UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

LUISA ABREU CARDOSO

A DECISÃO DE MUDANÇA DE INSTALAÇÕES BASEADA NA SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS

JUIZ DE FORA
2012

LUISA ABREU CARDOSO

A DECISÃO DE MUDANÇA DE INSTALAÇÕES BASEADA NA SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Orientador: Prof. DSc, Fernando Marques de Almeida Nogueira

JUIZ DE FORA

2012

LUISA ABREU CARDOSO

A DECISÃO DE MUDANÇA DE INSTALAÇÕES BASEADA NA SIMULAÇÃO DE EVENTOS DISCRETOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Aprovada em 11 de outubro de 2012.

BANCA EXAMINADORA

_____

Prof. DSc, Fernando Marques de Almeida Nogueira (Orientador)

Universidade Federal de Juiz de Fora

_____

Prof. DSc, Bruno Milanez

Universidade Federal de Juiz de Fora

_____

Prof. DSc, Marcos Martins Borges

Universidade Federal de Juiz de Fora

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os que tornaram este trabalho possível e de alguma maneira contribuíram para seu êxito. Agradeço ao meu orientador, professores da banca, colegas de trabalho, colaboradores da empresa, amigos, pais, irmão, namorado e a Deus. Meus sinceros agradecimentos!

RESUMO

O presente trabalho foi desenvolvido no contexto de uma indústria de rações, tendo por objetivo a análise do incremento na capacidade produtiva que poderá vir a ser obtido em função de uma mudança de instalações. Com este intuito, foi utilizado o método da simulação computacional e, mediante a observação do sistema atual, foi criado um modelo que o representasse adequadamente, sendo seus parâmetros especificados por meio do tratamento estatístico dos dados coletados acerca dos tempos de operações. Os resultados da simulação permitiram que os pontos mais críticos do sistema atual fossem evidenciados. Posteriormente, foi modelado o sistema futuro em fase de construção e, através de sua simulação, foi constatado o potencial de ganho em capacidade produtiva que a nova planta poderá acarretar. Um detalhamento maior do estudo, no entanto, é primordial para garantia desta melhoria. O trabalho evidenciou ainda que a simulação é uma ferramenta que pode ser utilizada satisfatoriamente como auxílio na avaliação do comportamento de sistemas, bem como na constatação de viabilidade de soluções propostas aos mesmos.

Palavras-chave: Capacidade produtiva, simulação computacional, indústria de nutrição animal.

ABSTRACT

The present study was developed in the context of an animal feed industry, having the purpose of analyzing the increment that could be obtained due to a plant change. With this intention, the computer simulation method was applied and a model, which adequately represented it, was created by the observation of the present system. Its parameters were stated via statistical analysis of collected data about operation times. The simulation results highlighted its most critical points. The future system, currently being constructed, was then modeled and the potential increment in productive capacity was found with its simulation. However, a better detailing of the study is primordial to guarantee this improvement. The study also evidenced that simulation is a tool that can be well used as a support to the evaluation of the system behavior and in verifying the feasibility of proposed solutions as well.

Keywords: Productive capacity, computer simulation, animal feed industry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Etapas de desenvolvimento do estudo 16
Figura 2 - Metodologia de desenvolvimento da simulação 23
Figura 3 - Representação esquemática do processo produtivo da indústria de rações 31
Figura 4 - Representação esquemática do modelo do sistema 38
Figura 5 - Taxa de chegada no misturador da linha verde 41
Figura 6 - Taxa de chegada no misturador da linha vermelha 41
Figura 7 - Tempo de processamento no misturador da linha verde 41
Figura 8 - Tempo de processamento no misturador da linha vermelha 41
Figura 9 - Tempo de processamento na prensagem, resfriamento e trituração 42
Figura 10 - Tempo de processamento no ensaque mais lento 42
Figura 11 - Tempo de processamento no ensaque mais rápido 42
Figura 12 - Tempo de processamento no ensaque de fardos 43
Figura 13 - Tempo de transporte dos lotes do misturador da linha verde para os silos 44
Figura 14 - Tempo de transporte dos lotes do misturador da linha vermelha para os silos 44
Figura 15 - Tempo de transporte dos lotes do misturador da linha verde para a prensa 44
Figura 16 - Tempo de transporte dos lotes do misturador da linha vermelha para a prensa 44
Figura 17 - Percentuais de rações peletizadas ou trituradas e fareladas na linha verde 46
Figura 18 - Percentuais de rações peletizadas ou trituradas e fareladas na linha vermelha 46
Figura 19 - Percentuais de rações a granel e ensacadas na linha vermelha 47
Figura 20 - Percentuais de rações peletizadas ou trituradas em fardos e sacos de 20kg/40kg 47
Figura 21 - Modelo do sistema atual no Arena 48
Figura 22 - Modelo da linha verde do sistema futuro no Arena 54
Figura 23 - Modelo da linha vermelha do sistema futuro no Arena 55
Figura 24 - Tempo de processamento na prensagem, resfriamento e trituração da linha verde no novo sistema 58
Figura 25 - Tempo de processamento no ensaque da linha verde no novo sistema 58
Figura 26 - Tempo de transporte dos lotes do misturador da linha verde para os silos no novo sistema 58
Figura 27 - Tempo de transporte dos lotes do misturador da linha verde para a prensa no novo sistema 58
Figura 28 - Taxa de chegada no misturador da linha verde no novo sistema 59
Figura 29 - Taxa de chegada no misturador da linha vermelha no novo sistema 59
Figura 30 - Tempo de processamento na prensagem, resfriamento e trituração da linha vermelha com ganho de 15% 64

Figura 31 - Tempo de processamento no ensaque de fardos com ganho de 5% 64

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Exemplos de sistemas e seus componentes.....25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados de verificação e validação do modelo do sistema atual 50
Tabela 2 - Filas relacionadas ao sistema atual..... 51
Tabela 3 - Tempo total de permanência na prensagem do sistema atual 51
Tabela 4 - Utilização dos recursos do sistema atual..... 51
Tabela 5 - Dados de verificação e validação do modelo do novo sistema 60
Tabela 6 - Filas relacionadas ao novo sistema 61
Tabela 7 - Tempo total de permanência na prensagem do novo sistema 61
Tabela 8 - Utilização dos recursos do novo sistema..... 62
Tabela 9 - Filas relacionadas à proposta de melhoria..... 66
Tabela 10 - Tempo total de permanência na prensagem com a proposta de melhoria..... 66
Tabela 11 - Utilização dos recursos com a proposta de melhoria 66
Tabela 12 - Comparação da capacidade produtiva do sistema atual com o futuro 67

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 13

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS 13
1.2 JUSTIFICATIVA 14
1.3 ESCOPO DO TRABALHO 14
1.4 ELABORAÇÃO DOS OBJETIVOS 15
1.5 DEFINIÇÃO DA METODOLOGIA 15
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO 16

2. REVISÃO DE LITERATURA 18

2.1 PLANEJAMENTO DA CAPACIDADE 18
2.1.1 Introdução 18
2.1.2 Expansão da Capacidade 19
2.2 TEORIA DE FILAS 19
2.2.1 Introdução 19
2.2.2 Elementos das Filas 20
2.2.3 Disciplina das Filas 21
2.2.4 Medidas de Desempenho e Parâmetros 21
2.3 SIMULAÇÃO 22
2.3.1 Introdução 22
2.3.2 Metodologia de Desenvolvimento da Simulação 23
2.3.3 Elementos da Simulação 24
2.3.4 Simulação a Eventos Discretos 26
2.3.5 Arena 26

3. A EMPRESA E O PROCESSO 28

3.1 EMPRESA 28
3.2 PROBLEMA DAS INSTALAÇÕES 29
3.3 PROCESSO PRODUTIVO 29

3.3.1 Representação Esquemática do Processo Produtivo 30
3.3.2 Processo Produtivo na Atual Planta Industrial 32
3.3.3 Processo Produtivo na Futura Planta Industrial 33

4. DESENVOLVIMENTO 35

4.1 ASPECTOS GERAIS 35
4.2 CONSIDERAÇÕES IMPORTANTES 35
4.2.1 Confiabilidade dos Recursos 35
4.2.2 Controle de Qualidade 35
4.2.3 Discretização dos Lotes 36
4.2.4 Formação das Ordens de Produção 36
4.2.5 Entrada e Saída do Sistema 37
4.2.6 Etapas de Prensagem/Peletização, Resfriamento e Trituração 37
4.3 LÓGICA DO MODELO 39
4.4 COLETA E ANÁLISE DE DADOS 40
4.4.1 Tempos de Processamento 40
4.4.2 Tempos de Transporte 43
4.4.3 Percentual de Produtos Destinados a Cada Processo 45
4.5 MODELO DO SISTEMA ATUAL 47
4.6 ANÁLISE DA SIMULAÇÃO 49
4.7 NOVO CENÁRIO 53
4.7.1 Descrição do Novo Cenário 53
4.7.1.1 Tempos de Processamento 56
4.7.1.2 Tempos de Transporte 57
4.7.1.3 Percentual de Produtos Destinados a Cada Processo 57
4.7.1.4 Consideração Importante Sobre a Linha Verde 57
4.7.1.5 Definição das Taxas de Chegada 59
4.7.2 Simulação e Análise do Novo Cenário 59
4.7.3 Proposição de Melhoria 64
4.7.4 Análise do Ganho em Capacidade Produtiva 66

5. CONCLUSÕES 68

5.1 BALANÇO DO ESTUDO 68
5.2 PRÓXIMOS PASSOS 69
5.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS 70

REFERÊNCIAS 72

ANEXO 1 – TERMO DE AUTENTICIDADE 74

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Inseridas em um ambiente a cada dia mais competitivo, as empresas têm buscado se diferenciar de diversas maneiras, sendo uma delas por meio da melhor organização de seus processos produtivos e logísticos, de forma a obter ganhos em produtividade e rapidez nas entregas, conforme observado por Clênio Oliveira (2008, p. 1):

> A busca da competitividade no atendimento às necessidades do cliente final tem gerado a necessidade de melhor organizar os processos de produção e logística, tornando mais ágil toda a cadeia do processo produtivo. A pesquisa por um processo produtivo bem estruturado, com baixos níveis de estoques intermediários, maior produtividade e menores prazos de entrega, tem sido o principal desafio imposto às empresas do setor industrial.

Neste contexto, é relevante que se observe que para algumas empresas os processos produtivos em uma instalação atual já foram organizados da forma mais adequada possível e que maiores ganhos em produtividade implicariam na transferência do setor de produção para uma nova planta, na qual o ganho em capacidade resultaria no aumento da produtividade da empresa.

De acordo com Slack et al. (2002), a capacidade de uma operação pode ser definida como o nível máximo de atividade de valor adicionado que o processo pode realizar em condições normais de operação e em determinado período de tempo, podendo ser modificada por meio da utilização de diferentes métodos: horas extras, variação do tamanho das forças de trabalho, uso de pessoal em tempo parcial, subcontratação e gerência da demanda. Quando a capacidade atinge um limite, no entanto, segundo Moreira (2002), a empresa deverá recorrer a novas alternativas de expansão da capacidade, como, por exemplo, a mudança para novas instalações.

Neste contexto, o uso da simulação como ferramenta de auxílio à tomada de decisão se mostra um forte aliado, uma vez que permite que os resultados de uma mudança sejam visualizados sem que, contudo, a realidade do sistema de produção precise ser alterada na realidade (OLIVEIRA, J., 2008).

No estudo em questão, o uso da simulação visa à comparação entre realidades distintas de um sistema produtivo de uma empresa do setor de nutrição animal. A comparação se dá por meio da análise da capacidade produtiva das atuais instalações da empresa e da futura planta em fase de construção.

1.2 JUSTIFICATIVA

A empresa na qual o trabalho foi desenvolvido, foi criada em 1996 e, desde então, vem se desenvolvendo e ganhando destaque em Juiz de Fora e região. Ao longo de sua trajetória, na medida em que incrementos na demanda ocorreram, a empresa se reestruturou de forma a atender plenamente ao mercado em crescimento. Atualmente, no entanto, as instalações da indústria operam em capacidade máxima, uma vez que estas se encontram plenamente ocupadas e não há maneiras de se expandir. É válido ainda ressaltar que a planta foi, na verdade, adaptada para o funcionamento de uma indústria de rações, pois pertencia, inicialmente, a uma indústria têxtil.

Com base na situação descrita, a avaliação dos ganhos obtidos em capacidade produtiva com as futuras instalações da indústria se mostra de grande relevância frente ao avanço que será obtido tanto no nível de capacidade quanto no de organização, considerando-se que a mudança será responsável também pela melhoria nos processos logísticos e meios de armazenamento de matérias primas e produtos acabados. Logo, a análise da capacidade produtiva das atuais instalações da empresa e da futura planta em fase de construção é essencial para efeito de comparação e avaliação da expansão.

Por fim, tendo em vista o estudo proposto, a simulação é considerada um método apropriado e eficiente, em função de sua abordagem, que permite que os resultados de uma mudança sejam visualizados sem que, contudo, a realidade do sistema de produção precise ser alterada na realidade.

1.3 ESCOPO DO TRABALHO

O trabalho foi desenvolvido em uma indústria de rações e utilizou-se o método da simulação computacional. Dessa forma, criou-se um modelo que representasse adequadamente o sistema atual para que, enfim, sua capacidade produtiva fosse analisada e, posteriormente, a expansão proporcionada pela mudança de instalações pudesse ser mensurada. Este estudo preliminar está limitado à análise dos tempos envolvidos no processo, não sendo considerados dados relativos aos custos.

1.4 ELABORAÇÃO DOS OBJETIVOS

O trabalho teve por objetivo analisar, por meio da simulação computacional, o incremento a ser obtido na capacidade produtiva de uma indústria de rações, em função da mudança prevista das atuais instalações, que operam com capacidade máxima, para uma futura planta em fase de construção, que será maior e mais apropriada à indústria. Tal comparação permitiu mensurar a expansão que será obtida.

1.5 DEFINIÇÃO DA METODOLOGIA

A definição da metodologia de pesquisa foi baseada na classificação de Miguel et al. (2010). Sendo assim, o trabalho é classificado como de natureza aplicada, considerando-se que tem por objetivo a aplicação prática de um conhecimento na solução de um problema específico. Quanto aos objetivos, apresenta caráter exploratório, pois visa proporcionar maior familiaridade com o problema proposto e comprovar a hipótese de que a mudança, de fato, trará à indústria de rações ganhos em capacidade de produção. A abordagem da pesquisa é quantitativa, uma vez que a capacidade produtiva será traduzida numericamente por meio da utilização do método de modelagem e simulação.

A metodologia utilizada para realização do estudo foi baseada na proposta de Chwif e Medina (2007) de Metodologia de Desenvolvimento da Simulação conforme pode ser verificado no segundo capítulo – Revisão de Literatura – deste trabalho. Abaixo se encontra uma representação esquemática do processo de desenvolvimento do estudo (Figura 1).

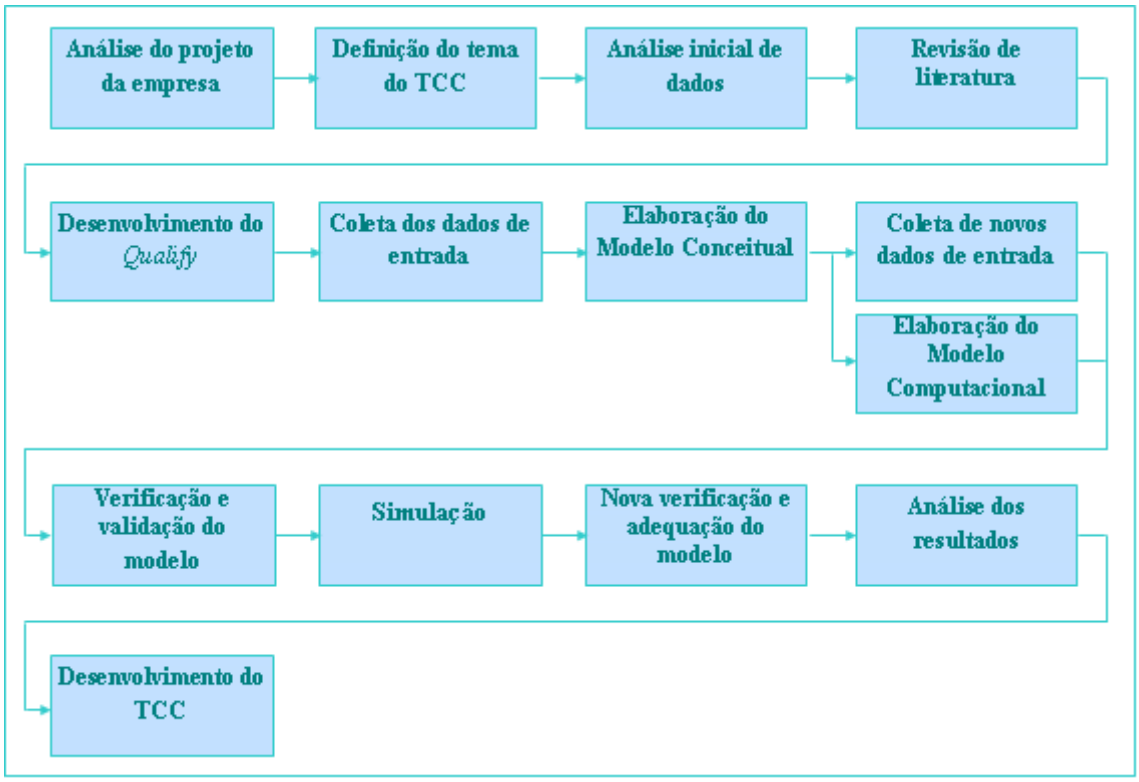

Figura 1 - Etapas de desenvolvimento do estudo
Fonte: o autor, 2012

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está organizado em cinco capítulos, dos quais o primeiro apresenta a contextualização do assunto a ser abordado e a justificativa de escolha do tema. Em seguida, são apresentados a definição do escopo e o objetivo do estudo. O capítulo traz ainda a metodologia aplicada por meio da caracterização do tipo de pesquisa e da descrição das etapas de realização do estudo.

O segundo capítulo apresenta a revisão de literatura com abordagens que partem da definição de capacidade produtiva, passando pelos conceitos de teoria de filas, para, enfim, conceituar simulação e seus pontos mais importantes.

O terceiro capítulo traz uma abordagem do sistema a ser estudado, por meio de uma descrição da empresa, do processo produtivo e das particularidades da indústria de rações.

No capítulo quatro é descrito todo o processo de levantamento e de análise dos dados para criação do modelo e os resultados obtidos com a simulação. Além disso, são feitas a análise e a comparação dos cenários com base nestes resultados e melhorias ao processo são propostas.

Por fim, o capítulo cinco apresenta as conclusões obtidas com o trabalho de acordo com o objetivo proposto inicialmente e apresenta ainda algumas iniciativas que podem ser implantadas no futuro.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Este capítulo tem por finalidade abordar uma revisão da literatura relacionada aos principais conceitos e ferramentas aplicados à simulação, tomando como base o ponto principal da mudança que será analisada: a capacidade produtiva e a mudança de instalações. Para tanto, serão analisados a seguir:

- Planejamento da capacidade;
- Teoria de Filas;
- Simulação.

2.1 PLANEJAMENTO DA CAPACIDADE

2.1.1 Introdução

A capacidade é definida por Moreira (2002) como a máxima quantidade de produtos que pode ser fabricada em uma unidade produtiva em determinado intervalo de tempo. Neste contexto, entende-se por unidade produtiva uma fábrica, um departamento, uma máquina, um posto de trabalho, dentre outros. De acordo com Slack et al. (2002), a capacidade de uma operação corresponde ao nível máximo de atividade de valor que pode ser adicionado pelo processo, em condições normais de operação e em dado período de tempo.

Ainda segundo Moreira (2002), existem diversos fatores que influenciam na capacidade, sendo os principais descritos a seguir:

- Instalações: fator relacionado ao tamanho e ao arranjo físico da unidade produtiva;
- Composição dos Produtos: apresenta uma relação direta com a capacidade, uma vez que quanto menor for o mix de produtos, maiores serão o grau de padronização e a capacidade;
- Projeto do Processo: o grau de automação do processo influencia positivamente na capacidade. Processos manuais apresentam menor capacidade se comparados a processos semiautomatizados, que por sua vez, apresentam menor capacidade em relação aos processos totalmente automatizados;
- Fatores Humanos: quanto maior a experiência e habilidade dos funcionários, maior será a capacidade;

- Fatores Operacionais: setores ou processos gargalos podem restringir a capacidade dos demais setores e processos, pois podem diminuir a utilização dos mesmos;
- Fatores Externos: mudanças no grau de exigência quanto à qualidade ou desempenho do produto podem acarretar alterações de capacidade, uma vez que, visando adequar o produto às atuais exigências, pode ser necessário acrescentar ou eliminar algum processo.

2.1.2 Expansão da Capacidade

Na medida em que a demanda apresenta um padrão de crescimento, torna-se necessário que a empresa busque formas de ajustar sua capacidade produtiva à nova demanda. De maneira geral, tais ajustes ocorrem de forma descontínua, em outras palavras, ocorrem "saltos" na capacidade até que seja atingido o limite máximo da instalação. Atingido o limite, a empresa deverá recorrer a novas alternativas de expansão, como ocorre em casos de terceirização da produção e da procura por novas instalações (MOREIRA, 2002).

Segundo o mesmo autor, outras formas de obtenção de aumento na capacidade se dão por meio da reorganização do arranjo físico, do investimento em novos equipamentos ou do aprimoramento das técnicas de programação e controle da produção.

2.2 TEORIA DE FILAS

2.2.1 Introdução

De acordo com Sinay (2006), um sistema de filas é qualquer processo, no qual os usuários provenientes de uma determinada população chegam ao sistema para serem atendidos, aguardam em fila, se necessário, e deixam o sistema após serem atendidos. A espera acontece quando a demanda pelo sistema é maior do que a capacidade de atendimento instalada em termos de fluxo.

As pessoas em seu cotidiano se deparam constantemente com situações nas quais o fenômeno de filas pode ser observado. Há filas nos caixas de supermercados e padarias, nos pontos de ônibus e em consultórios médicos. De maneira mais aplicada, a passagem de produtos por uma linha de produção é comumente estudada como um fenômeno de filas. Vale ressaltar, no entanto, que as filas geradas em linhas de produção representam um aumento no

tempo de permanência do produto em processos que não agregam valor, e, por isso, torna-se essencial que a capacidade e o fluxo do sistema sejam adequadamente gerenciados, uma vez que apresentam forte impacto no nível de serviço oferecido.

2.2.2 Elementos das Filas

Os sistemas de filas são formados por clientes ou produtos provenientes de uma população, os quais chegam ao sistema e aguardam em fila até que sejam atendidos pelos servidores. Os principais elementos de uma fila foram descritos por Sinay (2006) e serão abordados a seguir:

- Clientes e tamanho da população: um cliente é oriundo de uma população finita ou infinita. A população é dita infinita quando é grande o bastante tal que a entrada de um de seus elementos no sistema não altere a fila. A população finita, por sua vez, é pequena o bastante tal que a entrada de um elemento no sistema seja representativa;
- Processo de chegada: o processo de chegada define como os clientes ingressam no sistema, sendo classificado como determinístico ou estocástico. No modelo determinístico, o número de chegadas e os instantes de tempo em que elas ocorrem são conhecidos. No modelo estocástico, as chegadas são aleatórias e obedecem a uma distribuição de probabilidade. Uma maneira comum de se especificar o processo de chegadas ao sistema é por meio da taxa média de chegadas e do intervalo médio entre elas;
- Processo de atendimento: o processo de atendimento define como os clientes deixam o sistema e representa a velocidade com que o servidor realiza os atendimentos. É especificado pela taxa média de atendimento e pelo tempo médio de atendimento;
- Número de servidores: representa a quantidade de locais de atendimento do sistema, podendo ser finito ou infinito, este último no caso de sistemas *selfservice*, no qual o cliente realiza o autoatendimento;
- Capacidade do sistema: indica o número máximo de clientes que o sistema comporta, tanto em atendimento quanto em fila. Esta capacidade pode ser finita, como no caso de produtos aguardando para serem processados em uma linha de

produção, ou infinita. Quando a capacidade do sistema é finita, novos clientes serão rejeitados se a capacidade do sistema for atingida.

2.2.3 Disciplina das Filas

A disciplina da fila representa a regra de atendimento dos clientes no sistema (SINAY, 2006). Algumas das disciplinas serão descritas a seguir:

- FIFO / PEPS (*First in First Out* / Primeiro a Entrar Primeiro a Sair): os usuários são atendidos na medida em que chegam ao sistema, ou seja, o atendimento ocorre por ordem de chegada. É a disciplina mais adotada no fenômeno de filas;
- LIFO / UEPS (*Last in First Out* / Último a Entrar Primeiro a Sair): nesta disciplina o usuário que chega por último é o primeiro a ser atendido, como no caso do empilhamento de cargas em um navio;
- PRI (*Priority Service*): os usuários são atendidos de acordo com uma prioridade estabelecida, como ocorre com mulheres grávidas e idosos em filas de bancos;
- SIRO (*Service in Random Order*): os usuários são atendidos de forma aleatória, como no caso de clientes contemplados em consórcios.

2.2.4 Medidas de Desempenho e Parâmetros

As medidas de desempenho comumente aplicadas às filas são indicadores que permitem que se conheça o desempenho do sistema em análise (SINAY, 2006). São elas:

- Wq » tempo médio de espera na fila;
- W » tempo médio de espera no sistema;
- Lq » número médio de clientes na fila;
- L » número médio de clientes no sistema;
- ρ » fator de utilização para instalação de atendimento ($\rho = \lambda / (s^* \mu)$), onde λ é a taxa de chegada, μ é a taxa de atendimento e s é o número de servidores.

2.3 SIMULAÇÃO

2.3.1 Introdução

Existem diversas definições para simulação na literatura, dentre as quais a de Banks et al. (2004), que descrevem a simulação como uma maneira de imitar a operação de um sistema ou processo real ao longo do tempo. Este comportamento é estudado a partir de um modelo de simulação, o qual é constituído por diversos parâmetros de operação do sistema e que são representados por uma série de considerações lógicas, matemáticas e simbólicas. Kelton et al. (2010) definem simulação computacional como o estudo de modelos de sistemas do mundo real por meio da avaliação numérica, utilizando para isto, *softwares* que imitam as operações dos sistemas.

Uma vez desenvolvido e validado, o modelo pode ser usado para investigar uma grande variedade de questões sobre o sistema. Sendo assim, a simulação pode ser empregada como uma ferramenta de previsão dos efeitos de uma mudança em sistemas existentes e, neste caso estaria prevendo o impacto da mudança no desempenho do sistema, ou mesmo como uma ferramenta de projeto, com intuito de avaliar e validar o desempenho de sistemas em fase de concepção (MIYAGI, 2006).

A facilidade de modificação do modelo para fins de estudo e a rapidez na obtenção dos resultados são vantagens proporcionadas pela simulação. Em consequência, o uso da simulação no estudo de sistemas complexos tem se tornado bastante difundido (KELTON et al., 2010).

Freitas (2001) observa que uma das principais etapas da simulação é a modelagem do sistema a ser estudado, o que permite a melhor compreensão de seu comportamento. Adicionalmente, de acordo com o *website* da Paragon (2011), empresa representante do *software* Arena no Brasil, a simulação deve ser vista "como um processo amplo que engloba não apenas a construção do modelo, mas todo o método experimental que se segue". Por isso, a simulação busca descrever o comportamento atual do sistema, construir teorias e hipóteses de acordo com as observações pertinentes, e utilizar o modelo para prever o desempenho futuro.

Freitas (2001) classifica ainda o modelo de simulação quanto ao tipo de processo decisório envolvido, podendo este estar voltado à previsão, à investigação ou à comparação.

2.3.2 Metodologia de Desenvolvimento da Simulação

De acordo com Chwif e Medina (2007) (apud BETIATTO, 2007), o desenvolvimento de um modelo de simulação é composto por três grandes etapas:

- Concepção ou formulação do modelo: nesta etapa ocorre a formulação do modelo por meio da compreensão do sistema a ser simulado. Para tal, são coletados os dados de entrada, os quais servirão de base para a elaboração do Modelo Conceitual;
- Implementação do modelo: nesta fase, por meio de um software de simulação, desenvolve-se o Modelo Computacional baseado no Modelo Conceitual. Os modelos são, então, comparados, com intuito de verificar se o Modelo Computacional está condizente com o sistema real. Feitas as verificações relativas ao funcionamento do Modelo Computacional, deve-se realizar as validações;
- Análise dos resultados do modelo: nesta etapa o Modelo Computacional dá lugar ao Modelo Operacional. Ocorre a coleta e análise dos resultados experimentais e, se necessário, parâmetros do modelo são redefinidos, visando melhor adequação do modelo ao sistema real.

A Figura 2 abaixo representa as etapas de desenvolvimento da simulação.

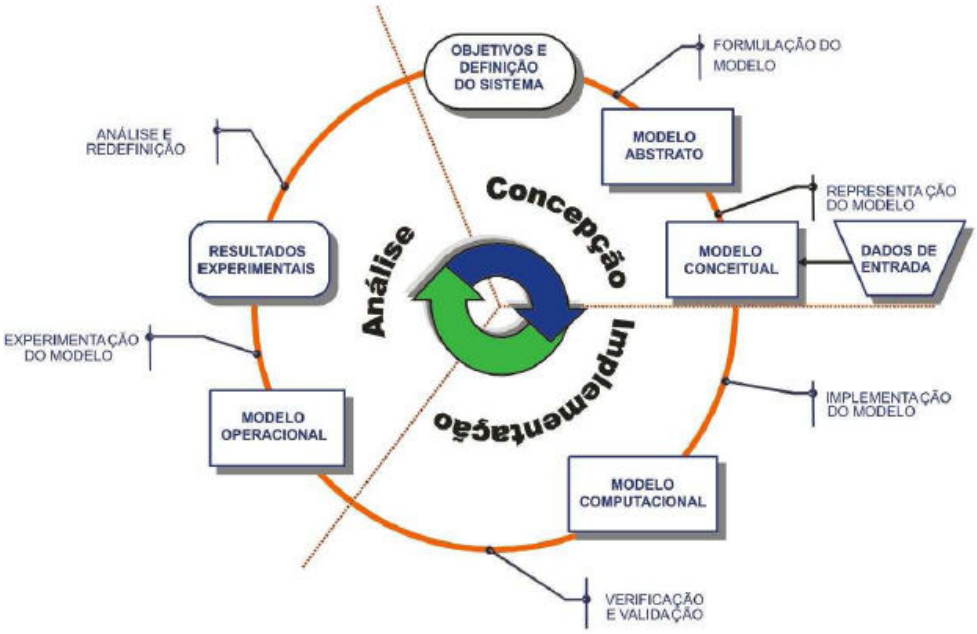

Figura 2 - Metodologia de desenvolvimento da simulação
Fonte: Chwif e Medina, 2007 (Adaptado)

2.3.3 Elementos da Simulação

Os principais elementos da simulação foram definidos por Kelton et al. (2010) como:

- Entidades: as entidades são objetos que se "movem" no sistema, interagindo com os diversos recursos e ocupando filas. Mudam de estado, afetam e são afetadas por outras entidades e pelo estado do sistema, e afetam as medidas de *performance*. Um exemplo de entidades são as partes a serem processadas que se movem ao longo da linha de produção;
- Atributos: os atributos são características comuns a todas as entidades, mas que assumem valores diferentes de uma entidade para outra, de forma a diferenciá-las. Mesmo que o valor do atributo seja alterado ao longo do caminho da entidade no fluxo, apenas o valor daquela entidade específica sofrerá mudança. Exemplos de atributos são data de vencimento, prioridade e cor;
- Variáveis: as variáveis são informações que refletem características do sistema como um todo, independente das características individuais de cada entidade. São visíveis a qualquer momento e em qualquer ponto do modelo. Exemplos de variáveis são *status* da máquina, tempo (relógio de simulação) e comprimento da fila;
- Recursos: os recursos são objetos que não se "movem" no sistema e fornecem serviços às entidades. Representam estruturas do sistema, como máquinas, postos de trabalho, meios de transporte e pessoas. Podem ser configurados para atender simultaneamente a mais de uma entidade, sendo seu estado classificado como ocupado, livre, bloqueado, indisponível, dentre outros;
- Filas: as filas representam acúmulos de entidades gerados por alguma limitação na capacidade do recurso, o que significa que o recurso está ocupado com outra atividade ou entidade. As filas podem ser processadas de acordo com políticas operacionais adotadas, como, por exemplo, regras de prioridade e ordem de chegada;
- Acumuladores estatísticos: os acumuladores estatísticos são variáveis intermediárias que fornecem informação sobre a *performance* da simulação em progresso. Exemplos de acumuladores são o número de partes produzidas até o momento, maior tempo de espera, tempo total de permanência no sistema de todas as partes processadas, dentre outros;

- Eventos: os eventos são fatos que ocorrem durante o tempo de simulação e que podem mudar atributos, variáveis e acumuladores estatísticos. Exemplos de eventos são entradas e saídas do sistema;
- Relógio de simulação: o relógio indica o tempo da simulação. Diferentemente do tempo real, o relógio de simulação não leva em consideração todos os valores de tempo bem como não flui de forma constante, mas simplesmente "salta" do tempo de um evento para o tempo do evento seguinte, uma vez que não há necessidade de se perder tempo real observando tempos simulados que não afetam o resultado do estudo;
- Inicialização e parada: é essencial que as regras de inicialização e parada sejam definidas na simulação. Condições apropriadas de parada devem ser determinadas, como, por exemplo, se a simulação será interrompida em um tempo específico (após 20 minutos) ou se será quando algum fato específico acontecer (assim que 100 itens forem produzidos).

O Quadro 1 lista exemplos de entidades, atributos, atividades, eventos e estado das variáveis de alguns sistemas.

Sistema	***Entidades***	***Atributos***	***Atividades***	***Eventos***	***Estado das Variáveis***
Banco	Clientes	Saldo em conta	Depósito	Chegada ao banco Saída do banco	Número de caixas ocupados Número de clientes esperando
Trem bala	Passageiros	Origem Destino	Viajar	Chegada ao destino	Número de passageiros esperando em cada estação Número de passageiros em trânsito
Comunicações	Mensagens	Tamanho Destino	Transmissão	Chegada ao destino	Número esperando para ser transmitido
Produção	Máquinas	Velocidade Capacidade Taxa de quebra	Soldagem	Quebra	Estado da máquina (ocupada, livre, quebrada)
Inventário	Estoque	Capacidade	Saídas	Demanda	Nível de estoque Pedidos atrasados

Quadro 1 - Exemplos de sistemas e seus componentes
Fonte: Banks et al., 2004 (Adaptado)

2.3.4 Simulação a Eventos Discretos

De acordo com Miyagi (2006), a simulação a eventos discretos é voltada para a análise de sistemas nos quais o estado das variáveis muda apenas com a ocorrência de eventos. Similarmente, Chwif e Medina (2006) (apud LANDA, 2007, p. 11) definem que a "Simulação de Eventos discretos é utilizada para modelar sistemas que mudam o seu estado em momentos discretos no tempo, a partir da ocorrência de eventos". Sendo assim, os modelos de simulação são analisados por métodos numéricos, ou seja, são empregados procedimentos computacionais para executar os modelos matemáticos, ao invés de métodos analíticos, nos quais o raciocínio dedutivo/matemático é utilizado para solucionar o modelo (MIYAGI, 2006).

Ainda segundo Miyagi (2006), os modelos elaborados de simulação ao serem executados, geram uma história artificial do sistema real com base nas suposições consideradas acerca do comportamento do sistema. Por fim, os resultados da simulação são coletados, visando à análise e estimativa do desempenho do sistema real. O autor afirma ainda que como os sistemas do mundo real são complexos e a quantidade de informações manipuladas é muito grande, geralmente a simulação é executada por meio de computadores.

No caso deste trabalho, o *software* de simulação utilizado foi o Arena, o qual será apresentado no item a seguir.

2.3.5 Arena

De acordo com a Paragon (2011), o *software* Arena caracteriza-se por um ambiente gráfico integrado de simulação, no qual se encontram disponíveis os recursos necessários para modelagem de processos, desenho e animação, e análise estatística e de resultados.

O Arena foi lançado em 1993 pela Systems Modeling Corporation, sendo resultado da integração de duas ferramentas pré-existentes: SIMAN e CINEMA. A primeira linguagem de programação SIMAN foi lançada em 1982 e o primeiro pacote CINEMA em 1990. A junção potencializou os recursos das ferramentas e permitiu que o funcionamento do sistema fosse representado de forma animada e em cores, fazendo com que o uso do Arena fosse bastante intuitivo.

Com a incorporação da Systems Modeling Corporation à Rockwell Software em 2000, o desenvolvimento do Arena foi incrementado e, de maneira constante, são lançadas novas versões do *software* no mercado com um número crescente de recursos.

O principal diferencial do Arena é que este proporciona a criação de *templates* (modelos), em outras palavras, uma coleção de objetos e ferramentas de modelagem, os quais permitem a descrição do comportamento do processo em análise, sem que nenhuma linha de código seja escrita, resultando em uma tecnologia visual e interativa. Além disso, a utilização de *templates* permite ao Arena se transformar facilmente em um simulador específico, podendo ser utilizado para reengenharia, manufatura, mineração, dentre outros.

3. A EMPRESA E O PROCESSO

3.1 EMPRESA

A empresa do ramo de nutrição animal apresenta uma linha variada de produtos para animais de diferentes portes (aves, bovinos, caprinos, coelhos, equinos, ovinos e suínos), além de núcleos, concentrados e suplementos para aves, bovinos e suínos. Atuante no mercado desde 1996, a empresa realiza suas operações em duas cidades do estado de Minas Gerais, Rio Pomba, onde se encontra a planta industrial, e Juiz de Fora, na qual se concentra a força administrativa. A empresa produz cerca de 140 produtos, fornecendo tanto para clientes internos, outros negócios do grupo, quanto para clientes externos, como produtores rurais e lojas agropecuárias.

A indústria de nutrição animal utiliza em seu processo dois tipos básicos de matérias primas: os macroingredientes e os microingredientes. Os macroingredientes são matérias primas utilizadas em grande proporção na composição das rações, tais como o milho, a soja e o farelo de trigo. Os microingredientes, por sua vez, são utilizados em baixa concentração e consistem em vitaminas, minerais e outros aditivos necessários ao balanceamento dos alimentos.

Conforme destacado por Toso (2005), a indústria de nutrição animal, assim como toda agroindústria, tem algumas peculiaridades que devem ser destacadas, sendo estas:

- Sazonalidade da demanda: a demanda por produtos é afetada pela sazonalidade do consumo. Os meses de inverno são considerados período de estiagem em função da diminuição das pastagens naturais, decorrente dos baixos índices pluviométricos. Sendo assim, cresce a demanda por ração de bovinos, por exemplo. Em conclusão, a sazonalidade do consumo provoca não só uma variação nas quantidades produzidas, mas também no *mix* de produtos;
- Posição na cadeia produtiva: a indústria de nutrição animal, principalmente a linha de rações comerciais, apresenta um posicionamento estratégico na cadeia produtiva, pois fornece para grandes e pequenos produtores. No entanto, os produtos apresentam baixo valor agregado e não há muita diferenciação em relação à concorrência. Isto implica em grandes pressões por preços, o que obriga o setor a racionalizar os custos produtivos. Além disso, o mercado se mostra bastante exigente quanto aos níveis de serviço, não havendo tolerância para pedidos atrasados.

3.2 PROBLEMA DAS INSTALAÇÕES

A atual planta industrial da empresa foi, na verdade, adaptada para o funcionamento de uma indústria de rações, pois pertencia, inicialmente, a uma indústria têxtil.

Com o passar do tempo, apesar das limitações, na medida em que incrementos na demanda ocorreram, a empresa buscou se reestruturar de forma a atender plenamente ao mercado em crescimento. Atualmente, no entanto, as instalações da indústria operam em capacidade máxima, uma vez que estas se encontram plenamente ocupadas e não há maneiras de se expandir.

Visando expansão de seus negócios e melhor organização interna, a empresa está atualmente construindo uma nova planta, na qual a estrutura, física e tecnicamente falando, foi projetada para atender às necessidades de uma indústria de rações e haverá um maior número de máquinas e equipamentos. Em conseqüência, a empresa terá um incremento na capacidade produtiva e conseguirá ainda gerir melhor seus processos logísticos e de armazenamento de matérias primas e produtos acabados.

3.3 PROCESSO PRODUTIVO

Conforme descrito no tópico anterior, a empresa encontra-se em processo de construção de uma nova planta industrial, a qual estará mais bem preparada para atender as necessidades ideais de produção de rações, principalmente no que tange a existência de linhas de produção dedicadas, o que não ocorre nas atuais instalações da empresa. A planta atual apresenta uma única linha de produção, através da qual são fabricados todos os produtos da empresa. O grande problema ocasionado por este fato é o risco de contaminação cruzada, principalmente porque a fábrica produz rações para diversas espécies de animais.

No setor, os produtos fabricados são classificados em dois grandes grupos: produtos da linha vermelha e da linha verde. A linha vermelha é a linha de produtos que apresenta matérias primas de origem animal em sua composição, como no caso das rações para aves e suínos. A linha verde, por sua vez, engloba os produtos fabricados para animais ruminantes (bovinos, caprinos e ovinos) e que, portanto, não podem apresentar matérias primas de origem animal em sua composição. Neste caso, as matérias primas de origem animal representam risco de contaminação. Existem ainda os produtos de classificação intermediária, como as rações para equinos e coelhos, para os quais não há risco associado.

Sendo assim, e visando à remoção dos resíduos de matérias primas de origem animal do interior de máquinas, equipamentos e silos utilizados no processo, entre a produção de uma linha e outra, processam-se os produtos da linha intermediária. Como forma de simplificação, os produtos da linha intermediária são classificados pela empresa como pertencentes à linha verde, uma vez que esta apresenta um volume de produtos menor em relação à linha vermelha e, portanto, não fica sobrecarregada com a incorporação de mais alguns itens. As rações para equinos e coelhos são, então, misturadas no misturador da linha verde e, posteriormente, processadas ao longo das demais etapas do processo, o que resulta na limpeza das demais máquinas, equipamentos e silos.

O processo de produção de rações é composto por um subprocesso inicial de processamento da pré-mistura, sucedido pela produção da ração propriamente dita. Para melhor entendimento das etapas do processo, as mesmas serão descritas nos tópicos a seguir. Além disso, em função de algumas distinções existentes entre o processo realizado na planta atual e aquele que será desenvolvido futuramente na nova planta, as particularidades de cada processo serão descritas separadamente.

3.3.1 Representação Esquemática do Processo Produtivo

Para melhor visualização das etapas do processo, segue abaixo a representação esquemática do fluxo das mesmas (Figura 3). A descrição detalhada será feita nos tópicos seguintes.

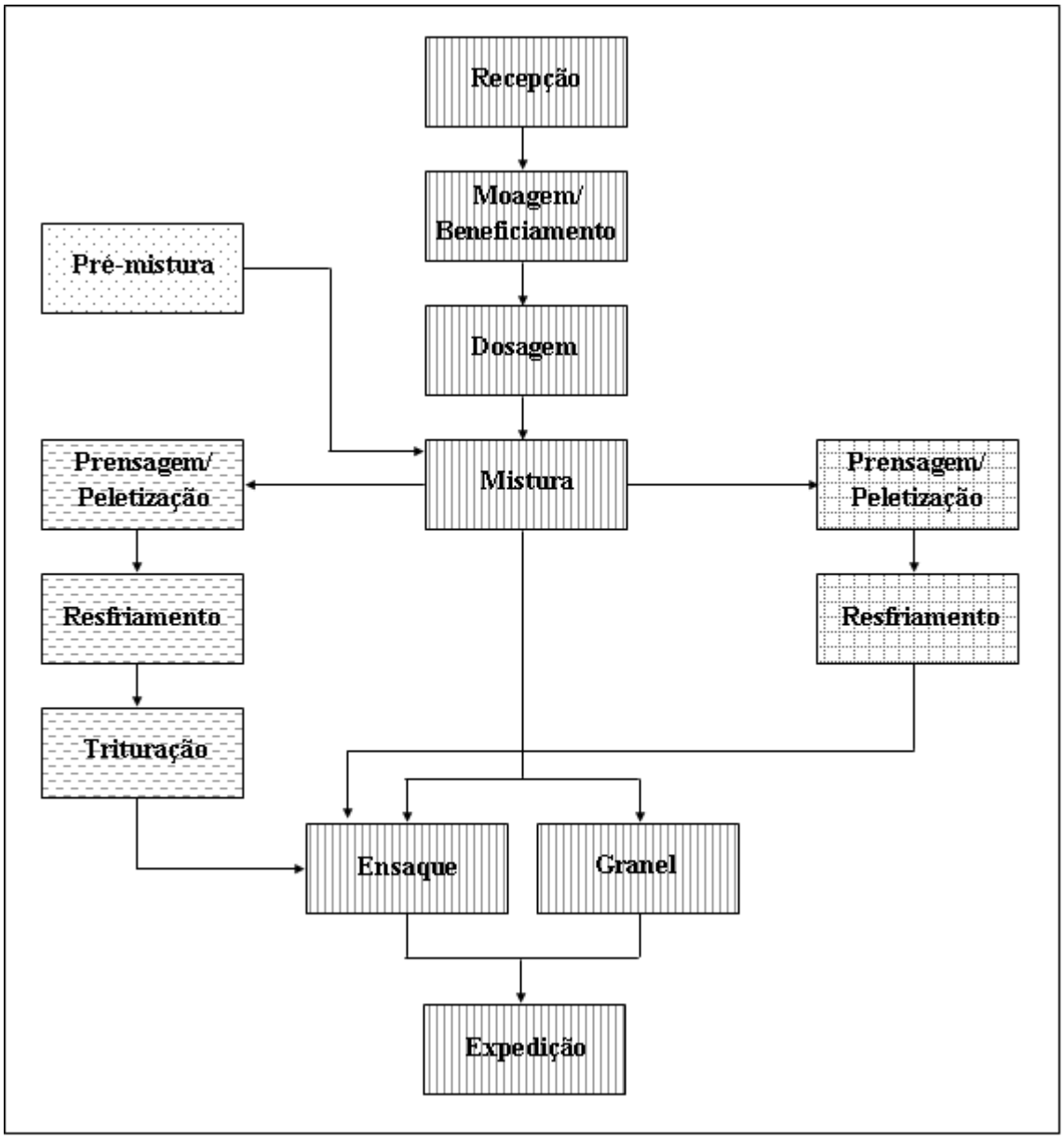

Figura 3 - Representação esquemática do processo produtivo da indústria de rações
Fonte: o autor, 2012

Sendo assim, a linha de produção opera com quatro processos alternativos:

1. Recepção » Moagem » Dosagem » Mistura » Ensaque » Expedição;
2. Recepção » Moagem » Dosagem » Mistura » Granel » Expedição;
3. Recepção » Moagem » Dosagem » Mistura » Prensagem » Resfriamento » Ensaque » Expedição;
4. Recepção » Moagem » Dosagem » Mistura » Prensagem » Resfriamento » Trituração » Ensaque » Expedição.

3.3.2 Processo Produtivo na Atual Planta Industrial

Conforme falado anteriormente, a planta atual apresenta uma única linha de produção, através da qual são fabricados todos os produtos da empresa. Vale ressaltar, no entanto, que as linhas deixam de ser independentes a partir da etapa de prensagem, uma vez que são únicos a prensa, o resfriador, o triturador e os silos de ensaque. Para a etapa de mistura, os misturadores são dedicados. Além disso, os silos de expedição a granel são utilizados somente para rações da linha vermelha.

As etapas do processo estão descritas a seguir:

1. Recepção de matérias primas: as matérias primas utilizadas na indústria de rações são transportadas, em sua maioria, por terra (transporte rodoviário). Matérias primas a granel (milho, sorgo e gérmen de milho), ao chegarem à fábrica, são despejadas na moega, um mecanismo de transporte interno. Posteriormente, são direcionadas as "salas de armazenamento" (pequenos galpões no interior da planta). Matérias primas ensacadas, por outro lado, são descarregadas manualmente, organizadas em páletes e estocadas em ambientes apropriados.

2. Pré-mistura: a produção da pré-mistura consiste no processo de mistura prévia de microingredientes (vitaminas, minerais, aminoácidos, etc.). Os microingredientes são dosados (pesados) manualmente com auxílio de uma balança de precisão, de acordo com a formulação técnica da ração e, posteriormente, processados em um pequeno misturador.

3. Moagem/Beneficiamento: nesta etapa, as matérias primas em grãos (milho, sorgo e gérmen de milho) são conduzidas aos moinhos, no qual passam pelos processos de moagem e peneiramento, este último visando à separação de impurezas. Os grãos são moídos separadamente, ou seja, um tipo de grão por vez. Na medida em que são processados, os farelos obtidos são armazenados em silos, nos quais aguardam a etapa de dosagem.

4. Dosagem: na sequência, ocorre a dosagem dos ingredientes, a qual pode ser realizada de duas formas diferentes, dependendo do tipo de matéria-prima. Algumas são pesadas em balanças independentes e outras em balanças acopladas na parte inferior dos silos.

5. Mistura: a mistura dos ingredientes é realizada nos misturadores verticais e, neste momento, as matérias primas ensacadas são depositadas manualmente na parte

inferior da máquina, bem como a pré-mistura. As demais matérias primas, previamente moídas e/ou dosadas nas etapas 3 e 4, são conduzidas aos misturadores por meio de elevadores de canecas ou, ainda, com o auxílio de "carrinhos" desenvolvidos pela própria empresa. Os tempos de permanência nos misturadores são variáveis, dependendo do produto que está sendo fabricado, mas, em média, a mistura deve durar 7 minutos. Nesta subetapa, é obtido o chamado farelo seco, que pode, dependendo do tipo de ração, estar pronto para consumo e ser conduzido aos silos de ensaque ou de expedição a granel ou seguir por entre os processos que se seguem.

6. Prensagem/Peletização, Resfriamento e Trituração: algumas rações devem passar pelas etapas de peletização e resfriamento e, em alguns casos, devem ainda ser trituradas. Na peletização, a ração é condicionada com vapor d'água oriundo de uma caldeira e, em seguida, prensada, resultando na formação dos péletes (semelhantes a grãos). Devido ao aquecimento proporcionado pela prensagem, os péletes devem ser resfriados, evitando, assim, que sejam armazenados com algum calor, o que poderia levar ao desenvolvimento de microorganismos. Algumas rações peletizadas devem ainda passar pelo processo de trituração, no qual os péletes são quebrados de forma que obtenham aspecto semelhante àquele da ração farelada, porém com grânulos um pouco maiores.

7. Ensaque e Expedição: conforme falado no item "5. Mistura", a ração **farelada** poderá ser comercializada de duas formas distintas. Na primeira delas, a ração deverá ser conduzida aos silos de ensaque. O produto deverá ser envasado, rotulado, costurado, organizado em páletes e movimentado pela empilhadeira ao local de armazenamento. No segundo caso, a ração poderá ser comercializada a granel e será conduzida aos silos de expedição a granel. As rações **peletizadas** e **trituradas**, por sua vez, serão sempre ensacadas e, portanto, deverão passar pelo mesmo processo de ensaque descrito anteriormente para as rações fareladas.

3.3.3 Processo Produtivo na Futura Planta Industrial

O processo produtivo na futura planta industrial será realizado de forma semelhante aquele desenvolvido atualmente. Vale destacar, no entanto, que a indústria irá operar com duas linhas de produção totalmente independentes e, que, portanto, irão possuir maquinários e

equipamentos também independentes para a linha vermelha e para a linha verde. As linhas de produção independentes solucionam o risco de contaminação cruzada descrito no tópico “3.2 Problema das Instalações” deste trabalho.

Além do avanço que será obtido mediante a separação das linhas de produto, o que ocasiona um aumento no número de máquinas e equipamentos disponíveis, deve ser reforçado ainda o aumento na capacidade de processamento de algumas máquinas, como no caso dos misturadores e moinhos. Os misturadores não serão mais verticais, mas sim horizontais ou de três estágios, com tempo médio esperado de processamento reduzido para 4 minutos. Os moinhos, por sua vez, diferentemente dos moinhos atuais, poderão operar a chamada moagem conjunta, em que diferentes tipos de grãos podem ser moídos ao mesmo tempo, o que também agiliza o processo.

Visando destacar algumas mudanças que serão aplicadas ao novo sistema, as etapas serão novamente listadas abaixo:

1. **Recepção de matérias primas:** na futura planta o processo de descarga de matérias primas a granel será similar ao existente, por meio da moega, mas as mesmas serão acondicionadas de forma mais apropriada. Haverá silos disponíveis para armazenamento, o que não existe atualmente.
2. **Pré-mistura:** a produção da pré-mistura será realizada de maneira similar à atual.
3. **Dosagem:** diferentemente do processo produtivo existente, as matérias primas a granel serão todas previamente dosadas através das balanças. Após a dosagem, os ingredientes seguirão para a etapa seguinte de moagem.
4. **Moagem/Beneficiamento:** conforme mencionado anteriormente, o processo de moagem poderá ser realizado conjuntamente, de forma que diferentes tipos de grãos possam ser moídos ao mesmo tempo.
5. **Mistura:** ainda de acordo com a menção anterior, os misturadores serão horizontais ou de três estágios, o que irá reduzir o tempo médio esperado de processamento para 4 minutos.
6. **Prensagem/Peletização, Resfriamento e Trituração:** esta etapa será realizada de maneira similar à atual.
7. **Ensaque e Expedição:** esta etapa será realizada de maneira similar à atual.

4. DESENVOLVIMENTO

4.1 ASPECTOS GERAIS

O objetivo do trabalho consistia em avaliar o ganho em capacidade produtiva que será obtido com a construção de uma nova planta para a indústria de rações. Sendo assim, criou-se um modelo que representasse da melhor forma possível a atual planta, para que o cenário de comparação, a futura planta, fosse gerado posteriormente.

Visando à construção de um esboço do modelo do sistema, as primeiras informações obtidas foram relativas às etapas do processo e seu sequenciamento e ao número de máquinas e equipamentos. Ainda que não houvesse dados coletados e analisados sobre tempos de processamento e de transporte ou mesmo dados detalhados sobre produtos, o esboço do sistema norteou a definição de quais e de como os dados deveriam ser levantados.

4.2 CONSIDERAÇÕES IMPORTANTES

Conforme deve ser realizado para qualquer problema de modelagem, algumas considerações foram feiras de forma a simplificar o sistema real sem que, contudo, sua representação fosse prejudicada. Algumas considerações serão abordadas nos próximos tópicos e outras, por serem mais específicas aos processos, serão tratadas mais à frente.

4.2.1 Confiabilidade dos Recursos

Neste trabalho, a disponibilidade dos recursos do sistema foi dada como 100%, ou seja, o modelo não leva em consideração possíveis quebras de máquinas, falhas nos elevadores, falta de material e eletricidade ou acidentes de trabalho. Devido à aleatoriedade de tais problemas, o que foge ao controle dos responsáveis pelo sistema, aliada ao fato dos problemas não ocorrerem com grande freqüência, foi atribuída aos recursos utilizados total confiabilidade.

4.2.2 Controle de Qualidade

Não foram consideradas no modelo etapas relacionadas a inspeções de qualidade ou retrabalhos. Isto se deve ao fato de o controle de qualidade dos produtos ser realizado apenas

ao final do processamento de cada tipo de ração por meio da coleta de amostra e análise laboratorial.

Nos casos em que a amostra apresenta alguma característica que foge às especificações do produto, este não retornará à linha de produção e seu lote precisará ser descartado.

4.2.3 Discretização dos Lotes

As entidades do sistema foram definidas em função da capacidade máxima dos misturadores. Tal consideração foi feita em função de, na maioria das bateladas, os misturadores operarem com a máxima capacidade. Na planta atual, por exemplo, os misturadores apresentam capacidade de duas toneladas, e, por isso, os lotes foram discretizados com este tamanho.

Pensando assim, o número de entidades que entram e saem do modelo é equivalente ao número de lotes de duas toneladas que entram e saem da linha de produção.

É válido ressaltar ainda que lotes menores que o padrão, com uma tonelada, por exemplo, foram considerados na modelagem, porque podem ocorrer e, neste caso, os dados de tempo de operação coletados são condizentes com tais tamanhos. Lotes menores apenas levam menos tempo para serem processados ao longo das etapas do processo. De qualquer forma, as informações relativas à coleta de dados serão melhores descritas no item "4.4 Coleta e Análise de Dados".

4.2.4 Formação das Ordens de Produção

As ordens de produção da empresa são programadas de forma que o que está sendo produzido hoje seja entregue daqui a três dias. Além disso, a estratégia adotada é *make-to-order*, havendo a colocação das ordens de produção apenas mediante efetuação do pedido por parte do cliente. Excepcionalmente, são incluídos nas ordens de produção produtos para os quais um pedido não tenha sido feito, sendo que, neste caso, o produto é fabricado por apresentar maior giro de estoque e sua venda é praticamente garantida. A inclusão de itens que não foram pedidos é explicada pela necessidade de se completar algum lote de produção pequeno ou nas situações em que deve ocorrer a limpeza das linhas de produção.

Dessa maneira, é comum que em uma ordem de produção conste a produção de mais de duas toneladas de um mesmo item. Neste caso, várias bateladas da mesma ração são processadas em sequência até que o próximo item comece a ser fabricado.

4.2.5 Entrada e Saída do Sistema

Os pontos de entrada do sistema foram considerados como sendo os misturadores. As etapas iniciais de pré-mistura, recepção, moagem/beneficiamento e dosagem não constam no modelo. De maneira geral, ao ser iniciada a etapa de mistura, as matérias primas já estão todas devidamente moídas e/ou dosadas e, enquanto um lote está sendo misturado, os ingredientes da mistura seguinte já estão sendo pesados. Além disso, tais etapas iniciais já foram consideradas, mesmo que de forma implícita, na coleta dos tempos entre chegadas de ordens de produção nos misturadores. Uma ordem de produção só começa a ser misturada se todas as matérias primas da formulação estiverem preparadas, ou seja, moídas e/ou dosadas.

São duas as entradas possíveis para o sistema, uma para o misturador da linha vermelha e uma para o misturador da linha verde. As entradas foram individualizadas para cada misturador, pois os tempos entre chegadas em cada um deles são diferentes e, conforme consta no item "3.3 Processo Produtivo", os tipos de produtos processados também.

Como existem duas formas distintas de expedição dos produtos, ensacado ou a granel, o sistema apresenta duas saídas, as quais foram devidamente consideradas no modelo. O ensaque foi modelado como um processo, uma vez que o tempo gasto com o envasamento dos produtos compõe o tempo total de fabricação dos mesmos. Neste caso, a saída do sistema se dá pela opção de "Produtos Ensacados". Para a expedição a granel, o tempo não apresenta impacto, pois o processo a ser considerado é o de transporte do produto para os silos de destinação final. Sendo assim, a forma de expedição a granel foi tratada apenas como uma opção de saída do sistema.

4.2.6 Etapas de Prensagem/Peletização, Resfriamento e Trituração

Conforme descrito no item "3.3.2 Processo Produtivo na Atual Planta Industrial", as rações peletizadas passam obrigatoriamente pela etapa de resfriamento. Dessa forma, vale ressaltar que tais etapas compõem, na verdade, um único processo e foram tratadas como tal na modelagem do sistema. Isto implica que os dados de tempo de processamento para este

estágio foram coletados a partir do momento em que a ração começa a ser prensada até o momento em que termina de ser resfriada.

De forma semelhante à descrita para a etapa de resfriamento, a trituração foi também considerada como parte integrante da etapa de prensagem. Tal consideração pode ser explicada pelo fato de as rações trituradas levarem o mesmo tempo que as rações peletizadas para serem processadas. Tecnicamente falando, as rações que devem ser trituradas, ao serem liberadas pelo resfriador, são lançadas em um tubo, no qual dois cilindros trituram os péletes. A velocidade com que os péletes são triturados é a mesma de quando os péletes são simplesmente descarregados no tubo para o caso das rações apenas peletizadas.

Sendo assim, não houve a necessidade de diferenciação entre as etapas de prensagem/peletização, resfriamento e trituração e os produtos peletizados e triturados foram tratados unicamente no modelo.

Visando melhor compreensão das etapas modeladas do sistema, segue abaixo uma representação esquemática (Figura 4) das mesmas.

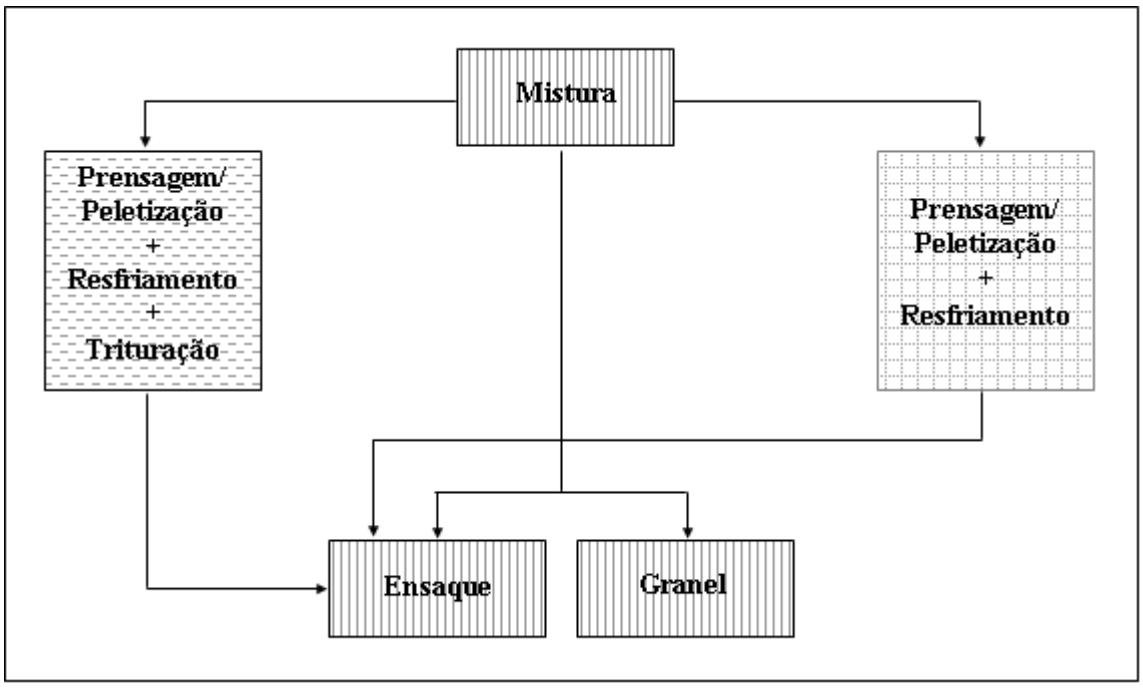

Figura 4 - Representação esquemática do modelo do sistema
Fonte: o autor, 2012

4.3 LÓGICA DO MODELO

A lógica utilizada para representar a movimentação dos lotes de ração no modelo leva em consideração as particularidades de processo que distinguem os produtos da linha verde dos da linha vermelha.

É válido ainda dizer que na atual planta industrial existem três máquinas distintas de ensaque. Uma máquina ensaca os fardos, que são pequenas embalagens de 5kg e as outras duas ensacam as embalagens maiores de 20kg e 40kg. Existe, no entanto, uma diferença no tempo de processamento destas últimas, uma é mais lenta e a outra mais rápida.

A lógica é baseada no seguinte algoritmo:

- É liberada a ordem de produção para o misturador de cada linha. Se o misturador da linha estiver disponível, o lote será misturado, senão aguarda em fila;
- Estando o lote misturado, é verificado se o lote será prensado e/ou triturado;
- Se sim, o lote é transportado até a prensa e é prensado e/ou triturado ou aguarda em fila;
- Estando o lote prensado e/ou triturado, é verificado se será ensacado como fardo;
- Se sim, o lote é transportado até o ensaque de fardos e é ensacado ou aguarda em fila;
- Senão, o lote é transportado até o ensaque mais rápido e é ensacado ou aguarda em fila;
- Se o lote não for prensado e/ou triturado e pertencer à linha vermelha, é verificado se será expedido a granel;
- Se sim, o lote é transportado até os silos de expedição a granel;
- Senão, o lote é transportado até o ensaque mais lento e é ensacado ou aguarda em fila;
- Se o lote não for prensado e/ou triturado e pertencer à linha verde, o lote é transportado até o ensaque mais rápido e é ensacado ou aguarda em fila.

Conforme falado anteriormente e como pode ser notado com o algoritmo, as rações peletizadas e as trituradas são sempre ensacadas, enquanto que os produtos farelados podem ser comercializados de duas formas distintas, a granel ou também em embalagens.

Além disso, verifica-se que as rações peletizadas e as trituradas podem ser ensacadas na máquina de fardos ou na máquina mais rápida de embalagens maiores. Já as rações fareladas da linha vermelha são sempre envasadas na máquina mais lenta e as da linha verde

sempre na máquina mais rápida. Por fim, é importante ressaltar que não há fardos de 5kg de rações fareladas, sendo estes compostos sempre por rações peletizadas ou trituradas.

4.4 COLETA E ANÁLISE DE DADOS

O período de realização do estudo foi março de 2012, que pode ser considerado um mês de demanda mediana, uma vez que a produção não atinge seu nível máximo, como ocorre no período de seca, nem seu nível mínimo como nos dois primeiros meses do ano. Vale dizer também que os dados analisados correspondem a todo o mês de março.

Existem três tipos de dados fundamentais para a correta parametrização do modelo de simulação deste trabalho, sendo estes os tempos de processamento, os tempos de transporte e o percentual de produtos destinados a cada processo. A seguir, será descrita a coleta de cada um desses dados.

4.4.1 Tempos de Processamento

Conforme mencionado anteriormente, para todas as etapas do processo, os tempos foram correlacionados a um lote de duas toneladas. Como exemplo, se fossem ser produzidas oito toneladas de uma ração, quatro tempos precisariam ser coletados em cada etapa do processo, sendo um para cada lote. Para os lotes menores, o mesmo critério de levantamento foi utilizado. Assim, para a produção de cinco toneladas de uma ração, três tempos deveriam ser coletados, dois para os lotes de duas toneladas e um para o lote de uma tonelada.

Para obtenção das curvas probabilísticas que descrevem cada tempo, foi utilizado o módulo *Input Analyzer* do *software* Arena. Abaixo serão descritos os tempos de processamento analisados e as respectivas distribuições obtidas para cada um deles:

- As horas em que os lotes começavam a ser processados em cada misturador, o da linha verde e o da linha vermelha, e as horas em que o processamento era finalizado. Assim, pôde-se definir a taxa de chegada em cada misturador (Figuras 5 e 6) e ainda o tempo de processamento das duas máquinas (Figuras 7 e 8);

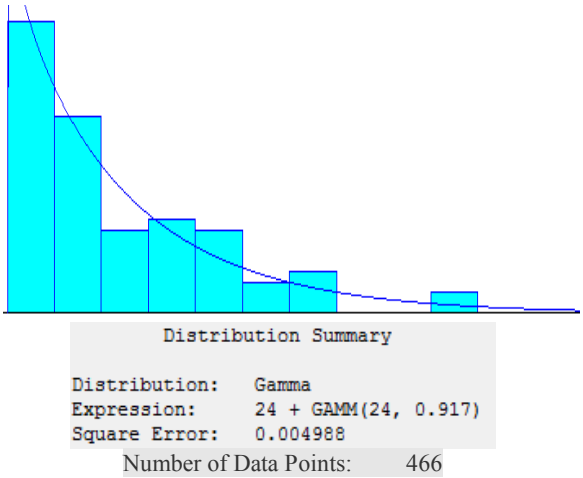

Figura 5 - Taxa de chegada no misturador da linha verde
Fonte: a empresa, 2012

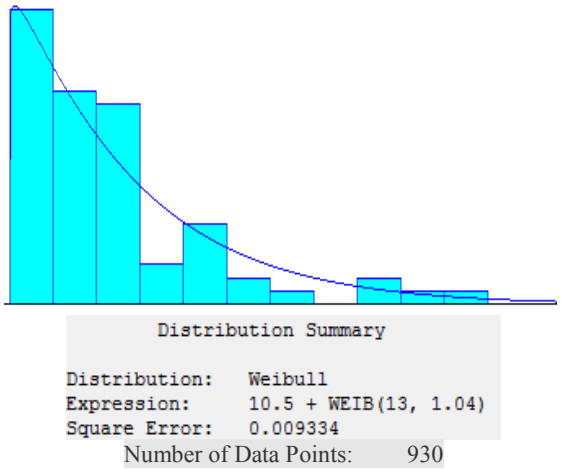

Figura 6 - Taxa de chegada no misturador da linha vermelha
Fonte: a empresa, 2012

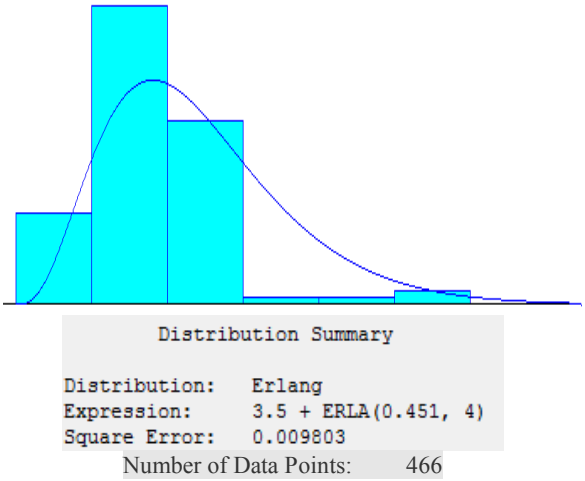

Figura 7 - Tempo de processamento no misturador da linha verde
Fonte: a empresa, 2012

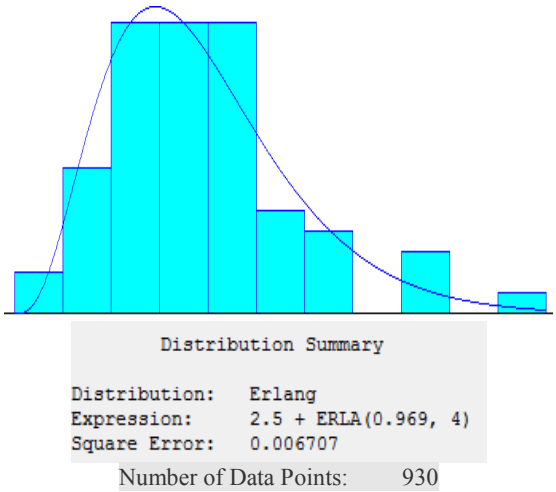

Figura 8 - Tempo de processamento no misturador da linha vermelha
Fonte: a empresa, 2012

- As horas em que os lotes começavam a ser processados na prensa e as horas em que o processamento era finalizado no resfriador ou no triturador. Com tais horas, foi definido o tempo de processamento na etapa conjunta de prensagem/peletização, resfriamento e trituração (Figura 9);

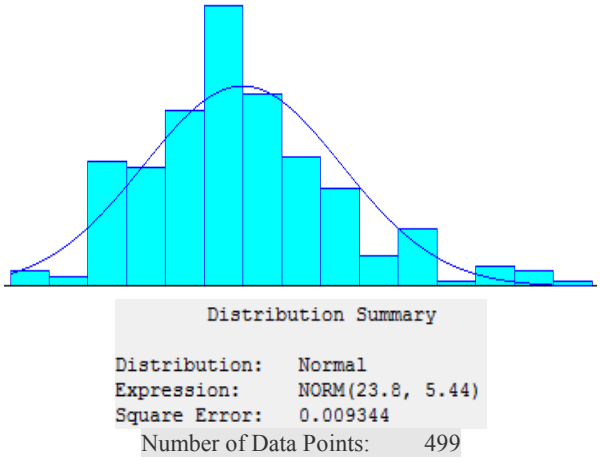

Figura 9 - Tempo de processamento na prensagem, resfriamento e trituração
Fonte: a empresa, 2012

- As horas em que os lotes começavam a ser ensacados e as horas em que era finalizado o processamento. Com isto, o tempo de processamento na etapa de ensaque (Figuras 10, 11 e 12) foi estabelecido.

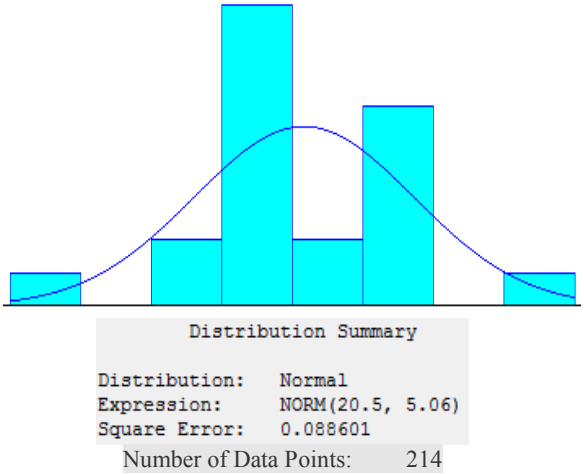

Figura 10 - Tempo de processamento no ensaque mais lento
Fonte: a empresa, 2012

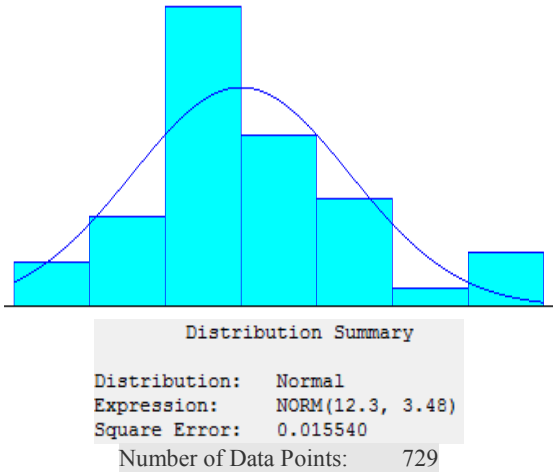

Figura 11 - Tempo de processamento no ensaque mais rápido
Fonte: a empresa, 2012

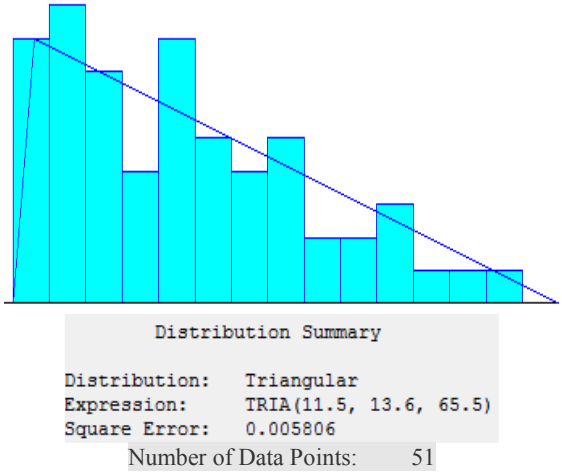

Figura 12 - Tempo de processamento no ensaque de fardos
Fonte: a empresa, 2012

A empresa mantém dados históricos acerca de apenas uma das três operações citadas acima. Trata-se de anotações feitas pelos próprios operadores da prensa com informações sobre data, código da ração, tamanho do lote (2000kg, 1000kg, ou outro tamanho entre 0 e 2000kg), hora inicial e hora final de peletização.

Para coleta dos tempos de processamento de mistura e ensaque, utilizou-se o mecanismo já adotado pela empresa. Foram disponibilizados formulários nos dois misturadores e nas três máquinas de ensaque, nos quais os operadores deveriam informar data, código da ração, tamanho do lote, hora inicial e hora final de mistura e ensaque.

Os dados sobre tempo foram coletados com auxílio de um relógio de ponteiros, o que demonstra fragilidade no sistema de medição, podendo gerar dúvida sobre a precisão dos dados. Porém, por se tratar de um estudo preliminar, os dados foram considerados satisfatórios para este estudo.

4.4.2 Tempos de Transporte

O transporte na indústria de rações é realizado, em sua maioria, pelos chamados elevadores de canecas. Para os percursos que foram analisados, tais elevadores são o único meio utilizado.

Da mesma forma que a empresa não mantém dados acerca da maior parte dos tempos de processamento, os tempos de transporte não são registrados. Assim sendo, tais informações foram também coletadas da forma descrita no tópico anterior. Os tempos de transporte foram baseados nas:

- Horas em que os lotes começavam a ser removidos do misturador da linha verde e da linha vermelha e as horas em que acabavam de ser descarregados nos silos de expedição a granel ou nos silos de ensaque de 20kg/40kg. Assim, definiu-se o tempo de transporte do misturador de cada linha para os silos (Figuras 13 e 14);

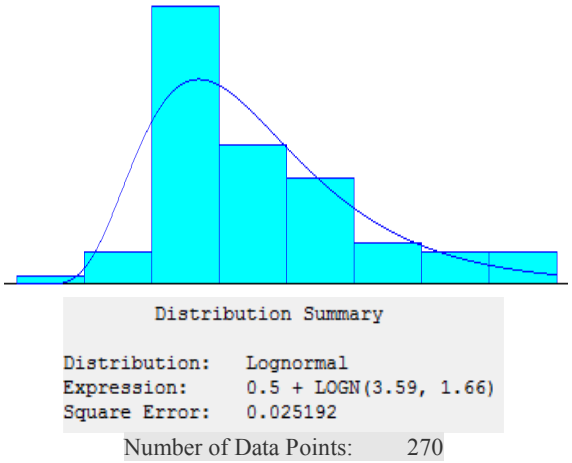

Figura 13 - Tempo de transporte dos lotes do misturador da linha verde para os silos
Fonte: a empresa, 2012

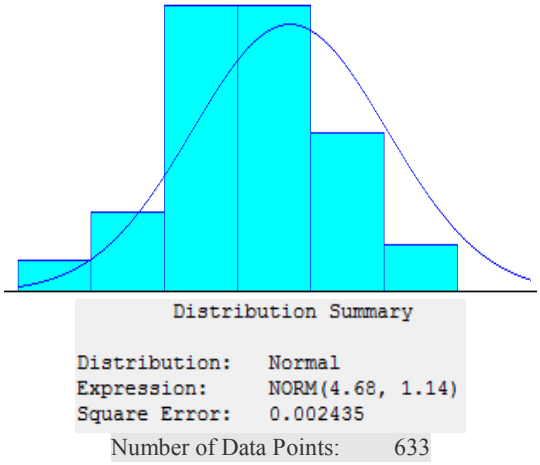

Figura 14 - Tempo de transporte dos lotes do misturador da linha vermelha para os silos
Fonte: a empresa, 2012

- Horas em que os lotes começavam a ser removidos dos misturadores e as horas em que a prensa começava a processá-los. Com isto, os tempos de transporte de cada misturador para a prensa foram definidos (Figuras 15 e 16).

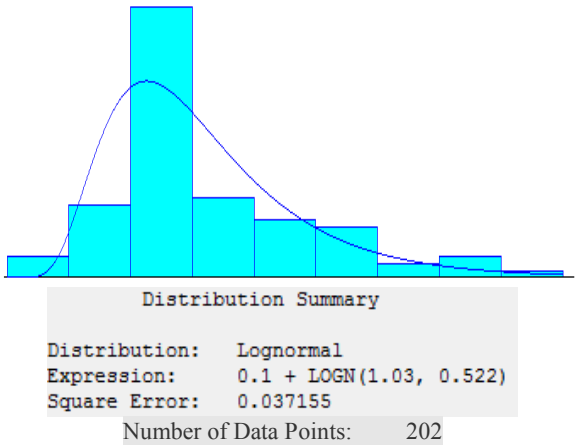

Figura 15 - Tempo de transporte dos lotes do misturador da linha verde para a prensa
Fonte: a empresa, 2012

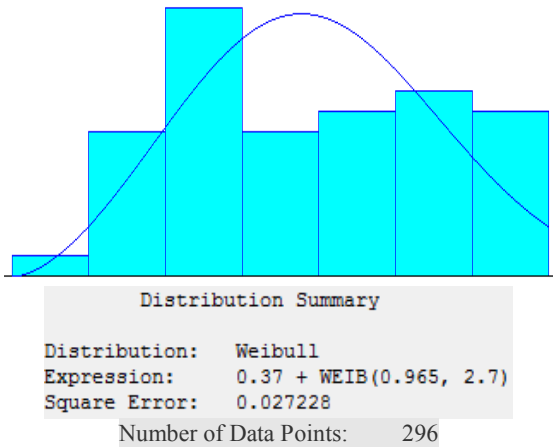

Figura 16 - Tempo de transporte dos lotes do misturador da linha vermelha para a prensa
Fonte: a empresa, 2012

Existem, no entanto, alguns pontos importantes que foram observados para coleta de tais tempos. O primeiro é inerente ao transporte da ração misturada para os silos de expedição a granel e silos de ensaque, pois o tempo necessário para realização do deslocamento é, na

verdade, o tempo gasto para esvaziamento do misturador. Em outras palavras, quando o elevador começava a retirar a ração do misturador, o tempo inicial deveria ser marcado e quando o elevador finalizava o transporte até os silos, anotava-se o tempo final. Para o transporte aos silos de ensaque, é importante salientar que o lote só começa a ser ensacado quando todo ele já foi transportado para o silo a ser usado, isto quando ele estiver vazio. Se o silo já apresenta algum conteúdo e o lote sequencial é da mesma ração, ela é descarregada normalmente no silo, porém aguarda em fila até que possa ser ensacada.

Quanto ao transporte para a prensa, o deslocamento foi interpretado de forma diferente, pois esta não precisa aguardar que todo um lote seja transferido do misturador para iniciar o processo de peletização. Sendo assim, os tempos coletados foram baseados no momento em que o misturador começava a ser esvaziado e no momento em que a prensa começava operar. Logo, este tempo será menor que o tempo total gasto com o esvaziamento do misturador.

Conforme demonstram as distribuições de probabilidade, os tempos de transporte da linha vermelha e da linha verde são diferentes, apesar de o tipo de recurso utilizado ser o mesmo. Isto ocorre, uma vez que o elevador da linha verde tem melhor rendimento por apresentar um sistema duplo de canecas, que aumenta a eficiência do processo de esvaziamento do misturador.

Por fim, os tempos de transporte das rações peletizadas ou trituradas para os ensaques não precisaram ser analisados devido à continuidade do processo observada entre estas duas etapas. Quando um lote peletizado ou triturado começa a ser transferido para os silos de ensaque, significa que o tempo de prensagem já está sendo contabilizado e, quando a transferência é finalizada, o momento indica, na verdade, o tempo de conclusão da prensagem. Assim, é possível afirmar que o tempo de deslocamento da prensa ou triturador para os silos de ensaque está incluso no tempo de prensagem.

4.4.3 Percentual de Produtos Destinados a Cada Processo

O histórico de produção de março de 2012 foi fornecido pela empresa, uma vez que esta possui tais informações registradas em sistema integrado. O relatório continha informações sobre as quantidades produzidas em toneladas de cada produto da empresa durante o período.

O histórico foi utilizado para a definição dos percentuais de produtos destinados a cada processo, sendo estes:

- Percentuais de rações peletizadas ou trituradas e fareladas em cada linha;

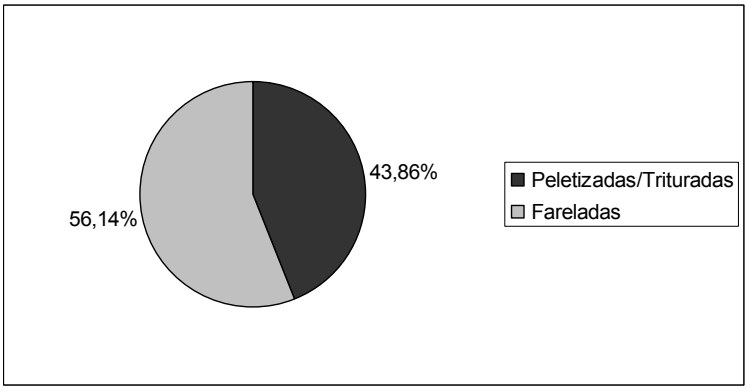

Figura 17 - Percentuais de rações peletizadas ou trituradas e fareladas na linha verde
Fonte: a empresa, 2012

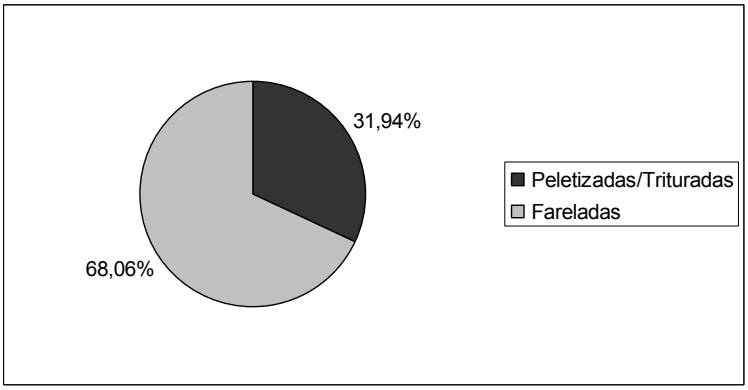

Figura 18 - Percentuais de rações peletizadas ou trituradas e fareladas na linha vermelha
Fonte: a empresa, 2012

- Percentuais de rações da linha vermelha que são vendidas a granel e que são ensacadas;

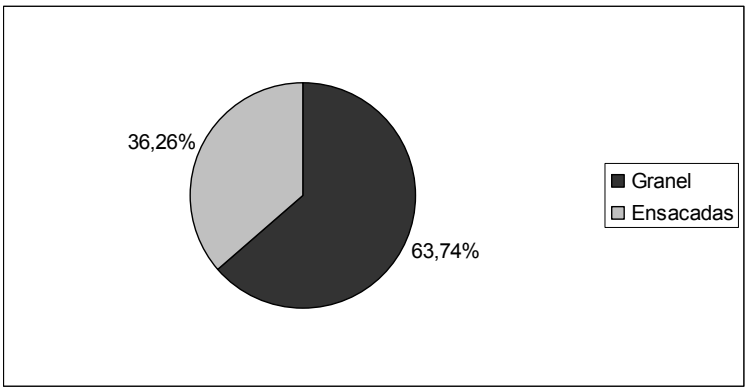

Figura 19 - Percentuais de rações a granel e ensacadas na linha vermelha
Fonte: a empresa, 2012

- Percentuais de rações peletizadas ou trituradas de ambas as linhas que são ensacadas em fardos e que são ensacadas em embalagens de 20kg e 40kg.

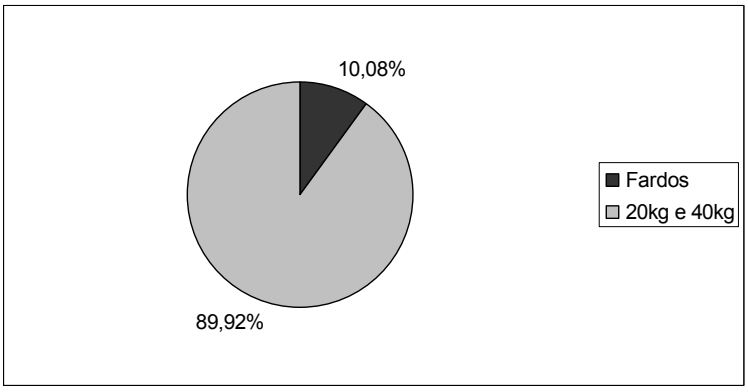

Figura 20 - Percentuais de rações peletizadas ou trituradas em fardos e sacos de 20kg/40kg
Fonte: a empresa, 2012

Os percentuais apresentados foram considerados constantes no estudo realizado. Sabe-se, no entanto, que em um trabalho mais detalhado, seria necessária uma análise da distribuição estatística desses percentuais com estudo da variabilidade por dia ou por semana.

4.5 MODELO DO SISTEMA ATUAL

Tendo em vista que os últimos tópicos do trabalho já apresentaram as principais considerações acerca do modelo elaborado, este poderá agora ser visualizado e melhor compreendido conforme a Figura 21.

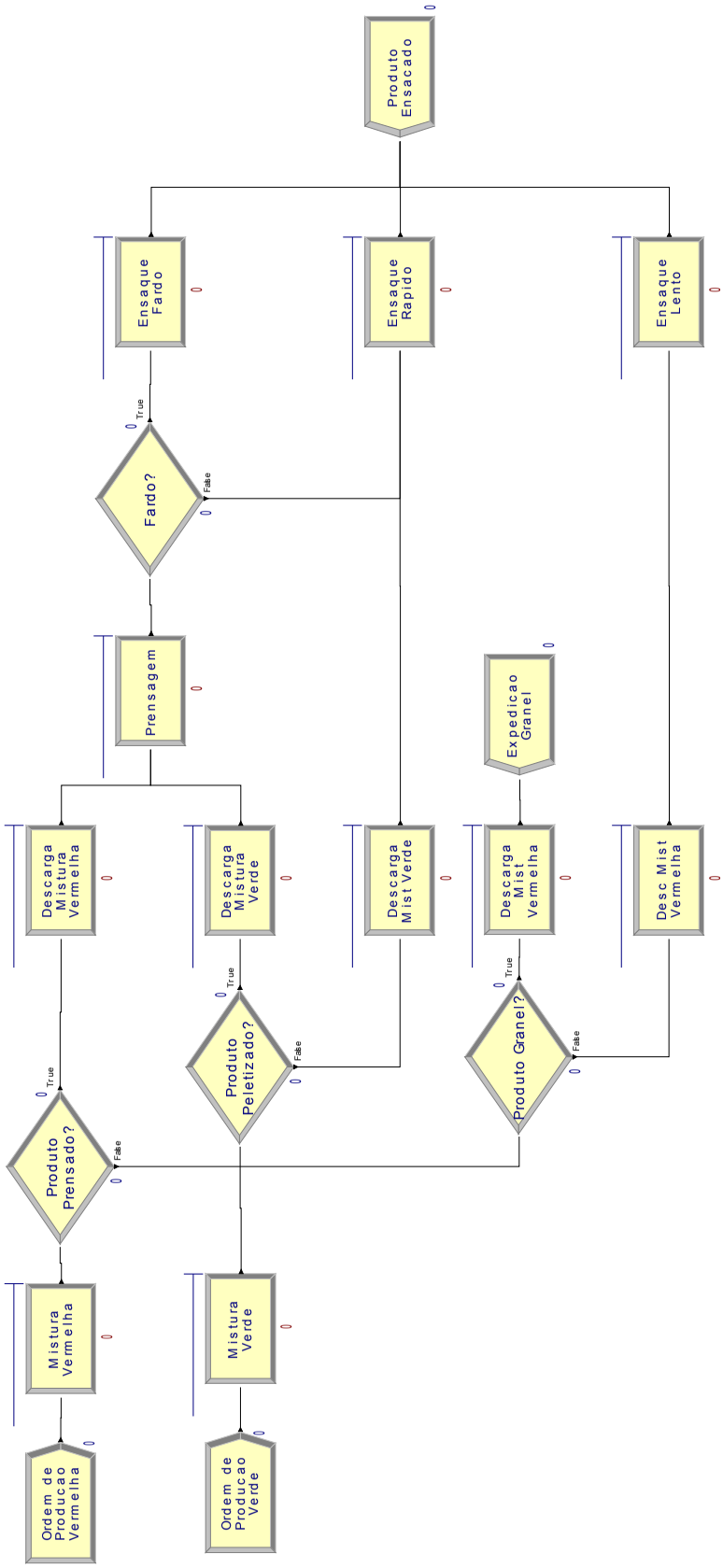

Figura 21 - Modelo do sistema atual no Arena
Fonte: o autor, 2012

É importante observar apenas que para os processos “Descarga Mistura Vermelha”, “Descarga Mist Vermelha” e “Desc Mist Vermelha” as distribuições probabilísticas de tempo de transporte são distintas. O primeiro processo foi modelado com a distribuição do tempo de descarga do misturador para a prensa e os dois últimos com a distribuição do tempo de descarga do misturador para os silos de expedição a granel ou silos de ensaque mais lento. Para os processos “Descarga Mistura Verde” e “Descarga Mist Verde” a lógica é a mesma. A modelagem do primeiro baseia-se no tempo de descarga do misturador para a prensa e do segundo no tempo de descarga do misturador para os silos de ensaque mais rápido.

4.6 ANÁLISE DA SIMULAÇÃO

O modelo elaborado foi executado pelo *software* de simulação Arena. Foram realizadas 10 replicações de 420 horas, sendo 51 horas referentes ao tempo de *warm-up* estabelecido e 369 horas de simulação propriamente dita. O tempo de simulação foi estipulado com base nos tempos de funcionamento fornecidos pela empresa. A indústria opera em dois turnos, um na parte da manhã, equivalente a 9 horas de segunda a quinta e oito horas nas sextas-feiras, e outro no período da noite, correspondente à aproximadamente 8 horas de segunda a sexta. Já o tempo de *warm-up* foi estipulado com auxílio das ferramentas gráficas do próprio *software* Arena e, para tanto, verificou-se o tempo necessário para o que o volume de trabalho em processo (*work-in-process*) na prensa atingisse estabilidade. Assim, verificou-se que eram necessárias em torno de 50 horas, o que foi estipulado em 51 horas por equivaler a três dias de trabalho.

Como já era esperado, o modelo concebido deveria ainda ser verificado e validado com intuito de se certificar que o mesmo representava da melhor maneira possível o sistema em estudo. Dessa forma, utilizaram-se novamente os dados contidos no histórico de produção fornecido pela empresa para que algumas informações fossem obtidas, sendo estas:

- Número de lotes produzidos no mês de março na linha vermelha e na linha verde;
- Número de lotes ensacados em fardos de 5kg;
- Número de lotes ensacados em embalagens de 20kg ou 40kg;
- Número de lotes expedidos a granel.

A especificação das quantidades produzidas de acordo com a classificação acima foi fundamental, pois permitiu que o número de lotes produzidos no modelo pudesse ser

comparado ao número produzido no sistema real. Os dados de validação e verificação foram organizados na Tabela 1.

Tabela 1 - Dados de verificação e validação do modelo do sistema atual

Lotes	***Número esperado (Sistema Real)***	***Número médio (Modelo)***	***Erro aproximado***
Linha verde	472	484,7	2,7%
Linha vermelha	936	955,2	2,1%
Fardo	51	51,4	0%
20kg/40kg	951	968,5	1,8%
Granel	406	420,5	3,6%

Fonte: o autor, 2012

Os erros apresentados pelo modelo foram considerados aceitáveis para uma visão preliminar do problema que estava sendo estudado, principalmente porque, conforme discutido no tópico "4.4.1 Tempos de Processamento", os dados relativos aos tempos poderiam gerar imprecisão no modelo por terem sido coletados com auxílio de um relógio de ponteiros.

Com a constatação de que o modelo estava adequado ao sistema, partiu-se para a análise dos relatórios sobre filas, utilização dos recursos e tempos gerados pela simulação. Conforme pode ser observado, as informações necessárias simplesmente para análise e comparação das capacidades produtivas já eram conhecidas pela empresa quando se tratava do sistema atual. No entanto, optou-se por ainda assim modelá-lo e simulá-lo em função de outros dados, como os referentes às filas e utilização dos recursos, que seriam obtidos e poderiam ser de grande valia para análise e comparação dos sistemas atual e futuro.

As Tabelas 2, 3 e 4 trazem as informações mais importantes sobre os índices relativos às filas, utilização dos recursos e tempos do modelo simulado.

Tabela 2 - Filas relacionadas ao sistema atual

Fila	***Tempo médio***	***Tempo mínimo médio***	***Tempo máximo médio***	***Tempo máximo absoluto***	***Número médio***	***Número mínimo médio***	***Número máximo médio***	***Número máximo absoluto***
Mistura verde	0,00 seg.	0,00 seg.	0,00 seg.	0,00 seg.	0,00 un.	0,00 um.	0,00 un.	0,00 un.
Mistura vermelha	0,29 seg.	0,01 seg.	0,53 seg.	384,84 seg.	0,00 un.	0,00 um.	0,00 un.	1,00 un.
Prensagem	540,00 seg.	389,88 seg.	619,56 seg.	6809,40 seg.	0,21 un.	0,15 um.	0,24 un.	5,00 un.
Ensaque fardo	45,61 seg.	4,45 seg.	100,90 seg.	1870,56 seg.	0,00 un.	0,00 um.	0,00 un.	2,00 un.
Ensaque rápido	84,07 seg.	63,77 seg.	92,71 seg.	1710,00 seg.	0,05 un.	0,03 um.	0,05 un.	2,00 un.
Ensaque lento	73,35 seg.	47,80 seg.	105,76 seg.	2075,04 seg.	0,01 un.	0,01 um.	0,02 un.	2,00 un.

Fonte: o autor, 2012

Tabela 3 - Tempo total de permanência na prensagem do sistema atual

Tempo médio	***Tempo mínimo médio***	***Tempo máximo médio***	***Tempo máximo absoluto***
32,77 min.	30,43 min.	34,06 min.	133,06 min.

Fonte: o autor, 2012

Tabela 4 - Utilização dos recursos do sistema atual

Recurso	***Utilização média***	***Utilização mínima***	***Utilização máxima***
Misturador verde	11,58%	11,24%	11,96%
Misturador vermelho	27,45%	26,98%	27,89%
Prensa	55,24%	54,11%	57,32%
Ensaque fardo	6,89%	5,13%	9,17%
Ensaque rápido	40,97%	40,33%	42,15%
Ensaque lento	21,10%	19,83%	23,19%

Fonte: o autor, 2012

As informações disponibilizadas nos relatórios de simulação relativas às etapas de descarga dos misturadores não foram indicadas nas tabelas acima, por não apresentarem dados relevantes acerca dos tempos. Os tempos médios de espera nas filas para estes recursos, por exemplo, foram apontados nos relatórios como praticamente iguais a zero. Sendo assim, optou-se por apenas mostrar as informações de maior interesse de análise.

Conforme pode ser percebido perante a observação da Tabela 2, a etapa de mistura da linha verde não apresentou qualquer tempo de espera para processamento. Por outro lado, o baixo índice de utilização da máquina, em média 11,58% como mostra a Tabela 4, indica um baixo aproveitamento da sua capacidade, demonstrando ainda que poderia haver um sensível aumento de seu aproveitamento, principalmente quando seu índice de utilização é comparado ao do misturador da linha vermelha, de 27,45% em média.

Por outro lado, um aumento da utilização de qualquer um dos misturadores da atual planta, acarretaria uma maior sobrecarga à prensa. Apesar do índice de utilização médio da máquina ser de 55,24% conforme a Tabela 4, o tempo de espera médio das entidades na fila é de 540 segundos, ou 9 minutos, o que demonstra que, apesar de a máquina apresentar um potencial de maior utilização, esta se mostra bastante sobrecarregada em alguns momentos de fabricação. Isto se explica pelo fato de a máquina de prensagem não seguir um padrão de tempo de processamento, uma vez que estes tempos são bastante variáveis em função do tipo de ração que está sendo fabricada e, ainda, da sua quantidade. Em função desta instabilidade, uma entidade chegou a esperar por 6809,40 segundos, ou 1 hora e 49 minutos, na fila para ser processada. Outro fator que chama a atenção diz respeito à proporção que o tempo de espera (9 minutos) representa em relação ao tempo total médio de permanência na prensa (32,77 minutos). Esta proporção é de 27,46%, o que indica que durante a etapa de prensagem, a entidade utiliza quase 30% do seu tempo em atividades que não agregam valor ao produto.

Para as etapas de ensaque, a proporção dos índices de utilização apresentados pela Tabela 4 era esperada. O ensaque mais rápido apresentou o maior índice, de 40,97% em média, por ser o mais utilizado, em seguida o ensaque mais lento com 21,10%, sendo de fato menos utilizado que o primeiro em função do maior tempo de processamento e, por fim, o ensaque de fardos com índice médio de 6,89% por ser a máquina menos utilizada na indústria, processando apenas 3,57% de todos os produtos ensacados no modelo do sistema.

4.7 NOVO CENÁRIO

Tendo em vista o objetivo a que este trabalho se propunha, foi elaborado em seguida o modelo do novo cenário, que representa a planta futura em fase de construção. A análise que foi desenvolvida para este estudo baseou-se na realização de três passos principais:

1. Simulação do sistema futuro por um tempo equivalente ao tempo de trabalho do turno diurno apenas, visando comprovar que o volume produzido no sistema atual em dois turnos de trabalho poderia ser produzido em um único turno no sistema futuro;
2. Nova simulação do sistema futuro, na qual foram englobadas sugestões de melhoria;
3. Simulação final do sistema futuro pelo mesmo período de tempo utilizado para o sistema atual, com intuito de obter a capacidade produtiva da planta futura nas mesmas circunstâncias da atual, para que, assim, a comparação entre as capacidades pudesse ser realizada.

Ao longo dos próximos tópicos será descrita a forma como estas etapas se desenvolveram.

4.7.1 Descrição do Novo Cenário

O sistema futuro apresenta uma série de semelhanças em relação ao atual, mas também possui algumas particularidades que devem ser comentadas. Como já se sabe, a nova planta será constituída por linhas de produção dedicadas. Os modelos elaborados para cada uma delas podem ser visualizados nas Figuras 22 e 23 para que a partir deles as considerações sobre o sistema possam ser descritas.

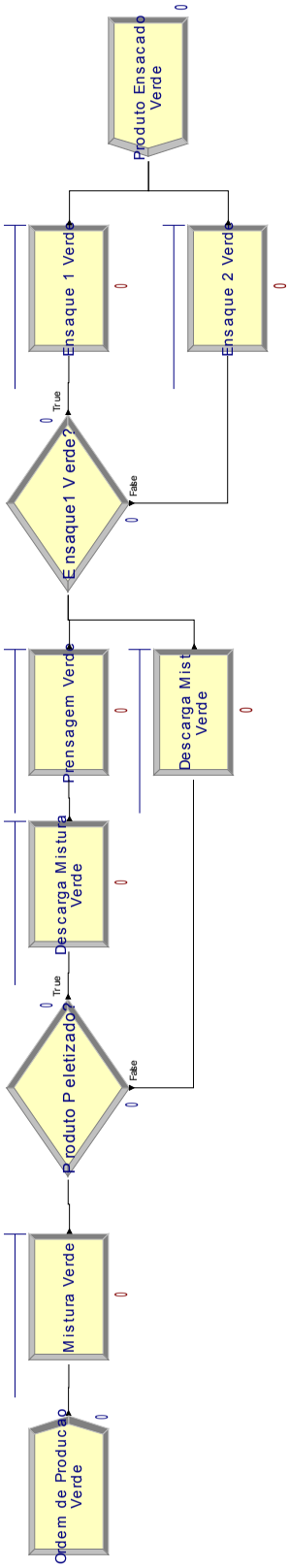

Figura 22 - Modelo da linha verde do sistema futuro no Arena
Fonte: o autor, 2012

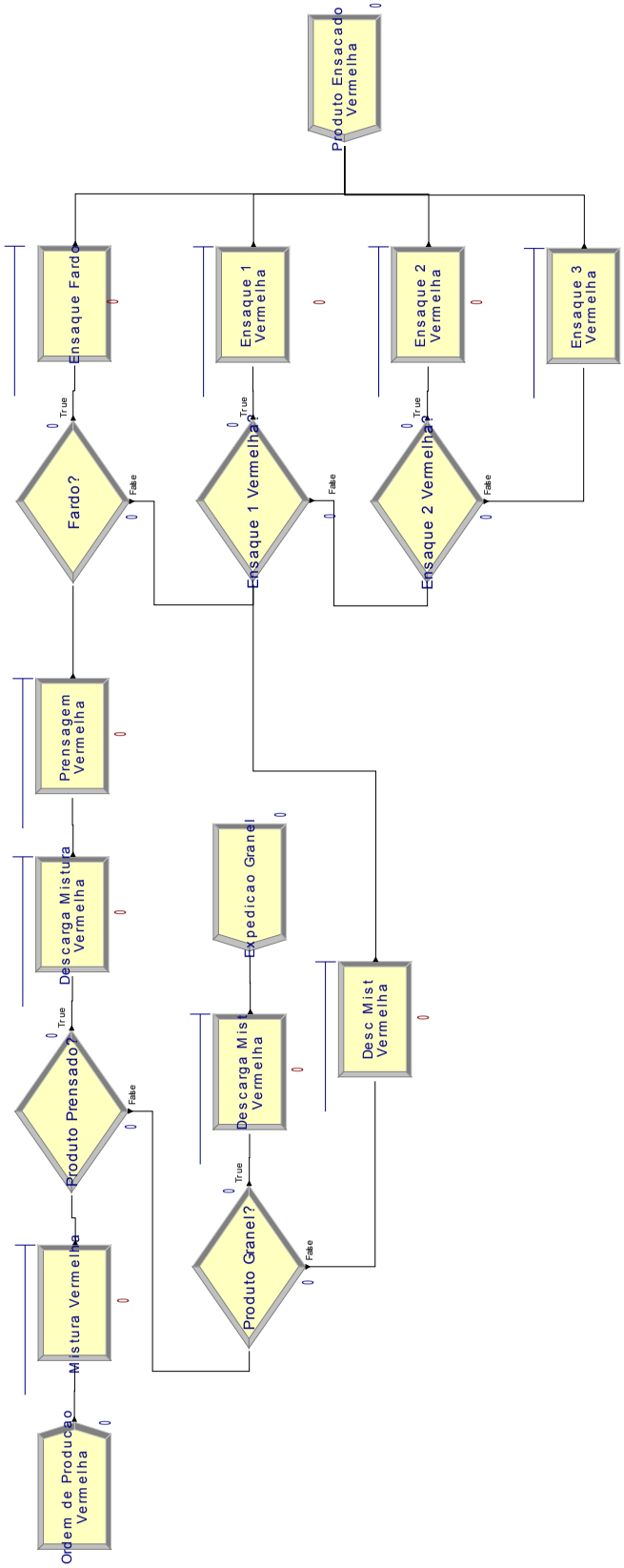

Figura 23 - Modelo da linha vermelha do sistema futuro no Arena
Fonte: o autor, 2012

Conforme pode ser observado nos modelos, apesar da separação das linhas verde e vermelha, as etapas de processo pelas quais os produtos de cada linha devem passar são as mesmas. Há, no entanto, uma diferença com relação à etapa de ensaque. Para a linha verde, estarão disponíveis duas máquinas de ensaque de igual rendimento, sendo que o percentual de produtos destinado a cada uma delas será o mesmo. Para a linha vermelha, estas serão três, também com percentual igualmente distribuído. Além disso, o processo de ensaque de fardos estará disponível apenas na linha vermelha e não mais para as duas linhas como no sistema atual. Isto pode ser explicado pelo fato de os produtos embalados em fardos serem constituídos, em sua maioria, por rações da linha vermelha. O único produto da linha verde disponível em fardo é a ração para coelhos, a qual, por não apresentar risco de contaminação cruzada, pode ser incorporada à linha vermelha.

É válido ressaltar a partir deste ponto do trabalho que os tempos de processamento e de transporte utilizados no modelo do novo sistema são apenas estimativas adotadas que foram baseadas na atual situação da indústria e que, portanto, podem não corresponder ao real rendimento que será observado futuramente. A estimativa destes valores foi, no entanto, baseada nas especificações técnicas das máquinas e equipamentos que estarão disponíveis no novo cenário, visando à suposição de dados de desempenho mais próximos possíveis do que é esperado para cada máquina e equipamento. Na maioria dos casos, estes valores serão semelhantes ou mesmo iguais aos que já existem atualmente.

Nos tópicos a seguir, será descrito como os tempos de processamento e de transporte e os percentuais de produtos destinados a cada processo foram estimados para o modelo do novo cenário.

4.7.1.1 Tempos de Processamento

Os misturadores da futura planta serão horizontais e não mais verticais como atualmente. Isto implica que o tempo médio esperado de processamento será reduzido de 7 para 4 minutos. Apesar desta previsão, o responsável técnico pela nova planta, afirmou que este valor será mais próximo de 4,5 minutos. Sendo assim, o processo de mistura para os dois novos misturadores foi modelado como uma distribuição triangular, para a qual o valor mais provável é 4,5 minutos, o valor mínimo 4 minutos e o máximo 5 minutos.

Os tempos de processamento para todas as cinco máquinas de ensaque de embalagens de 20kg/40kg do novo sistema foram considerados como sendo os tempos da atual máquina de ensaque mais rápido, considerando-se que os ensaques que estarão

disponíveis na planta futura terão desempenho semelhante. Já a máquina que ensaca fardos será transferida para o novo espaço sendo, portanto, sua distribuição de probabilidade a mesma.

4.7.1.2 Tempos de Transporte

Os tempos de transporte adotados para os elevadores do novo cenário foram baseados nos mesmos princípios daqueles utilizados para os tempos de esvaziamento dos misturadores e transporte para a prensa ou transporte para os silos de ensaque ou expedição a granel do sistema atual. Vale dizer, no entanto, que todos os elevadores que serão instalados terão rendimento semelhante ao elevador da atual linha verde e que, portanto, os valores utilizados no modelo foram aqueles referentes a esta linha.

4.7.1.3 Percentual de Produtos Destinados a Cada Processo

Os percentuais de produtos destinados a cada processo permaneceram os mesmos do sistema atual. Somente o percentual de produtos embalados em fardos foi alterado, por passar a ser calculado com base apenas nos produtos peletizados ou triturados da linha vermelha e não mais em ambas as linhas. O valor passou a ser de 17,06%. Além disso, foram incorporados ao modelo os percentuais de ensaque, levando-se em conta que as máquinas serão igualmente utilizadas.

4.7.1.4 Consideração Importante Sobre a Linha Verde

Embora os novos misturadores apresentem uma redução no tempo médio esperado de processamento, a capacidade da máquina que será disponibilizada para a linha verde será de uma tonelada e não mais de duas, o que significa que será uma máquina menor do que a que será utilizada pela linha vermelha.

Como a maior parte dos dados do novo modelo foi estimada com base nos dados atuais, a autora optou por também adaptar as informações necessárias para a nova situação. Partindo do princípio que todas as considerações descritas acima sobre tempos de processamento e de transporte já haviam sido respeitadas, o passo seguinte consistiu na adaptação dos dados ao novo tamanho de lote da linha verde.

Os únicos tempos de operação a serem considerados para a linha verde foram os de mistura, prensagem e ensaque de 20kg/40kg e os únicos tempos de transporte foram os de descarga do misturador para a prensa e para os silos de expedição a granel ou ensaque de

20kg/40kg. O tempo de mistura já havia sido definido conforme relatado anteriormente. Para os demais, foi feita uma proporção simples, que considerava que os tempos de descarga, prensagem e ensaque são diretamente proporcionais ao tamanho em peso do lote que está sendo processado. Com isso, todos estes tempos foram estimados em 50% dos tempos observados no sistema atual (Figuras 24, 25, 26 e 27).

Ainda neste contexto, é importante ressaltar que assim como os tempos de processamento e de transporte precisaram ser adaptados, as taxas de chegadas de lotes na linha verde também, de forma que a mesma quantidade de rações em peso fosse produzida. O mesmo critério foi, então, empregado e os tempos entre chegadas foram reduzidos em 50%.

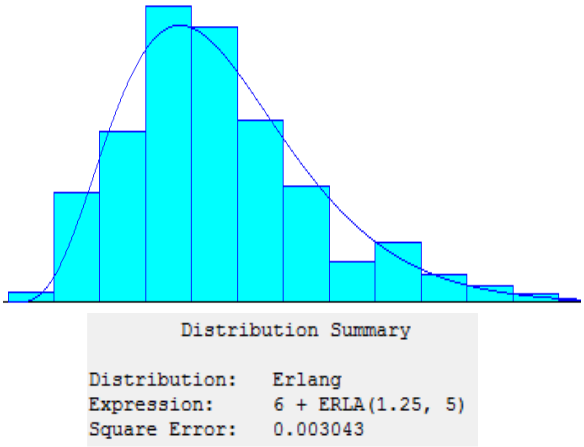

Figura 24 - Tempo de processamento na prensagem, resfriamento e trituração da linha verde no novo sistema
Fonte: o autor, 2012

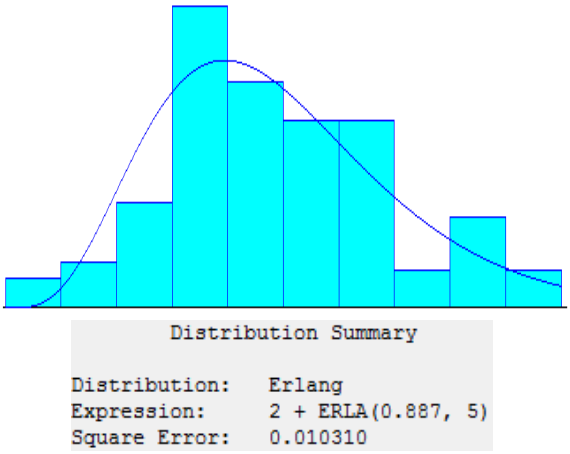

Figura 25 - Tempo de processamento no ensaque da linha verde no novo sistema
Fonte: o autor, 2012

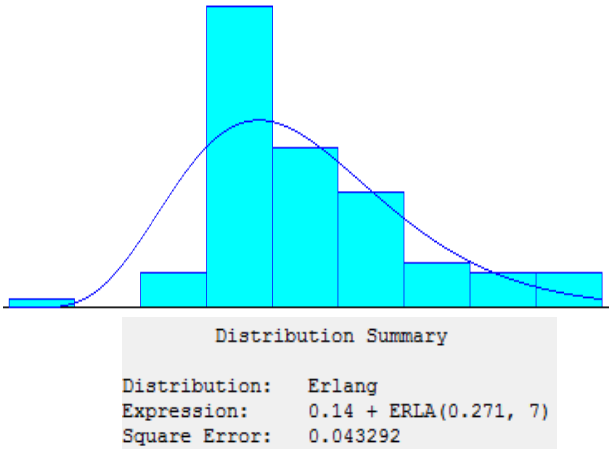

Figura 26 - Tempo de transporte dos lotes do misturador da linha verde para os silos no novo sistema
Fonte: o autor, 2012

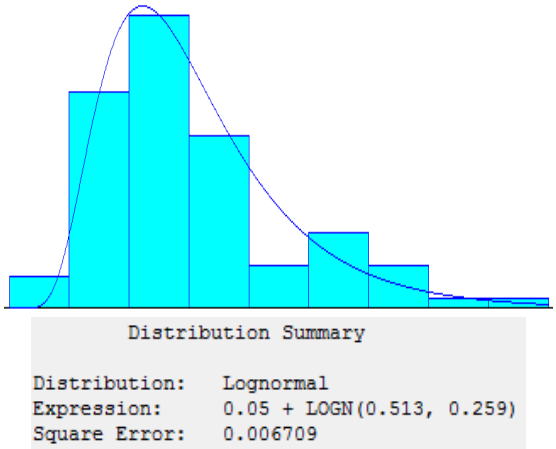

Figura 27 - Tempo de transporte dos lotes do misturador da linha verde para a prensa no novo sistema
Fonte: o autor, 2012

4.7.1.5 Definição das Taxas de Chegada

Acredita-se que será possível produzir em apenas um turno de trabalho o que hoje é feito em dois. Por esse motivo, foram definidas taxas de chegadas nos misturadores que representassem essa suposição. Com base na análise do tempo de simulação utilizado para o sistema atual (369 horas), foi possível definir qual o valor médio esperado para o tempo entre chegadas nos misturadores de forma que o mesmo número de lotes fosse produzido, porém em um período de tempo equivalente ao período de trabalho do turno diurno (193 horas). Os tempos entre chegadas médios esperados para as linhas verde e vermelha seriam de 24,53 minutos e 12,37 minutos, respectivamente. As médias das distribuições de probabilidade dos tempos entre chegadas são de 45,98 minutos para a linha verde e 23,33 minutos para a linha vermelha. Dessa forma, constatou-se que os tempos para o modelo da planta futura deveriam ser reduzidos em 53,3% para a linha verde e 53,0% para a linha vermelha.

Considerando-se que a particularidade quanto ao tamanho dos lotes da linha verde no novo cenário já havia sido devidamente analisada e os tempos entre chegadas adaptados, estes foram novamente recalculados (Figura 28) com base na suposição descrita acima, o que foi também aplicado para os tempos entre chegadas ao misturador da linha vermelha (Figura 29).

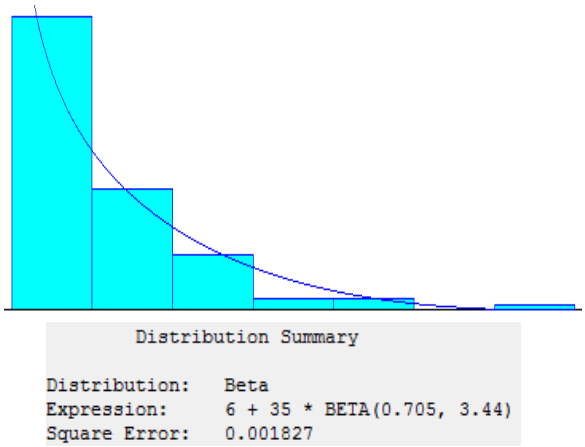

Figura 28 - Taxa de chegada no misturador da linha verde no novo sistema
Fonte: o autor, 2012

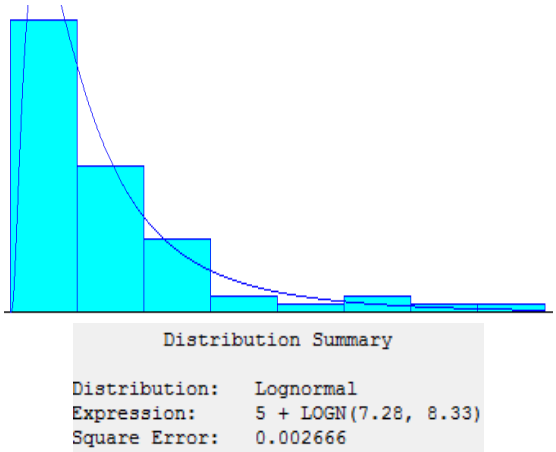

Figura 29 - Taxa de chegada no misturador da linha vermelha no novo sistema
Fonte: o autor, 2012

4.7.2 Simulação e Análise do Novo Cenário

Seguindo a lógica que foi apresentada no início do tópico "4.7 Novo Cenário", o modelo elaborado para o novo cenário foi também executado pelo *software* de simulação Arena em 10 replicações. Inicialmente o tempo de simulação adotado foi de 193 horas relativas ao turno da manhã apenas e ainda as mesmas 51 horas de tempo de *warm-up*.

Os dados que foram utilizados para verificação e validação da suposição podem ser vistos na Tabela 5. Para efeito de comparação com o padrão de lotes de duas toneladas adotado no sistema atual, o número de lotes obtido com o novo modelo para a linha verde precisou ser dividido por dois.

Tabela 5 - Dados de verificação e validação do modelo do novo sistema

Lotes	***Número esperado (Sistema Real)***	***Número médio (Modelo)***	***Erro aproximado***
Linha verde	472	975,4 / 2 = 487,7	3,3%
Linha vermelha	936	949,7	1,5%
Fardo	51	53,5	4,9%
20kg/40kg	951	490,9 + 975,4 / 2 = 978,6	1,8%
Granel	406	405,3	0%

Fonte: o autor, 2012

Como pode ser visto na tabela acima, o número de lotes produzidos de acordo com a classificação utilizada continuou próximo ao número esperado, apesar de os erros aproximados terem sofrido variação do modelo do sistema atual para o novo.

Na verdade, a viabilidade de se produzir em apenas um turno seria atestada pelos dados obtidos nos relatórios sobre filas, utilização dos recursos e tempos gerados pela simulação (Tabelas 6, 7 e 8). Dessa maneira, o desempenho do sistema atual foi comparado com o que é esperado para o cenário sugerido.

Tabela 6 - Filas relacionadas ao novo sistema

Fila	***Tempo médio***	***Tempo mínimo médio***	***Tempo máximo médio***	***Tempo máximo absoluto***	***Número médio***	***Número mínimo médio***	***Número máximo médio***	***Número máximo absoluto***
Mistura verde	0,00 seg.	0,00 seg.	0,00 seg.	0,00 seg.	0,00 un.	0,00 un.	0,00 un.	0,00 un.
Mistura vermelha	0,00 seg.	0,00 seg.	0,00 seg.	0,00 seg.	0,00 un.	0,00 un.	0,00 un.	0,00 un.
Prensagem verde	131,07 seg.	99,87 seg.	207,86 seg.	1914,48 seg.	0,08 un.	0,06 un.	0,13 un.	3,00 un.
Prensagem vermelha	910,09 seg.	563,04 seg.	1332,36 seg.	8218,44 seg.	0,39 un.	0,23 un.	0,58 un.	6,00 un.
Ensaque fardo	102,60 seg.	37,58 seg.	171,97 seg.	2475,36 seg.	0,00 un.	0,00 un.	0,02 un.	2,00 un.
Ensaque 1 verde	34,38 seg.	27,60 seg.	41,36 seg.	803,88 seg.	0,02 un.	0,02 un.	0,03 un.	2,00 un.
Ensaque 2 verde	36,24 seg.	26,32 seg.	47,77 seg.	843,84 seg.	0,03 un.	0,02 un.	0,03 un.	2,00 un.
Ensaque 1 vermelha	44,24 seg.	23,22 seg.	56,84 seg.	1323,00 seg.	0,01 un.	0,00 un.	0,01 un.	2,00 un.
Ensaque 2 vermelha	48,17 seg.	32,32 seg.	74,53 seg.	1630,80 seg.	0,01 un.	0,00 un.	0,02 un.	2,00 un.
Ensaque 3 vermelha	43,15 seg.	25,91 seg.	63,72 seg.	1478,52 seg.	0,01 un.	0,00 un.	0,01 un.	2,00 un.

Fonte: o autor, 2012

Tabela 7 - Tempo total de permanência na prensagem do novo sistema

Linha	***Tempo médio***	***Tempo mínimo médio***	***Tempo máximo médio***	***Tempo máximo absoluto***
Verde	14,45 min.	14,04 min.	15,85 min.	45,53 min.
Vermelha	39,06 min.	33,50 min.	46,25 min.	178,46 min.

Fonte: o autor, 2012

Tabela 8 - Utilização dos recursos do novo sistema

Recurso	***Utilização média***	***Utilização mínima***	***Utilização máxima***
Misturador verde	38,09%	37,08%	38,72%
Misturador vermelho	36,44%	35,55%	37,64%
Prensa verde	45,71%	43,63%	49,14%
Prensa vermelha	60,94%	57,83%	63,58%
Ensaque fardo	12,44%	10,09%	15,81%
Ensaque 1 verde	27,49%	25,59%	28,55%
Ensaque 2 verde	27,02%	24,72%	28,73%
Ensaque 1 vermelha	17,36%	14,04%	18,74%
Ensaque 2 vermelha	17,21%	14,53%	20,19%
Ensaque 3 vermelha	17,10%	15,05%	18,59%

Fonte: o autor, 2012

Como já era esperado, não houve a formação de filas para a etapa de mistura em nenhuma das linhas do sistema. Isto pode ser explicado pelo fato de os tempos entre chegadas estipulados para os misturadores não serem menores que 5 minutos em nenhuma das linhas, sendo este o valor máximo possível para o tempo de mistura no modelo. Além disso, conforme pode ser visto nas Tabelas 4 e 8, o índice de utilização destas máquinas em ambas as linhas apresentou melhora, demonstrando que, apesar da maior utilização das mesmas, seus desempenhos não foram afetados e, portanto, filas não foram formadas.

Ao observarem-se as informações das Tabelas 3 e 7, nota-se que para a linha verde do novo cenário, o tempo total médio de permanência na etapa de prensagem (14,45 minutos) foi reduzido em relação ao valor encontrado para o sistema atual (32,77 minutos). Não é possível afirmar com precisão, no entanto, se houve ou não uma melhora de sistema para o outro. Raciocínio similar a este vale para o tempo médio de espera na fila para prensagem da mesma linha, que foi apresentado na Tabela 6 (131,07 segundos) e que pode ser comparado ao tempo equivalente da Tabela 2 (540 segundos). Isto pode ser explicado em razão de os lotes de uma tonelada no novo modelo levarem menos tempo para serem processados em quase todas as etapas de fabricação, com exceção da mistura. Assim, supondo que uma boa aproximação para o tempo de processamento de um lote de duas toneladas seja dobrando o valor utilizado por um lote de uma tonelada, o valor estimado para o tempo total médio de permanência na etapa de prensagem da linha verde seria de 28,9 minutos e o

tempo médio de espera na fila seria de 262,14 segundos (4,37 minutos), e notar-se-ia uma melhora destes tempos em relação ao sistema atual. Além disso, mesmo que empiricamente, é possível dizer que o tempo total esperado de permanência nesta etapa da linha verde deve ser menor que o esperado para a linha vermelha em função do volume processado em cada uma delas. O volume na linha verde é aproximadamente 50% menor do que na linha vermelha, logo, considerando-se que o desempenho das prensas será o mesmo nas duas linhas, conclui-se que a sobrecarga da prensa na linha vermelha deva ser maior e que, portanto, acarretará um maior tempo de espera em fila.

Tendo em vista a suposição apresentada anteriormente e comparando-se as Tabelas 2 e 6, nota-se uma sensível redução nos tempos de espera nas filas no novo sistema, com exceção das filas para prensagem da linha vermelha e para ensaque de fardos, as quais apresentaram aumentos de 68,7% e 124,9% para o tempo médio de espera, respectivamente. Além disso, observa-se que uma entidade chegou a ficar 8218,44 segundos (2 horas e 17 minutos) aguardando para ser processada, algo 20,7% mais demorado do que o observado no sistema atual em que o tempo máximo de espera chegou a 6809,40 segundos (1 hora e 53 minutos).

Confrontando-se as Tabelas 6 e 7, outra informação que deve ser levada em consideração diz respeito ao tempo médio de espera na fila para prensagem da linha vermelha de 910,09 segundos (15 minutos e 10 segundos), que representa 38,8% do tempo total médio de permanência da entidade no sistema no valor de 39,06 minutos. Este percentual é bastante superior ao encontrado para o sistema atual de 27,5%, que já não representa uma boa proporção.

Para a etapa de ensaque do novo cenário, os tempos médios de espera na fila e os índices de utilização apresentados, respectivamente, nas Tabelas 6 e 8, não podem ser comparados de maneira direta aos valores indicados nas Tabelas 2 e 4 para o sistema atual. Novamente devem ser levadas em conta algumas particularidades inerentes aos sistemas. Na planta atual, o ensaque mais rápido, apesar de apresentar melhor desempenho, é também o mais utilizado, resultando em um maior índice médio de utilização (40,97%) e um maior tempo médio de espera na fila (84,07 segundos). Já o ensaque mais lento apresenta pior desempenho, sendo, por isso, menos utilizado e, assim, apresenta menor índice de utilização (21,10%) e menor tempo médio de espera na fila (73,35 segundos). Ao considerarmos a situação esperada para o novo cenário, o número de máquinas disponíveis será maior e estas ainda deverão apresentar igual desempenho. Sendo assim, mesmo com o aumento do número de entidades processadas por unidade de tempo em ambas a linha do novo sistema, o tempo de espera na fila para ensaque de embalagens maiores foi reduzido, passando a ser de 35,31 segundos em média para a linha verde e de 45,19 segundos em média para a linha vermelha, bem como o índice de utilização dos recursos, que seria de 27,25% em média para a linha verde e de 17,22% em média para a linha vermelha.

Tendo em vista toda a análise acima descrita, é possível afirmar que a suposição de se produzir em um único turno o que na planta atual é produzido em dois é viável desde que a piora

observada para os tempos de espera nas filas para as etapas de prensagem na linha vermelha e ensaque em fardos não inviabilize os custos com o processo. Como a análise dos custos envolvidos não faz parte deste estudo, não é possível garantir a viabilidade da suposição.

4.7.3 Proposição de Melhoria

Visando, no entanto, propor uma solução que corresponda ao menos aos tempos e índices observados para o sistema atual, foram estimadas novas distribuições de probabilidade para as etapas de prensagem da linha vermelha e ensaque em fardos. A viabilidade técnica da proposta deverá ser melhor estudada posteriormente, mas acredita-se ser possível obter melhor desempenho com a nova prensa da linha vermelha, uma vez que esta máquina será nova e, portanto, não será influenciada pelo desgaste apresentado pela máquina utilizada atualmente. Acredita-se também ser possível obter melhor desempenho na etapa de ensaque de fardos, por ser uma etapa bastante manual. Com a padronização da melhor forma de trabalho e treinamento dos operadores, seria possível obter ganhos significativos no tempo de realização e, em conseqüência, reduzir o tempo de espera na fila.

Foram estimadas reduções percentuais paras os tempos de processamento na prensa da linha vermelha e no ensaque. Os ganhos percentuais que melhor aproximaram o sistema futuro do atual foram de 15% e 5%, respectivamente para a prensa e para o ensaque de fardos. As distribuições de probabilidade obtidas para cada caso podem ser visualizadas nas Figuras 30 e 31.

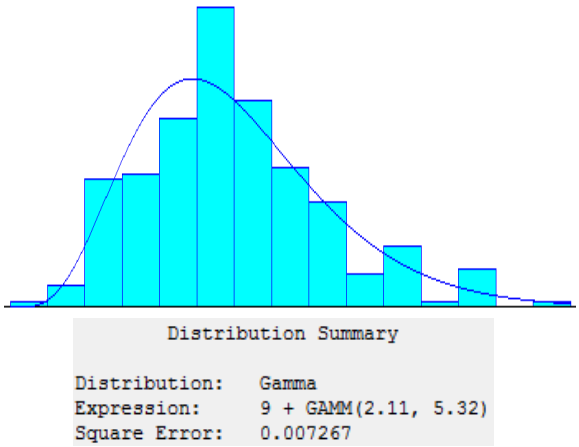

Figura 30 - Tempo de processamento na prensagem, resfriamento e trituração da linha vermelha com ganho de 15%
Fonte: o autor, 2012

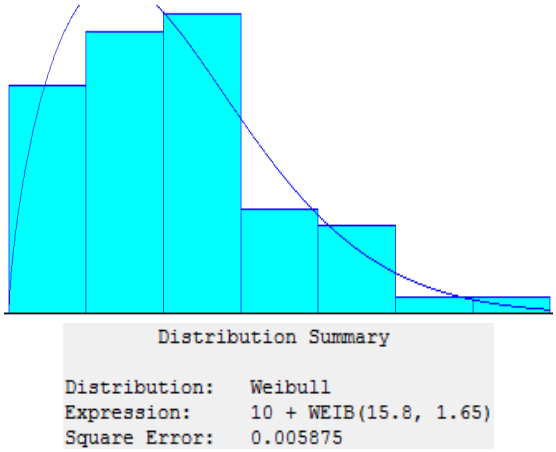

Figura 31 - Tempo de processamento no ensaque de fardos com ganho de 5%
Fonte: o autor, 2012

O novo cenário foi, então, novamente executado pelo Arena em 10 replicações de 193. Os relatórios sobre filas, utilização dos recursos e tempos gerados pela simulação apresentaram os resultados disponíveis nas Tabelas 9, 10 e 11.

Confrontando-se as Tabelas 2 e 9, verifica-se que para a prensagem da linha vermelha, todos os índices de tempo apresentaram melhores valores. Para o ensaque de fardos, verifica-

se que uma entidade chegou a esperar 1994,40 segundos (33 minutos e 14 segundos) em fila para ser processada no ensaque de fardos no novo cenário em contraposição ao tempo máximo observado para o sistema atual de 1870,56 segundos (31 minutos e 10 segundos). Este tempo é, no entanto, contrabalançado pela redução no tempo médio de espera que passou de 45,61 segundos para 41,67 segundos com a proposição realizada, um ganho médio de 8,6%.

Percebe-se ainda, conforme mostrado pelas Tabelas 7 e 10, que houve diminuição no tempo total médio de permanência na etapa de prensagem da linha vermelha. Uma redução de 27,9% foi observada relativa à diminuição do tempo de 39,06 minutos para 28,16 minutos no sistema futuro.

Por fim, mediante comparação das Tabelas 4, 8 e 11, nota-se que a utilização média da prensa passa de um valor de 55,24% no sistema atual, no qual a máquina atendia tanto à linha vermelha quanto à verde, para 60,94% no novo sistema, para o qual a máquina passa a ser dedicada. O aumento na utilização média foi, no entanto, acompanhado de um aumento no tempo de espera na fila. Com a proposição de um ganho de 15% nos tempos de processamento, o valor médio passou a ser de 51,86%, o que não significa que a máquina está sendo menos aproveitada, mas sim que seu uso passou a ser mais eficiente, conforme comprovado pela redução de 48% no tempo de espera na fila do novo cenário. O tempo de espera passou de 910,9 segundos (15 minutos e 11 segundos) para 473,4 segundos (7 minutos e 53 segundos), conforme consta nas Tabelas 6 e 9.

Comparando-se os mesmos índices relativos ao ensaque de fardos, verifica-se um aumento na utilização média da máquina de 6,89% para 12,44% no novo sistema. A proposta de melhoria em 5% nos tempos de processamento ocasionou uma queda deste valor para 9,61%, o que novamente não implica em um melhor aproveitamento da máquina, mas sim em seu melhor uso. Em relação ao novo sistema, a proposição foi responsável por uma diminuição de 59,4% no tempo de espera na fila, sendo a média reduzida de 102,6 segundos para 41,67 segundos.

Tabela 9 - Filas relacionadas à proposta de melhoria

Fila	*Tempo médio*	*Tempo mínimo médio*	*Tempo máximo médio*	*Tempo máximo absoluto*	*Número médio*	*Número mínimo médio*	*Número máximo médio*	*Número máximo absoluto*
Prensagem vermelha	473,40 seg.	376,20 seg.	706,32 seg.	6170,04 seg.	0,20 un.	0,14 un.	0,30 un.	5,00 un.
Ensaque fardo	41,67 seg.	1,43 seg.	164,13 seg.	1994,40 seg.	0,00 un.	0,00 un.	0,01 un.	1,00 un.

Fonte: o autor, 2012

Tabela 10 - Tempo total de permanência na prensagem com a proposta de melhoria

Linha	*Tempo médio*	*Tempo mínimo médio*	*Tempo máximo médio*	*Tempo máximo absoluto*
Vermelha	28,16 min.	26,17 min.	31,98 min.	125,92 min.

Fonte: o autor, 2012

Tabela 11 - Utilização dos recursos com a proposta de melhoria

Recurso	*Utilização média*	*Utilização mínima*	*Utilização máxima*
Prensa vermelha	51,86%	47,65%	55,42%
Ensaque fardo	9,61%	5,63%	12,31%

Fonte: o autor, 2012

4.7.4 Análise do Ganho em Capacidade Produtiva

Considerando-se todas as restrições, suposições e aproximações apresentadas até este ponto do trabalho, uma simulação final do novo cenário foi realizada, visando obter qual seria a capacidade produtiva da futura planta. Para tanto, utilizou-se o mesmo tempo de simulação adotado para a planta atual de 370 horas. Os valores obtidos e o comparativo estão disponíveis na Tabela 12.

É válido ressaltar novamente que para um estudo mais preciso, os dados de entrada de modelo devem ser melhores coletados, visando diminuir ao máximo erros gerados na criação do modelo. Além disso, a viabilidade técnica da proposição realizada não foi avaliada quantitativamente neste trabalho. Como falado anteriormente, a possibilidade de redução nos tempos de processamento é real, levando-se em conta o atual desgaste das máquinas e a ausência de padronização dos processos e treinamento das equipes de trabalho quanto à melhor forma, o que não se sabe é o quanto estes tempos podem ser melhorados.

A capacidade produtiva foi calculada pela razão de número de lotes por hora. Como pode ser visto na Tabela 12, o aumento esperado para a linha verde é de 92,1% e para a linha vermelha de 88,1%, correspondendo à quase o dobro das capacidades de cada linha na planta atual. É importante ressaltar que estes percentuais de aumento estão estipulados para um cenário, no qual os índices de desempenho quanto às filas e tempos de processamento estão apenas um pouco melhores que os da planta atual. Com a melhoria destes índices, mediante a tomada de algumas medidas, tais como padronização de processos, treinamento e automação, torna-se possível obter capacidades de produção ainda melhores.

Tabela 12 - Comparação da capacidade produtiva do sistema atual com o futuro

Lotes/hora	***Sistema atual***	***Sistema futuro***	***Ganho percentual***
Linha verde	1,310	2,516	92,1%
Linha vermelha	2,582	4,857	88,1%
Fardo	0,139	0,255	83,5%
20kg/40kg	2,618	5,033	92,2%
Granel	1,136	2,087	83,7%

Fonte: o autor, 2012

5. CONCLUSÕES

5.1 BALANÇO DO ESTUDO

Por meio da simulação computacional foi possível realizar uma análise preliminar do ganho em capacidade produtiva que será obtido por uma indústria de rações com a mudança de sua planta industrial para novas instalações em fase de construção.

Para tanto, foram coletados dados referentes aos tempos de processamento e de transporte inerentes ao sistema atual, além de percentuais de produtos destinados a cada processo terem sido estimados com auxílio do histórico de produção fornecido pela empresa. Estas informações foram utilizadas na construção de um modelo, que ao ser executado, permitiu que algumas deduções acerca do comportamento do sistema fossem feitas. Foi possível concluir que o recurso gargalo do sistema é a máquina de prensagem, uma vez que o tempo médio de espera na fila apontado pelas simulações efetuadas indica um valor maior do que os tempos médios de para outros recursos do sistema. Concluiu-se também que este elevado tempo de espera está relacionado à alta variabilidade dos tempos apresentados pela etapa de prensagem, para a qual o tempo de processamento muda significativamente em função do produto e da quantidade fabricados.

Posteriormente, modelou-se o cenário futuro, para o qual algumas distribuições de probabilidade e percentuais foram mantidos e outros precisaram ser adaptados ao novo sistema e suas particularidades, como foi para o caso da linha verde. Com o modelo em mãos, este foi executado com intuito de verificar qual a possibilidade de os produtos hoje fabricados em dois turnos passarem a serem fabricados em apenas um na futura planta. Foi concluído com as simulações efetuadas que a proposta poderá ser viável se o aumento observado nos tempos de espera nas filas para as etapas de prensagem na linha vermelha e ensaque de fardos não inviabilizarem os custos do processo. No entanto, como a análise dos custos envolvidos não fazia parte deste estudo, não foi possível garantir a viabilidade da suposição. Outro fator que deve ser ressaltado diz respeito ao período em que os dados de entrada do estudo foram coletados, que foi o mês de março de 2012, considerado um mês de demanda mediana. Se para o sistema futuro as taxas de chegada aos misturadores fossem baseadas em um mês de demanda máxima, os indicadores obtidos nos relatórios seriam diferentes e todo o contexto da análise também, incluindo a viabilidade de redução do número de turnos.

Em seguida, visando obter um cenário no qual os índices referentes ao tempo de espera nas filas fossem, pelo menos, semelhante ao que se tem hoje com a planta atual, foram

propostas duas melhorias ao sistema futuro. Na primeira, sugeriu-se uma melhoria nos tempos de processamento da prensa da linha vermelha de 15% e, na segunda, uma melhoria de 5% nos mesmos tempos para o ensaque de fardos. Estas propostas não levaram em conta a viabilidade técnica de suas implantações, porém o potencial de melhoria existe e poderá ser trabalhado por meio da padronização de processos e treinamento. Além disso, deve-se levar em conta que a nova prensa da linha vermelha não será influenciada pelo desgaste como é a atual máquina. Os índices obtidos nos relatórios de simulação para as duas etapas foram novamente comparados e constatou-se que o objetivo da proposta havia se cumprido.

Por fim, supondo que fosse possível a realização da proposta descrita acima, o novo modelo foi novamente executado pelo período de dois turnos com intuito de que a capacidade produtiva da planta futura pudesse ser deduzida e comparada a da planta atual.

A análise dos resultados permitiu constatar que, tendo a planta futura as características descritas neste trabalho, não só o ganho em capacidade produtiva é elevado, bem como os ganhos com a eficiência do processo como um todo . Esta análise preliminar evidencia o potencial de melhoria que a mudança de instalações pode proporcionar e deve servir de base para que outras investigações mais precisas sejam realizadas, visando melhor mensurar as informações desejadas.

5.2 PRÓXIMOS PASSOS

Constatado o potencial de melhoria a ser obtido com a nova planta industrial, sugere-se que novos estudos mais detalhados sejam desenvolvidos, visando uma maior precisão do ganho em capacidade produtiva que será proporcionado.

Para isso, a coleta de dados mais precisos com o uso de instrumentos de medição adequados é imprescindível para a modelagem do sistema de forma mais fidedigna, mesmo que os erros apresentados no comparativo entre o que foi produzido pelo modelo e a produção real tenham sido satisfatórios. Além disso, recomenda-se que seja feita uma avaliação dos custos inerentes ao processo de fabricação, principalmente daqueles intrínsecos à espera de lotes nas filas para processamento. Um estudo assim é fundamental na decisão de viabilidade financeira de algumas soluções, inclusive a que foi proposta neste trabalho. Conforme mencionado pelos proprietários da empresa, um estudo neste sentido já está sendo desenvolvido.

De qualquer maneira, as novas instalações já se encontram em fase de construção, não cabendo a este estudo opinar a favor ou contra a mudança para a nova planta. Esta, por sua vez, ocorrerá tão logo as obras sejam finalizadas. O que é válido ressaltar é que são esperadas com a mudança algumas melhorias no processo, sendo que o potencial de uma delas foi comprovado por meio deste trabalho. Além disso, a empresa poderá melhor organizar seus processos logísticos e meios de armazenamento de matérias primas e produtos acabados. Sem contar o fato de poder operar em instalações totalmente planejadas e construídas para atender as particularidades da indústria de rações, incluindo a eliminação do risco de contaminação cruzada.

Outro fato que deve ser ressaltado diz respeito ao aproveitamento das metodologias de padronização de processos e treinamento de equipes em outras etapas do processo. Assim, seria possível obter ganhos não só na etapa de ensaque de fardos, por exemplo, mas também nos demais ensaques. O ensaque das rações, apesar de realizado por máquinas, tem grande influencia de seu operador, que desempenha parte do processo ao rotular, costurar e movimentar o produto acabado. Para os processos de mistura, descarga, prensagem, resfriamento e trituração, acredita-se que o ganho com a aplicação da metodologia já seria menor, uma vez que a influência humana nestes casos também será menor. Para estes casos, uma boa estratégia seria a realização de um estudo voltado para a definição do tamanho do lote ótimo dos produtos e sequenciamento da produção. Este último estudo pode ser considerado como um passo importante para a melhoria da produtividade da empresa, que apresenta atualmente índices de utilização baixos para seus recursos, indicando a necessidade de um melhor sequenciamento da produção e a definição de tamanhos ótimos de lotes de produção.

Outra melhoria discutida com os proprietários diz respeito ao interesse em automação do processo futuramente, porque a princípio a planta deverá operar de forma similar à atual.

5.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização deste estudo deixou claro o potencial de melhoria que a empresa tem a ganhar com sua mudança para a nova planta industrial e, portanto, o objetivo do trabalho foi cumprido. As informações obtidas devem servir como parâmetros para a tomada de decisões no futuro e, havendo qualquer modificação ou melhoria nos dados utilizados, o modelo criado poderá ser adaptado.

Comprovou-se ainda que a simulação computacional possa ser utilizada satisfatoriamente como ferramenta de auxílio na avaliação do comportamento de sistemas, bem como viabilizar a tomada de decisão acerca de soluções que venham a serem propostas aos mesmos.

REFERÊNCIAS

BANKS, J.; CARSON II, J. S.; NELSON, B. L.; NICOL, D. M. **Discrete-Event System Simulation**. 4. ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 2004.

BETIATTO, Alexandre. **Modelagem e Simulação:** Aplicação a uma Linha de Manufatura de Componentes. Curitiba: Linecon, 2007. Disponível em: <http://www.linecon.com.br/artigos/Artigo_SimulacaoManufatura_LINECON.pdf>. Acesso em: 2 out. 2011.

FREITAS FILHO, P. J. **Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas com Aplicações em Arena**. 1. ed. São Paulo: Visual Books, 2001.

GAVIRA, Muriel de Oliveira. **Simulação Computacional como uma Ferramenta de Aquisição de Conhecimento**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18140/tde-20052003-004345/pt-br.php>. Acesso em: 2 out. 2011.

KELTON, W. D.; SADOWSKI, R. P.; SWETS, N. B. **Simulation with ARENA**. 5. ed. New York: McGraw-Hill, 2010.

LANDA, Fabiane Teixeira de. **Utilização de Simulação de Eventos Discretos para Análise da Operação de Locomotivas de Auxílio nos Trens de Carga: Caso MRS**. 2007. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2007. Disponível em: <http://www.ufjf.br/ep/files/2009/06/tcc_dez2007_fabianelanda.pdf>. Acesso em: 27 set. 2011.

MIGUEL, P. A. C.; MORABITO, R.; PUREZA, V. **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção: e Gestão de Operações**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

MIYAGI, Paulo E. **Introdução a Simulação Discreta**. 2006. Apostila de Simulação (Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. Disponível em: <http://sites.poli.usp.br/d/PMR2460/Arquivos/Apostila_Simulacao.pdf>. Acesso em: 2 out. 2011.

MOREIRA, D. A. **Administração da Produção e Operações**. 1. ed. São Paulo: Pioneira, 2002.

NUNES, D. M.; MELO, P. A. C.; NIGRO, I. S. C. Planejamento, Programação e Controle da Produção: O Uso da Simulação do Preactor em uma Indústria de Alimentos. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 29., 2009, Salvador. **Anais...** Rio de Janeiro: ABEPRO, 2009. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2009_TN_STO_091_616_12552.pdf>. Acesso em: 28 out. 2011.

OLIVEIRA, Clênio Senra de. Aplicação de técnicas de simulação em projetos de manufatura enxuta. **Estudos Tecnológicos**, São Leopoldo, v. 4, n. 3, p. 204-217, set./dez. 2008. Disponível em: <http://www.estudostecnologicos.unisinos.br/pdfs/97.pdf >. Acesso em: 2 out. 2011.

OLIVEIRA, José Benedito de. **Simulação Computacional: Análise de um Sistema de Manufatura em Fase de Desenvolvimento**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2007. Disponível em: <http://www.simulacao.net/upload/artigo/simulacao_computacional.pdf>. Acesso em: 2 out. 2011.

PARAGON. Disponível em: <http://www.paragon.com.br/>. Acesso em: 29 set. 2011.

PERGHER, I.; VACCARO, G. L. R. **Determinação da Capacidade Produtiva de uma Empresa de Alimentos por meio da Aplicação da Simulação Computacional**. Vale do Rio dos Sinos: SPOLM, 2009. Disponível em: <http://imagoconsultoria.com.br/texts/download/030.pdf>. Acesso em: 28 out. 2011.

SILVA, E. L.; MENEZES, E.M. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação**. 2001. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção) - Laboratório de Ensino à Distância, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001. Disponível em: <http://projetos.inf.ufsc.br/arquivos/Metodologia%20da%20Pesquisa%203a%20edicao.pdf>. Acesso em: 13 out. 2011.

SINAY, M. C. F.; MATTOS, N. M. C. **Teoria de Filas**. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2006.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

TOSO, E. A. V.; MORABITO, R. Otimização no Dimensionamento e Seqüenciamento de Lotes de Produção: Estudo de Caso numa Fábrica de Rações. **Gestão e Produção**, São Carlos, v. 12, n. 2, p. 203-217, mai./ago. 2005. Disponível em: Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/gp/v12n2/26089.pdf>. Acesso em: 28 out. 2011.

ANEXO 1 – TERMO DE AUTENTICIDADE

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA

Termo de Declaração de Autenticidade de Autoria

Declaro, sob as penas da lei e para os devidos fins, junto à Universidade Federal de Juiz de Fora, que meu Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Graduação em Engenharia de Produção é original, de minha única e exclusiva autoria. E não se trata de cópia integral ou parcial de textos e trabalhos de autoria de outrem, seja em formato de papel, eletrônico, digital, áudio-visual ou qualquer outro meio.
Declaro ainda ter total conhecimento e compreensão do que é considerado plágio, não apenas a cópia integral do trabalho, mas também de parte dele, inclusive de artigos e/ou parágrafos, sem citação do autor ou de sua fonte.
Declaro, por fim, ter total conhecimento e compreensão das punições decorrentes da prática de plágio, através das sanções civis previstas na lei do direito autoral[1] e criminais previstas no Código Penal[2], além das cominações administrativas e acadêmicas que poderão resultar em reprovação no Trabalho de Conclusão de Curso.

Juiz de Fora, _____ de _____ de 20____.

_____	_____
NOME LEGÍVEL DO ALUNO (A)	Matrícula
_____	_____
ASSINATURA	CPF

[1] LEI N° 9.610, DE 19 DE FEVEREIRO DE 1998. Altera, atualiza e consolida a legislação sobre direitos autorais e dá outras providências.
[2] Art. 184. Violar direitos de autor e os que lhe são conexos: Pena – detenção, de 3 (três) meses a 1 (um) ano, ou multa.