre> UNGROUP Real a=Rand(1) If a&lt;=0.13 then { Wait BI(6, 0.661) sec Route 1 } Else { Wait P(1.1) sec Route 2 } </pre>	1	Bola_50g	Resfriar	Primeiro disponível Começar novo bloco (20)	
			2	Bola_10g	Resfriar	Primeiro disponível Começar novo bloco (100)	

Peca_500g	Resfriar	UNGROUP Wait 12hr Wait until vDia+1	1	Peca_500g	Salgar	Primeiro disponível	Wait until vCapSalga>=0.5 MOVE WITH Operador6 AND Operador7 THEN FREE
Peca_800g	Resfriar	UNGROUP Wait 12hr Wait until vDia+1	1	Peca_800g	Salgar	Primeiro disponível	Wait until vCapSalga>=0.8 MOVE WITH Operador6 AND Operador7 THEN FREE
Peca_4kg	Resfriar	UNGROUP Wait 12hr Wait until vDia+1 INC Estoqueprocessoresfriamento, 1	1	Peca_4kg	Salgar	Primeiro disponível	Wait until vCapSalga>=4 DEC Estoqueprocessoresfriamento, 1 MOVE WITH Operador8 AND Operador9 THEN FREE
Rolo_500g	Resfriar	Wait 12hr Wait until vDia+1	1	Rolo_500g	Salgar	Primeiro disponível	Wait until vCapSalga>=0.5 MOVE WITH Operador8 AND Operador9 THEN FREE
Bola_10g	Resfriar	Wait 12hr Wait until vDia+1	1	Bola_10g	Salgar	Primeiro disponível	Wait until vCapSalga>=0.01
Bola_50g	Resfriar	Wait 12h Wait until vDia+1	1	Bola_50g	Salgar	Primeiro disponível	Wait until vCapSalga>=0.05
Peca_500g	Salgar	Inc vCapSalga, 0.5 Wait 900 sec	1	Peca_500g	Secar	Primeiro disponível	Dec vCapSalga, 0.5 MOVE WITH Operador6 AND Operador7 THEN FREE
Peca_800g	Salgar	Inc vCapSalga, 0.8 Wait 900 sec	1	Peca_800g	Secar	Primeiro disponível	Dec vCapSalga, 0.8 MOVE WITH Operador6 AND Operador7 THEN FREE
Peca_4kg	Salgar	Inc vCapSalga, 4 Wait 19000 sec	1	Peca_4kg	Secar	Primeiro disponível	Dec vCapSalga, 4 MOVE WITH Operador8 AND Operador9 THEN FREE
Rolo_500g	Salgar	Inc vCapSalga, 0.5 Wait 2300 sec	1	Rolo_500g	Secar	Primeiro disponível	Dec vCapSalga, 0.5 MOVE WITH Operador8 AND Operador9 THEN FREE
Bola_10g	Salgar	Inc vCapSalga, 0.01 Wait T(18000, 19200, 19800)sec	1	Bola_10g	Secar	Primeiro disponível	Dec vCapSalga, 0.01
Bola_50g	Salgar	Inc vCapSalga, 0.05 Wait 1200 sec	1	Bola_50g	Secar	Primeiro disponível	Dec vCapSalga, 0.05
Peca_500g	Secar	Wait 12 hr	1	Peca_500g	Embalar	Primeiro disponível	MOVE WITH Operador10 OR Operador11 OR Operador12 THEN FREE
Peca_800g	Secar	Wait 12 hr	1	Peca_800g	Embalar	Primeiro disponível	MOVE WITH Operador10 OR Operador11 OR Operador12 THEN FREE
Peca_4kg	Secar	Wait 12 hr	1	Peca_4kg	Embalar	Primeiro disponível	MOVE WITH Operador10 OR

							Operador11 OR Operador12 THEN FREE DEC Estoqueprocessamentosecagem, 1
Rolo_500g	Secar	Wait 12 hr	1	Rolo_500g	Embalar	Primeiro disponível	MOVE WITH Operador10 OR Operador11 OR Operador12 THEN FREE
Bola_10g	Secar	Wait 12 hr	1	Bola_10g	Embalar	Primeiro disponível	
Bola_50g	Secar	Wait 12 hr	1	Bola_50g	Embalar	Primeiro disponível	
Peca_500g	Embalar	GET Operador9 AND Operador10 AND Operador11 AND Operador12 FREE ALL Wait BI(21, 0.229) sec	1	Peca_500g	Selar	Primeiro disponível	MOVE WITH Operador13 OR Operador14 THEN FREE
Peca_800g	Embalar	GET Operador9 AND Operador10 AND Operador11 AND Operador12 FREE ALL Wait BI(93, 0.12) sec	1	Peca_800g	Selar	Primeiro disponível	MOVE WITH Operador13 OR Operador14 THEN FREE
Peca_4kg	Embalar	GET Operador9 AND Operador10 AND Operador11 AND Operador12 FREE ALL Wait BI(43, 0.363) sec	1	Peca_4kg	Selar	Primeiro disponível	MOVE WITH Operador13 OR Operador14 THEN FREE
Rolo_500g	Embalar	GET Operador9 AND Operador10 AND Operador11 AND Operador12 FREE ALL Wait P(28.1) sec	1	Rolo_500g	Selar	Primeiro disponível	MOVE WITH Operador13 OR Operador14 THEN FREE MOVE
Bola_10g	Embalar	GET Operador9 AND Operador10 AND Operador11 AND Operador12 FREE ALL Wait P(15.3) sec	1	Bola_10g	Selar	Primeiro disponível	MOVE WITH Operador13 OR Operador14 THEN FREE
Bola_50g	Embalar	GET Operador9 AND Operador10 AND Operador11 AND Operador12 FREE ALL Wait BI(7, 0.752) sec	1	Bola_50g	Selar	Primeiro disponível	MOVE WITH Operador13 OR Operador14 THEN FREE
Peca_500g	Selar	GET Operador13 AND Operador14 Wait P(58.2) sec FREE ALL	1	Peca_500g	Expedição	Primeiro disponível	
Peca_800g	Selar	GET Operador13 AND Operador14 Wait N(41, 5.1) sec FREE ALL	1	Peca_800g	Expedição	Primeiro disponível	
Peca_4kg	Selar	GET Operador13 AND Operador14 Wait P(74.1) sec	1	Peca_4kg	Expedição	Primeiro disponível	

		FREE ALL					
Rolo_500g	Selar	GET Operador13 AND Operador14 Wait P(52.2) sec FREE ALL	1	Rolo_500g	Expedição	Primeiro disponível	
Bola_10g	Selar	GET Operador13 AND Operador14 Wait BI(76, 0.545) sec FREE ALL	1	Bola_10g	Expedição	Primeiro disponível	
Bola_50g	Selar	GET Operador13 AND Operador14 Wait BI(76, 0.545) sec FREE ALL	1	Bola_50g	Expedição	Primeiro disponível	
Peca_500g	Expedição		1	Peca_500g	EXIT	Primeiro disponível	
Peca_800g	Expedição		1	Peca_800g	EXIT	Primeiro disponível	
Peca_4kg	Expedição	INC Producao_final_4kg, 1 LOG "Tempo agregação valor peça 4kg", Tempo_peca4kg	1	Peca_4kg	EXIT	Primeiro disponível	
Rolo_500g	Expedição		1	Rolo_500g	EXIT	Primeiro disponível	
Bola_10g	Expedição		1	Bola_10g	EXIT	Primeiro disponível	
Bola_50g	Expedição		1	Bola_50g	EXIT	Primeiro disponível	
Congelado	Estoque_congelado	INC Estoqueprodutoacabado, 1	1	Congelado	EXIT	Primeiro disponível	

## ANEXO C

## Lógica de programação do modelo computacional do estado futuro

Processo			Roteamento				
Entidade	Local	Operação	Bloco	Saída	Destino	Regra	Lógica de movimento
Massa	Congelar	INC Estoquemassacongelada, 1	1	Massa	Descongelar	Se Send	MOVE WITH Operador3 AND Operador4 THEN FREE DEC Estoquemassacongelada, 1
Massa	Descongelar	INC Kanban_descongelo, 1 Wait 3hr If Kanban_descongelo=1 then { SEND 944 Massa TO Descongelo }	1	Massa	Supermercado massa descongelo	Se Send	DEC Kanban_descongelo, 1
Kanban_retirada	Supermercado massa descongelo	INC kanban_retirada, 1	1	Kanban_retirada	Filar_peco	Primeiro disponível Começar novo bloco (1)	DEC kanban_retirada, 1
Massa	Supermercado massa descongelo	If kanban_retirada =1 then { SEND 944 Massa TO Zona_uniao }	1	Massa	Zona_uniao	Primeiro disponível Começar novo bloco (1)	
Massa	Supermercado massa descongelo	COMBINE 32	1	Massa	Zona_uniao	JOIN 1	
Kanban_4kg	Heijinka_box_peco	wait 1 sec Tempo_peco4kg = CLOCK( MIN)	1	Kanban_4kg	Zona_uniao	Primeiro disponível Começar novo bloco (1)	
Kanban_800g	Heijinka_box_peco	wait 1 sec	1	Kanban_800g	Zona_uniao	Primeiro disponível Começar novo bloco (1)	
Kanban_300g	Heijinka_box_peco	wait 1 sec	1	Kanban_500g	Zona_uniao	Primeiro disponível Começar novo bloco (1)	
Kanban_Rolo	Heijinka_box_peco	wait 1 sec	1	Kanban_Rolo	Zona_uniao	Primeiro disponível Começar novo bloco (1)	
Kanban_Bola10g	Heijinka_box_bola	wait 1 sec	1	Kanban_Bola10g	Zona_uniao	Primeiro disponível Começar novo bloco (1)	
Kanban_Bola50g	Heijinka_box_bola	wait 1 sec	1	Kanban_Bola50g	Zona_uniao	Primeiro disponível Começar novo bloco	

						(1)	
Kanban_4kg	Zona_uniao	JOIN 1 Massa	1	Kanban_4kg	Filar_peca	Primeiro disponível Começar novo bloco (1)	
Kanban_800g	Zona_uniao	JOIN 1 Massa	1	Kanban_800g	Filar_peca	Primeiro disponível Começar novo bloco (1)	
Kanban_500g	Zona_uniao	JOIN 1 Massa	1	Kanban_500h	Filar_peca	Primeiro disponível Começar novo bloco (1)	
Kanban_Rolo	Zona_uniao	JOIN 1 Massa	1	Kanban_Rolo	Filar_peca	Primeiro disponível Começar novo bloco (1)	
Kanban_Bola10g	Zona_uniao	JOIN 1 Massa	1	Kanban_Bola10g	Filar_bola	Primeiro disponível Começar novo bloco (1)	
Kanban_Bola50g	Zona_uniao	JOIN 1 Massa	1	Kanban_Bola50g	Filar_bola	Primeiro disponível Começar novo bloco (1)	
Kanban_retirada	Filar_peca	Wait 24h	1	Kanban_retirada	Supermercado_massa _descongelada	Primeiro disponível Começar novo bloco (1)	
Kanban_4kg	Filar_peca	Wait 16sec SPLIT 4 AS Peca_4kg	1	Peca_4kg	Resfriar	Primeiro disponível Começar novo bloco (1)	
Kanban_800g	Filar_peca	Wait 2sec SPLIT 40 AS Peca_800g	1	Peca_800g	Resfriar	Primeiro disponível Começar novo bloco (1)	
Kanban_500g	Filar_peca	Wait 2sec SPLIT 64 AS Peca_500g	1	Peca_500g	Resfriar	Primeiro disponível Começar novo bloco (1)	
Kanban_Rolo	Filar_peca	Wait 2sec SPLIT 64 AS Rolo	1	Rolo	Resfriar	Primeiro disponível Começar novo bloco (1)	
Kanban_bola10g	Filar_bola	Wait 2sec SPLIT 128 AS Bola10g	1	Bola50g	Resfriar	Primeiro disponível Começar novo bloco (1)	
Kanban_bola50g	Filar_bola	Wait 2sec SPLIT 128 AS Bola50g	1	Bola50g	Resfriar	Primeiro disponível Começar novo bloco (1)	

Peca_4kg	Resfriar	Wait 2hr	1	Peca_4kg	Salgar	Primeiro disponível Começar novo bloco (1)	
Peca_800g	Resfriar	Wait 25min	1	Peca_800g	Salgar	Primeiro disponível Começar novo bloco (1)	
Peca_500g	Resfriar	Wait 25min	1	Peca_500g	Salgar	Primeiro disponível Começar novo bloco (1)	
Rolo	Resfriar	Wait 25min	1	Rolo	Salgar	Primeiro disponível Começar novo bloco (1)	
Bola10g	Resfriar	Wait 5min	1	Bola10g	Salgar	Primeiro disponível Começar novo bloco (1)	
Bola50g	Resfriar	Wait 5min	1	Bola50g	Salgar	Primeiro disponível Começar novo bloco (1)	
Peca_4kg	Salgar	Wait 2hr	1	Peca_4kg	Secar	Primeiro disponível Começar novo bloco (1)	
Peca_800g	Salgar	Wait 25min	1	Peca_800g	Secar	Primeiro disponível Começar novo bloco (1)	
Peca_500g	Salgar	Wait 25min	1	Peca_500g	Secar	Primeiro disponível Começar novo bloco (1)	
Rolo	Salgar	Wait 25min	1	Rolo	Secar	Primeiro disponível Começar novo bloco (1)	
Bola10g	Salgar	Wait 5min	1	Bola10g	Secar	Primeiro disponível Começar novo bloco (1)	
Bola50g	Salgar	Wait 5min	1	Bola50g	Secar	Primeiro disponível Começar novo bloco (1)	
Peca_4kg	Secar	Wait 5min	1	Peca_4kg	Embalar	Primeiro disponível Começar novo bloco (1)	
Peca_800g	Secar	Wait 5min	1	Peca_800g	Embalar	Primeiro disponível Começar novo bloco (1)	

Peca_500g	Secar	Wait 5min	1	Peca_500g	Embalar	Primeiro disponível Começar novo bloco (1)	
Rolo	Secar	Wait 5min	1	Rolo	Embalar	Primeiro disponível Começar novo bloco (1)	
Bola10g	Secar	Wait 5min	1	Bola10g	Embalar	Primeiro disponível Começar novo bloco (1)	
Bola50g	Secar	Wait 5min	1	Bola50g	Embalar	Primeiro disponível Começar novo bloco (1)	