



**ANÁLISE E OTIMIZAÇÃO DO SISTEMA PRODUTIVO ATRAVÉS DO
MAPEAMENTO DE PROCESSOS, MODELAGEM E SIMULAÇÃO
COMPUTACIONAL: ESTUDO DE CASO APLICADO EM UMA INDÚSTRIA
CERÂMICA**

Gabriel Alexei Almeida Barros

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos – Mestrado Profissional, PPGEP/ITEC, da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Processos.

Orientador: José Antônio da Silva Souza

Belém

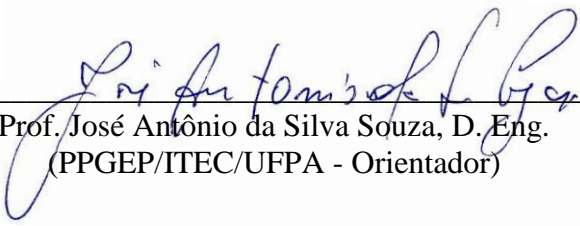
Setembro de 2018

**ANÁLISE E OTIMIZAÇÃO DO SISTEMA PRODUTIVO ATRAVÉS DO
MAPEAMENTO DE PROCESSOS, MODELAGEM E SIMULAÇÃO
COMPUTACIONAL: ESTUDO DE CASO APLICADO EM UMA INDÚSTRIA
CERÂMICA**

Gabriel Alexei Almeida Barros

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA PROCESSOS – MESTRADO PROFISSIONAL (PPGEP/ITEC) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA DE PROCESSOS.

Examinada por:



Prof. José Antônio da Silva Souza, D. Eng.
(PPGEP/ITEC/UFPA - Orientador)



Prof. Edilson Marques Magalhães, D. Eng.
(PPGEP/ITEC/UFPA - Membro)



Profª. Raimunda Figueiredo da Silva Maia, Dra.
(PRODENA/ITEC/UFPA - Membro)



Prof. Deibson Silva da Costa, D. Eng.
(FEMat/CAMPANAIN/UFPA - Membro)

BELÉM, PA - BRASIL

SETEMBRO DE 2018

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFPA**

Barros, Gabriel Alexei Almeida, 1991-
Análise e otimização do sistema produtivo através do mapeamento de processos, modelagem e simulação computacional: estudo de caso aplicado em uma indústria cerâmica / Gabriel Alexei Almeida - 2018.

Orientador: José Antônio da Silva Souza

Dissertação (Mestrado Profissional) - Universidade Federal do Pará. Instituto de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, 2018

1.Engenharia de produção - automação 2.Cerâmica-
Indústria 3.Processos de fabricação - automação 4.Simulação
(Computadores) I. Título

CDD 23.ed.658.514

*À Deus,
Aos meus pais, Adail Barros e Nelma
Almeida,
A minha noiva Roberta Cosac,
A minha irmã, Juliana Barros.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por iluminar o meu caminho, decisões e pelas oportunidades concedidas.

Agradeço aos meus pais, Adail Barros Filho e Nelma Loide Almeida Barros, pelo amor, apoio, exemplo e confiança durante todos os momentos da minha vida. E a minha irmã, Juliana, pelo carinho. Sem vocês não seria possível.

A minha noiva, Roberta Cosac, por todo companheirismo, incentivo, amor e dedicação.

Ao meu orientador, Professor Dr. José Antônio da Silva Souza, pela atenção, dedicação, pelos conselhos e ajuda durante a execução deste trabalho.

A todos os meus familiares e amigos, por proporcionarem bons momentos e experiências.

Agradeço a Cerâmica Nova União, por permitir que este estudo tenha sido realizado na empresa, a todos os colaboradores pelo incentivo e apoio.

Aos professores e colegas do PPGEP – UFPA.

E por fim, a todos aqueles que contribuíram de alguma forma para que eu alcançasse meu objetivo.

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota”.

(Madre Tereza de Calcuta)

Resumo da Dissertação apresentada ao PPGE/UFPA como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Processos (M. Eng.)

**ANÁLISE E OTIMIZAÇÃO DO SISTEMA PRODUTIVO ATRAVÉS DO
MAPEAMENTO DE PROCESSOS, MODELAGEM E SIMULAÇÃO
COMPUTACIONAL: ESTUDO DE CASO APLICADO EM UMA INDÚSTRIA
CERÂMICA**

Gabriel Alexei Almeida Barros

Setembro/2018

Orientador: José Antônio da Silva Souza

Área de Concentração: Engenharia de Processos

No último decênio, a intensificação da competitividade presente no mercado impulsiona as empresas a voltarem o foco para o aprimoramento do sistema produtivo e políticas praticadas, buscando assim garantir o espaço ocupado pela concorrência. O objetivo principal deste trabalho é analisar o sistema produtivo de uma indústria cerâmica localizada na cidade de São Luís, MA e realizar o mapeamento dos processos produtivos juntamente com a aplicação do estudo de tempos e movimentos atrelado a simulação computacional, para realização de um plano de otimização. O trabalho apresenta uma pesquisa exploratória aplicada, a partir do estudo de caso. Com a análise do fluxo de produção e a identificação das causas de perdas de eficiência, pode-se usar a ferramenta de simulação computacional para identificar as relações entre os processos e criar um plano de priorização para equipamentos-chave do processo produtivo. Com a aplicação da simulação computacional, foi constatado, que no sistema em estudo existem dois processos restritivos, máquina cortadora e forno lado b. Através disso, com a identificação dos gargalos, foi possível encontrar soluções assertivas para otimização do processo produtivo, concentrando os esforços e investimentos nos pontos relevantes, tornando a indústria em estudo mais competitiva. Isto evidencia a importância da

simulação computacional, uma ferramenta poderosa que ajuda no aumento de lucro para as empresas, aumentando a confiabilidade na busca por problemas e desperdícios

Abstract of Dissertation presented to PPGE/UFPA as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master in Process Engineering (M. Eng.)

**ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF THE PRODUCTIVE SYSTEM
THROUGH PROCESS MAPPING, MODELING AND COMPUTATIONAL
SIMULATION: CASE STUDY REQUESTED IN A CERAMIC INDUSTRY**

Gabriel Alexei Almeida Barros

September/2018

Advisor: José Antônio da Silva Souza

Research Area: Process Engineering

In the last decade, the intensification of competitiveness in the market drives companies to return their focus to the improvement of the productive and company policy, thus seeking to ensure competitive advantage. The main objective of this essay is to analyze the production system of a ceramic industry located in Sao Luis, MA and perform the production processes mapping with the application of the study of time and motion linked to computer simulation, to perform an optimization plan. The monograph presents an exploratory applied research from the case study. With the analyzes of the production flow and identification of the causes of efficiency loss, one can use computer simulation tool to identify relationships between processes and creating a optimization plan for key processes in the production system. Having said, there are two restrictions in the system: the cutting machine and the side B oven. Therefore, the identification of the bottlenecks was possible by concentrating efforts and investments in relevant sites, making the company more competitive. This is an importance of computational simulation, a powerful tool that helps to increase the profit for the companies, increasing reliability in the search for problems and waste.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	1
1.1 - MOTIVAÇÃO.....	2
1.2 - OBJETIVOS.....	3
1.2.1 - Objetivo geral.....	3
1.2.2 - Objetivos específicos.....	3
1.3 - ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	3
CAPÍTULO 2 - REVISÃO DA LITERATURA.....	5
2.1 - CERÂMICA VERMELHA.....	5
2.2 - O SETOR CERAMISTA NO BRASIL.....	5
2.2.1 - Setor ceramista no Maranhão.....	7
2.3 - O SETOR CERAMISTA NO BRASIL.....	8
2.3.1 - Abordagem geral.....	8
2.3.2 - Análise dos tempos.....	9
2.4 - MAPA DE PROCESSOS.....	10
2.5 - MODELAGEM E SIMULAÇÃO.....	13
2.5.1. - Sistemas.....	13
2.5.2 - Tipos de sistemas.....	14
2.5.3 - O estudo de um sistema.....	14
2.5.4 - Conceito de modelo.....	16
2.5.5 - Modelos e sua classificação.....	16
2.5.6 - Modelagem de sistema.....	18
2.5.7 - Simulação computacional.....	18
2.5.7.1 - Importância da simulação computacional.....	19
2.5.7.2 - Aplicações da simulação computacional.....	20
2.5.7.3 - Principais elementos da simulação.....	22
2.5.7.4 - Vantagens e desvantagens da simulação.....	24
2.5.8 - Método Monte Carlo.....	26
2.5.9 - Modelagem e simulação utilizando o Software Arena.....	27
2.5.9.1 - Ferramenta Input Analyser do ARENA ®.....	28
2.5.9.2 - Etapas da modelagem e simulação.....	29
2.5.9.3 - Vantagens do software ARENA®.....	30

CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA DE PESQUISA.....	31
3.1 - CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA.....	31
3.2 - LOCAL DE ESTUDO.....	32
3.3 - COLETA DE DADOS.....	32
3.4 - ANÁLISE DE DADOS.....	33
3.5 - ASPECTOS ÉTICOS.....	33
3.6 – MATERIAIS.....	33
3.7 - MÉTODO DE CONDUÇÃO DA PESQUISA.....	33
CAPÍTULO 4 – ESTUDO DE CASO.....	35
4.1 - CONSTRUÇÃO DO MODELO.....	35
4.2 - A EMPRESA.....	35
4.2.1- Características gerais.....	35
4.3 - MODELO CONCEITUAL (SISTEMA PRODUTIVO).....	37
4.4 - AMOSTRAGEM, ANÁLISE E TRATAMENTOS.....	53
4.4.1 - Amostragem e coleta de dados.....	53
4.4.2 - Tratamento dos dados.....	54
4.4.3 - Identificação das distribuições de probabilidade.....	55
4.4.4 - Testes de aderência.....	55
4.4.5 - Teste Kolmogorov-Smirnov (K-S).....	56
4.4.6 - Amostragens.....	56
4.5 - APLICAÇÃO DO MAPEMANETO DE PROCESSOS.....	60
4.6 - MODELAGEM E SIMULAÇÃO.....	61
4.6.1 - Modelo computacional do processo.....	61
4.6.2 - Chegada de tijolos no processo.....	65
4.6.3 - Processo de corte.....	66
4.6.4 - Processo de empilhamento e refugo.....	68
4.6.5 - Processo de secagem.....	69
4.6.6 - Número de replicações.....	71
4.7 - ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	71
4.7.1 - Propostas de melhoria.....	75
4.7.2 - Primeiro evento de melhoria.....	76
4.7.3 - Segundo evento de melhoria.....	78
4.7.4 - Terceiro evento de melhoria.....	78

4.7.5 - Quarto evento de melhoria.....	79
4.7.6 - Quinto evento de melhoria (Utilização de Termostatos).....	80
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	81
5.1 - CONCLUSÕES.....	81
5.2 - SUGESTÕES.....	82
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	83
APÊNDICE A - CURVAS ESTÁTICAS ENCONTRADAS ATRAVÉS DAS AMOSTRAGENS DE TEMPOS (TEMPO PROCESSO DE CORTE)..	87
APÊNDICE B - CURVAS ESTÁTICAS ENCONTRADAS ATRAVÉS DAS AMOSTRAGENS DE TEMPOS (TEMPO DE EMPILHAMENTO APÓS ETAPA DE CORTE).....	88
APÊNDICE C - CURVAS ESTÁTICAS ENCONTRADAS ATRAVÉS DAS AMOSTRAGENS DE TEMPOS (TEMPO DE DESCARREGAMENTO DOS PALLETS PARA SECAGEM).....	89
APÊNDICE D - CURVAS ESTÁTICAS ENCONTRADAS ATRAVÉS DAS AMOSTRAGENS DE TEMPOS (TEMPO DE COLOCAR NO CARRINHO PARA FORNO).....	90
APÊNDICE E - CURVAS ESTÁTICAS ENCONTRADAS ATRAVÉS DAS AMOSTRAGENS DE TEMPOS (TEMPO DE RETIRAR DO CARRINHO PARA FORNO).....	91
APÊNDICE F - CURVAS ESTÁTICAS ENCONTRADAS ATRAVÉS DAS AMOSTRAGENS DE TEMPOS (TEMPO DE DESENFORNA).....	92
APÊNDICE G - CURVAS ESTÁTICAS ENCONTRADAS ATRAVÉS DAS AMOSTRAGENS DE TEMPOS (TEMPO DE ESTOCAGEM).....	93
APÊNDICE H - MODELO DE TABELA UTILIZADO PARA COLETAS DE AMOSTRAGENS DOS PROCESSOS.....	94

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Símbolos padrões ASME para mapa (fluxogramas) de processos.....	12
Figura 2.2	Formas de estudo de um sistema.....	14
Figura 2.3	Ideia de modelo de um processo experimental.....	15
Figura 2.4	Representação ilustrativa logística ferroviária.....	21
Figura 3.1	Fases de um estudo de simulação.....	34
Figura 4.1	Organograma da Empresa.....	36
Figura 4.2	Blocos cerâmicos fabricados.....	37
Figura 4.3	Fluxograma do sistema produtivo.....	38
Figura 4.4	Layout do chão de fábrica do sistema produtivo.....	39
Figura 4.5	Extração da argila na jazida.....	40
Figura 4.6	Estoque matéria prima.....	41
Figura 4.7	Transporte da matéria prima até caixão-dosador.....	42
Figura 4.8	Caixão dosador.....	43
Figura 4.9	Esteira transportadora dosador para desintegrador.....	44
Figura 4.10	Desintegrador utilizado.....	44
Figura 4.11	Misturador.....	45
Figura 4.12	Laminadores.....	46
Figura 4.13	Argila laminada.....	46
Figura 4.14	Máquina extrusora.....	47
Figura 4.15	Máquina de corte.....	48
Figura 4.16	Refugo.....	48
Figura 4.17	Empilhamento dos tijolos nos carrinhos e transporte por trator agrícola.....	49
Figura 4.18	Tijolos no processo de secagem.....	50
Figura 4.19	Galpão de secagem.....	50
Figura 4.20	Forno tipo Hoffman utilizado.....	51
Figura 4.21	Processo de empilhamento dos tijolos para queima.....	51
Figura 4.22	Operário empilhando os tijolos nos galpões de estocagem.....	52
Figura 4.23	Local de estocagem dos tijolos de cerâmica vermelha.....	52

Figura 4.24	Distribuição do tempo médio do processo de empilhamento dos tijolos no pallet após etapa de corte.....	58
Figura 4.25	Teste de aderência da variável de tempo para empilhamento de pallet após etapa de corte.....	58
Figura 4.26	Mapa de processo realizado.....	60
Figura 4.27	Modelo de simulação geral do processo produtivo de tijolos desenvolvido no ARENA.....	63
Figura 4.28	Exemplo de configuração de um roteador (<i>ROUTE</i>).....	64
Figura 4.29	Modelagem de chegada de tijolos no processo e registro de tempos.....	65
Figura 4.30	Configuração do bloco <i>Create</i>	66
Figura 4.31	Modelagem do processo de corte e empilhamento.....	67
Figura 4.32	Configuração do bloco <i>Process</i>	67
Figura 4.33	Modelagem do processo de empilhamento e refugo.....	68
Figura 4.34	Configuração do bloco <i>Batch 1</i>	69
Figura 4.35	Modelo de Simulação processo de secagem.....	70
Figura 4.36	Configuração do bloco <i>Process 2</i>	70
Figura 4.37	Quantidade de tijolos fabricados no período de um mês.....	71
Figura 4.38	Dados do <i>Output</i> Arena- informa a taxa de utilização dos recursos.....	72
Figura 4.39	Relatório Gerado pelo software Arena - filas (<i>QUEUE</i>) existentes no processo.....	74
Figura 4.40	Relatório gerado pelo software Arena - tempo de atravessamento médio entre Pallets.....	75
Figura 4.41	Representação do funcionamento de um extrator de sucata.....	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Distribuição por estado da produção nacional de Cerâmica Vermelha.....	6
Tabela 2.2	Produtividade Brasil peças/operário/mês.....	7
Tabela 2.3	Tipos de modelos.....	17
Tabela 2.4	Exemplos de modelos matemáticos.....	17
Tabela 4.1	Amostra tempo de empilhamento pallets após etapa de corte....	57
Tabela 4.2	Valores referentes ao processo tempo de empilhamento de pallets.....	57
Tabela 4.3	Tamanho da amostra.....	57
Tabela 4.4	Distribuições estatísticas geradas referentes a cada processo.....	59
Tabela 4.5	Distancias entre as etapas de fabricação.....	61
Tabela 4.6	Ícones utilizados na simulação software ARENA.....	62
Tabela 4.7	Ligações lógicas do modelo de simulação do processo produtivo de tijolos.....	64

NOMENCLATURA

ABC	ANUÁRIO BRASILEIRO DE CERÂMICA.
ANICER	ASSOCIACAO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERAMICA
EESPM	ESCOLA SUPERIOR DE PROPAGANDA E MARKETING
ELLA	PROJETO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NAS PEQUENAS INDÚSTRIAS DE CERÂMICA VERMELHA DO BRASIL
EUA	ESTADOS UNIDOS DA AMERICA
FIFO	FIRST IN, FIRST OUT
GUI	GRAPHICAL USER INTERFACE
HVF	HIGH VALUE FIRST
INT	INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA
KS	KOLMOGOROV-SMIRNOV
LIFO	LAST IN, FIRST OUT
LVF	LOWER VALUE FIRST
MTBF	TEMPO MÉDIO ENTRE FALHAS
MTTF	TEMPO MÉDIO PARA FALHA
PIB	PRODUTO INTERNO BRUTO
SEBRAE	SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

À luz da globalização, o mercado se tornou mais rigoroso e menos flexível referente às empresas e organizações. Preço e qualidade adquiriram papel cada vez maior no campo da concorrência. A capacidade de agregar valor aos produtos com baixo custo, aliada à redução do lead-time e do tamanho dos lotes passaram a ser fundamentais para uma empresa se manter competitiva. Ficou evidente que uma seleção natural iria acontecer no mundo dos negócios (GOLDRATT e COX, 2002).

Diante disto, as organizações, sejam elas de pequeno, médio ou grande porte, necessitam de ferramentas de auxílio para permanecerem no mercado de constante alteração, não deixando se tornarem obsoletas e não competitivas. Gráfico do fluxo de processo, estudo de tempos e movimentos e simulação computacional, são ferramentas que permitem a análise "cirúrgica" de um sistema, facilitando o entendimento do mesmo bem como encontrar não conformidades e gargalos.

Pode-se considerar a existência de problemas em qualquer empresa, seja qual for o ramo de atuação, pois nenhum processo atua de maneira 100% confiável e livre de falhas. As ferramentas da engenharia de produção e operações podem ser usadas para constatar a solução destes problemas de maneira lógica e sistêmica.

Mapear um processo, juntamente com o estudo de movimentos, tempos e simulação computacional tornaram-se recursos indispensáveis para o entendimento de um sistema produtivo e na solução de problemas frente a competitividade global.

O nicho mercadológico do setor ceramista no Brasil vem apresentando grande relevância nacional, com participação no Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro de quase um por cento (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERÂMICA, 2005). Entretanto, a competitividade frente a outros países ainda é baixa, demonstrando a necessidade de modernização e melhorias deste segmento. A cerâmica vermelha é utilizada em diversos setores, como exemplo: tijolos para alvenaria estrutural, telhas, utilização em baldrames de fundações, tijolos para fornos, churrasqueiras e outros utensílios bastante utilizados e encontrados no cotidiano.

Para realização e aplicação do presente trabalho será feito um estudo de caso em uma indústria do setor ceramista vermelho, localizado no polo industrial da cidade de São Luís (MA). A empresa atua a 4 anos no mercado ludovicense, fabricando tijolos

vazados e maciços. A mesma está buscando ampliar sua área de atuação, buscando aumentar o seu mercado consumidor na própria capital, almejando se estender para outros municípios. Assim, visando aumentar a lucratividade e torná-la mais competitiva, procurou-se medidas para proporcionar melhorias em seu processo produtivo.

O mapeamento de processos, atrelado a modelagem e simulação computacional auxilia a empresa a enxergar os pontos positivos e pontos negativos, que são: complexidade na operação, reduzir custos, gargalos, falhas de integração, atividades redundantes, tarefas de baixo valor agregado, retrabalhos, excesso de documentação e aprovações, além de ser uma excelente forma de melhorar o entendimento sobre os processos e aumentar a performance do negócio.

Portanto, a utilização do mapeamento de processos e simulação como ferramentas de análise e otimização dos processos de manufatura se apresentam como métodos de grande eficiência para detalhar e buscar sanar alguns desperdícios existentes, sendo um grande aliado na solução de problemas que limitam a competitividade da empresa.

O trabalho está orientado para responder a seguinte questão: *É possível a aplicação do mapeamento de processo e estudo de tempos e movimentos, atrelado a modelagem e simulação computacional contribuir para o entendimento e indicação de fontes de desperdícios em uma linha de produção de um sistema produtivo cerâmico?*

1.1 - MOTIVAÇÃO

Como justificativa da presente dissertação, a motivação para elaboração deste trabalho, se dá na busca de possíveis melhorias que podem ser aplicadas em unidades industriais, mais especificamente no setor de indústria ceramista vermelha. Setor este de grande relevância em todo Brasil e que vem crescendo na região nordeste. Além disso, a alta concorrência neste setor, faz com que as empresas necessitem de inovação e novos métodos, para garantir a sobrevivência no mercado global e auxiliar no aumento da confiabilidade nas tomadas de decisões.

Segundo CAMPOS (1992):

Numa era de economia global não é mais possível garantir sobrevivência da empresa apenas exigindo que as pessoas façam o melhor que puderem ou cobrando apenas resultados. Hoje são necessários métodos que possam ser aplicados em direção aos objetivos de sobrevivência da empresa.

Deste modo, este estudo de caso é de grande relevância, pois mostra a situação da maioria das empresas do setor ceramistas no estado do Maranhão e como o sistema produtivo pode ser analisado de maneira sistêmica para uma posterior melhoria. Sendo de grande importância para a empresa em estudo e para o meio acadêmico.

1.2 - OBJETIVOS

1.2.1 - Objetivo geral

Simular o sistema produtivo de uma unidade de produção de cerâmica vermelha com auxílio da ferramenta ARENA, avaliando a produtividade e o desempenho da linha de produção de blocos vazados e propor melhorias para o processo de fabricação.

1.2.2 - Objetivos específicos

E como objetivos específicos têm-se:

- Mapear o processo produtivo atual da empresa com o objetivo de entender melhor o sistema e identificar pontos críticos de desperdícios;
- Utilização de ferramentas de tempos, movimentos e estatísticos para quantificar a produção atual de tijolos e quantidade de refugo;
- Elaborar uma modelagem e simulação computacional com o propósito de analisar melhor o funcionamento e verificar gargalos do sistema;
- Levantar alternativas para composição de um plano de otimização do processo produtivo.

1.3 - ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

A estrutura deste trabalho incorpora, além da introdução, outros sete capítulos.

O Segundo capítulo, faz um resumo da situação atual do setor ceramista em âmbito nacional e no estado do Maranhão. Mostrando a relevância deste setor para o PIB e a grande versatilidade na utilização destes produtos, blocos cerâmicos vermelhos.

O capítulo três, aborda o referencial teórico sobre a ferramenta de tempos e movimentos explicando a relevância dessa ferramenta para o engenheiro de produção, bem como no auxílio de solucionar problemas na execução deste trabalho.

O capítulo quatro, aborda o referencial teórico sobre mapa de processos, mostrando que esta ferramenta é de grande importância para o entendimento detalhado do processo produtivo, auxiliando no estudo de métodos e entendimento de cada processo.

No capítulo cinco, são introduzidos conceitos de modelagem e simulação, as técnicas envolvidas na resolução de problemas como também as vantagens e desvantagens da sua utilização.

No sexto capítulo, é apresentada a metodologia utilizada no trabalho, caracterizando-o e apresentando o método de condução da pesquisa.

O capítulo sete, por sua vez, apresenta o estudo de caso, onde aplica-se as ferramentas do referencial teórico na indústria em estudo.

Finalmente, o oitavo capítulo incorpora as conclusões finais, baseadas nos resultados realizados e nas políticas existentes para o sistema em estudo.

CAPÍTULO 2

REVISÃO DA LITERATURA

2.1 - CERÂMICA VERMELHA

Existem três grupos de cerâmicas, as cerâmicas brancas, as de revestimento e as vermelhas. O presente trabalho irá se concentrar no ramo de produção da cerâmica vermelha, também conhecida como estrutural, caracterizada pela produção de produtos como, tijolos, lajes, telhas, agregados leves, tubos e vasos ornamentais. Possuem essa denominação, pela composição de cor vermelha dos seus produtos. Com relação a matéria prima o setor ceramista vermelho, utiliza basicamente argila comum e areia (SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS – SEBRAE e ESCOLA SUPERIOR DE PROPAGANDA E MARKETING - ESPM, 2008).

2.2 - O SETOR CERAMISTA NO BRASIL

De acordo com SANTOS (2013), a primeira grande fábrica de produtos cerâmicos do Brasil foi fundada em São Paulo, em 1893, por quatro irmãos franceses, com o nome de Estabelecimentos Sacoman Frères, posteriormente alterado para Cerâmica Sacoman S.A.

A cerâmica vermelha, conhecida também como estrutural é um segmento industrial que ainda utiliza bastante a mão-de-obra, onde prevalece de um lado as microempresas familiares com técnicas essencialmente artesanais e, do outro, empresas de médio porte que utilizam processos produtivos tradicionais. Deste modo, são consideradas tecnologicamente desatualizadas ao serem comparadas com modo produtivo empregado nos principais países produtores. Entretanto, a necessidade de reverter esse quadro está levando empresários a investir em tecnologias para melhorar a qualidade dos produtos e eliminar desperdícios no processo de produção.

Segundo, o Projeto de Eficiência Energética nas Pequenas Indústrias de Cerâmica Vermelha do Brasil (ELLA) (2012), o setor cerâmico no Brasil, possui uma participação no PIB de quase 1,0 por cento, além de apresentar características de relevância no quadro da economia nacional, envolvendo, pequenas, médias e grandes

empresas em todos os estados, no interior e nas regiões metropolitanas, e em grande parte dos municípios do país, abrangendo produtos derivados de minerais não metálicos para a construção civil, como elementos estruturais, para revestimento, utensílios domésticos, sanitários e de decoração, além de uso específico, como isoladores elétricos, tijolos refratários, tubulações sanitárias, isolantes térmicos e abrasivos.

Parte importante desse setor, a indústria de cerâmica vermelha no Brasil, também denominada cerâmica estrutural, abrange a produção de elementos estruturais, de vedação e de acabamento para a construção civil como exemplo: (telhas, tijolos, tubos, lajotas e pisos). A seguir apresenta-se a Tabela 2.1 com a distribuição por estado da produção brasileira de cerâmica vermelha.

Tabela 2.1- Distribuição por estado da produção nacional de Cerâmica Vermelha.

Estado	mil milheiros/mês	Estado	mil milheiros/mês	Estado	mil milheiros/mês
São Paulo	731	Pernambuco	68	Mato G. do Sul	24
Minas Gerais	426	Maranhão	57	Mato Grosso	21
R. G. do Sul	356	Paraíba	57	Rondônia	20
Paraná	250	Espírito Santo	50	Acre	9
Rio de Janeiro	220	Paraná	46	Amapá	5
Santa Catarina	213	Sergipe	43	Distrito Federal	6
Bahia	195	Piauí	43	Roraima	2
Goiás	170	Amazonas	43		
Ceará	170	Tocantins	40		
R. G. do Norte	170	Alagoas	37	TOTAL	3.412

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA (ABC, 2010), ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERÂMICA (ANICER, 2012) e INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA (INT, 2005).

Diante da Tabela 2.1 anterior, verifica-se que o estado com maior produção de cerâmica vermelha, é o estado de São Paulo, com uma produção na faixa de 731.000 mil milheiros por mês, já estado do Maranhão onde se encontra a empresa em estudo, produz na casa de 57.000 mil milheiros/mês.

Outro dado de grande relevância que serve para mensurar a produtividade de determinada empresa, é verificar a quantidade de peças por operários, **peças/operário/mês**. Assim, ANICER (2010), afirma que a produtividade média no ramo oleiro-cerâmico é na ordem de 15.000 (quinze mil) peças/operários/mês. A baixa produtividade com relação a outros países demonstra a importância da modernização do segmento no Brasil, o número de empresas é de aproximadamente cinco mil e quinhentos. Como mostra a Tabela 2.2 a seguir.

Tabela 2.2 - Produtividade Brasil peças/operário/mês.

Ano	2005	2006	2007	2008
FATURAMENTO R\$ - Bilhões	6	6.2	6.5	6.8
Nº Empresas FORMAIS	5.500	5.500	5.500	5.500
EMPREGOS DIRETOS (MIL)	400	400	400	403
PRODUTIVIDADE (mil peças/operários/mês)	13,3	13,7	14,5	15,3

Fonte: ANICER (2005).

2.2.1 - Setor ceramista no Maranhão

O setor ceramista no estado do maranhão ainda está em crescimento, possuindo 150 empresas de cerâmica vermelhas, sendo considerado 78 delas de maior porte (acima de 200 milheiros/empresa/mês) e cerca de 15 sindicalizadas. A produção é na faixa de 57.000 milheiros/mês, (média de 380 milheiros/empresa, mês), sendo 67% de blocos cerâmicos e 33% de telhas, envolvendo a oferta de 3.000 empregos diretos, em média (20 trabalhadores/empresa). Possuindo indústrias na capital (São Luís) e em outros municípios (SCHWOB, 2007).

O seu maior polo industrial se concentra na cidade de Timon e Itapecuru, onde operam 10 empresas de maior porte, produzindo cerca de 14.000 milheiros/mês em média de 1.400 milheiros/empresa mês.

A demanda mensal de argila é da ordem de 90.000 t, a produção final de 110.000 t/mês e a média da produtividade por empresa de 380 milheiros/empresa/mês (SCHWOB, 2007).

2.3 - ESTUDO DE TEMPOS E MÉTODOS

Segundo BATALHA (2008), a Engenharia de Produção foi criada a partir do princípio da racionalidade econômica aplicada aos sistemas produtivos. Utilizando-se desse princípio Frederick Winslow Taylor e Henry Ford transformaram os conhecimentos empíricos sobre produção em conhecimentos formalmente estabelecidos.

Para Taylor a presença constante de desperdícios de tempo, de recursos e principalmente do tempo e dos esforços das pessoas, são pontos de extrema relevância que merecem atenção para o desenvolvimento de um sistema.

Sendo assim, Taylor estudou sistematicamente o processo industrial de planejar e executar o trabalho, representando um entendimento básico para a Engenharia Mecânica, esse estudo observou que planejar antes de executar, leva sem dúvida a uma maior eficiência, tornando o trabalho mais fácil e produtivo. O método de estudos de tempos proposto originalmente por Frederick W. Taylor em 1881 consistia em identificar uma atividade de produção, seu início, seu final e atividades constituintes. Posteriormente dissecava as atividades em atividades elementares e media o tempo necessário para a execução de cada atividade elementar. Em seguida, remontava a atividade do início ao final, de forma que o tempo total para a execução fosse minimizado. A proposta de Taylor na época foi colocada em prática por Ford ao produzir o Ford Modelo T, ocasionando grande contribuição. Assim sendo, desde aquela época esta ferramenta passou a ser de grande relevância e usual, auxiliando na melhoria de sistemas produtivos (BATALHA, 2008).

A aplicação desta ferramenta será realizada no presente trabalho e servirá de base para a coleta das amostragens, que serviram para mapear e simular o processo em estudo.

2.3.1 - Abordagem geral

O estudo minucioso dos sistemas de trabalho é conhecido como estudo de movimentos e tempos.

Segundo BARNES (2001):

Desenvolver as atividades do sistema, padronizar o sistema e os métodos que o compõem, determinar o tempo gasto por uma pessoa qualificada e devidamente treinada, trabalhando num ritmo normal para realizar uma tarefa

ou operação específica, orientar o treinamento do trabalhador no método preferido.

Deste modo, conhecer o quanto de trabalho uma equipe, indivíduo e equipamentos podem realizar, são fatores cruciais que auxiliaram na gestão da produção e operações. Como exemplo: Programação de trabalho e alocação de capacidade, custos para definição da quantidade de mão de obra, prever benchmarking para melhorias e amostragem de trabalho. Os registros das quantidades produzidas e das quantidades de horas - homem empregadas numa tarefa, fornecem uma estimativa sobre a capacidade de execução de determinado trabalho.

2.3.2 - Análise dos tempos

De acordo com CORRÊA e CORRÊA (2004), o estudo de tempos e métodos possui a seguinte classificação:

É um método para obtenção dos padrões de trabalho através da utilização de cronometragem sobre o trabalho de indivíduos treinados e em condições normais, possuindo como objetivo determinar o tempo padrão para as diversas tarefas ou ciclos de tarefas componentes do trabalho. O método consta na descrição de cinco passos, definir a tarefa a ser estudada, dividir a tarefa em elementos, cronometrar os elementos, determinar o tamanho da amostra e por último estabelecimento de padrões.

O procedimento de estudo de tempos, envolve medir o tempo de uma amostra do desempenho de um trabalhador e utilizá-lo no estabelecimento de uma padronização. Sendo explicado nos tópicos a seguir.

- **Definir a tarefa estudada:** uma tarefa é uma parte do trabalho a ser realizado dentro de um sistema. É de extrema importância que ela seja identificada em seu início e fim. Como exemplo, em uma indústria onde se fabricam tijolos, uma tarefa pode ser caracterizada como a ação de levar tijolos da etapa de corte para os galpões de secagem;
- **Dividir a tarefa em elementos:** se uma determinada tarefa possui outras sub-etapas, é de importância identificar essas sub-etapas, para um maior entendimento;
- **Decidir quantas vezes a tarefa será medida (tamanho da amostra):** objetivo do estudo de tempos é obter um valor de tempo para cada elemento, que corresponda ao valor verdadeiro da média dos tempos para os valores possíveis

- na maior parte das vezes. Assim sendo, será pré-estabelecido quantas vezes deve se medir uma amostra, no estudo de caso este tópico será melhor compreendido;
- **Cronometrar os Elementos:** sobre os elementos selecionados será feito a cronometragem de um trabalhador treinado ou no método de trabalho considerado, pode-se medir também, o tempo que um equipamento demora para realizar determinada tarefa. Esta etapa será levada em consideração o tempo de ciclo médio real. Segundo HEIZER e RENDER (1999) o **tempo de ciclo médio real** é caracterizado como a média aritmética dos tempos para cada elemento medido, sendo representado pela seguinte expressão matemática. Tempo de ciclo médio real = (Soma dos tempos registrados para cada elemento). Número de ciclos observados¹;
 - **Estabelecimento de padrões:** os valores obtidos estarão sujeitos a variações de ritmos normais do operador e do sistema como um todo, variações estas normais em qualquer processo produtivo. Através disso deve ser levado em consideração o quanto acima ou abaixo de um ritmo de trabalho considerado normal. Para isso, na atualidade existem softwares que utilizam esse dado amostral e realizam curvas estatísticas que representam a variação desse tempo devido a oscilações existentes abaixo ou acima do ritmo de trabalho. Este tema será discorrido e melhor explicado mais a frente, no presente artigo.

O estudo de tempos e movimentos é composto pela análise dos tempos como exposto e explicado anteriormente e também pela análise dos métodos (movimentos). É de grande importância ressaltar que ambos são utilizados em conjunto, sendo explicados separadamente neste trabalho como caráter de melhor compreensão. Dando continuidade, será explanado a seguir o que se caracteriza o estudo de métodos, utilizando a ferramenta de mapeamento de processos para a realização desta etapa.

2.4 - MAPA DE PROCESSOS

É uma ferramenta de análise de métodos de grande importância e utilização, sendo empregado em conjunto com a análise de tempo que serve de base para construção da mesma. “Um mapa de processos é uma maneira organizada de registrar todas as atividades executadas por uma pessoa e por uma máquina em uma estação de

¹ Expressão matemática para aferir o Tempo de ciclo médio real.

trabalho envolvendo um cliente ou materiais” (MALHOTRA, RITZMAN e KRAJEWSKI, 2009).

O Mapeamento de Processo é uma ferramenta gerencial e de comunicação que tem a finalidade de ajudar a melhorar os processos existentes ou de implantar uma nova estrutura voltada para processos, na empresa em estudo estes fatores internos serão identificados. Os mapeamentos das atividades também auxiliam as empresas a visualizarem de forma mais clara e detalhada pontos positivos e restrições (pontos que precisam ser melhorados), como exemplo: reduzir custos, encontrar gargalos, falhas de integração, atividades redundantes, tarefas de baixo valor agregado, refugos, excesso de documentação e aprovações, além de ser uma excelente forma de melhorar o entendimento sobre os processos e aumentar a performance do negócio.

Conforme BARNES (2001):

É uma técnica que permite registrar um processo de maneira compacta, a fim de tornar possível sua melhor compreensão e posterior melhoria. O mapa representa os diversos passos ou eventos que ocorrem durante a execução de uma tarefa específica, ou durante uma série de ações. O diagrama tem início com a entrada de matéria-prima na fábrica e se segue em cada um dos seus passos, tais como transportes e armazenamentos, inspeções, usinagens, montagens, até que ela se torne um produto acabado, ou parte de um subconjunto.

O mapa de processos auxilia na análise de todo e qualquer tipo de sistema produtivo, permitindo identificar de maneira mais simples a(s) entidade(s) do sistema, bem como as etapas presentes para transformação desta entidade até o produto final. Através disso operações podem ser eliminadas, pode ser estipulado um melhor trajeto para o produto, máquinas mais econômicas podem ser empregadas, esperas entre operações podem ser minimizadas, contribuindo para a realização de um produto melhor a um custo mais baixo.

O objetivo dos diagramas de processos é a listagem de todas as fases do processo de forma simples, de rápida visualização e entendimento.

Clareza e fidelidade são requisitos básicos de qualquer diagrama de processo. Com relação a clareza ele promove a participação das pessoas e promove a análise. Processos complexos que resultam em diagramas longos deverão ser separados em partes dividindo por responsabilidades ou utilizando uma hierarquia. E fidelidade, pois todas as alterações de processo deverão ser documentadas nos diagramas para que a realidade seja relatada de maneira mais exata possível. (CORRÊA e CORRÊA, 2011).

O mapeamento de processos, como ferramenta de método de trabalho busca indicar como o mesmo é realizado. Seja operações como torneamento, fabricação de tijolos, atendimento num call-center, dentre outras inúmeras aplicações. O importante é

saber que os métodos, atividades escolhidas para realização, ocasionam impactos sobre o desempenho (qualidade, velocidade, segurança).

O mapa de processos como já citado acima, são utilizados para análise dos fluxos e para análise de melhoramentos. Utiliza-se os símbolos demonstrados na Figura 2.1, que descrevem as atividades realizadas no fluxograma.






SÍMBOLO	ATIVIDADE
	Uma operação, tarefa ou atividade de um trabalho.
	Um movimento de materiais, informações ou pessoas de um lugar para o outro.
	Uma inspeção, verificação ou exame de materiais, informações ou pessoas.
	Uma espera ou uma pausa no processo.
	Uma estocagem, estoque de materiais, arquivos ou fila de pessoas.

Figura 2.1 - Símbolos padrões ASME para mapa (fluxogramas) de processos.

A Figura 2.1 pode ser melhor compreendida a seguir:

- **Operação:** modifica, cria ou agrega algo;
- **Transporte:** movimenta o objeto em estudo de um lugar para o outro;
- **Inspeção:** controla ou verifica algo sem o alterar. Procurar defeitos em uma superfície, pesar um produto, são exemplos de inspeção;
- **Atraso:** ocorre quando o foco é retido, aguardando por uma ação. Como exemplo, tempo gasto esperando materiais ou equipamentos, refugos, limpeza, dentre outros;
- **Armazenagem (Estoque):** produtos colocados de lado até uma operação futura.

Além disso, é indicado as distâncias percorridas entre atividades e os tempos de realização de cada atividade, bem como o tempo que separa uma atividade da outra. Por isso a importância do estudo de tempos explicado no capítulo anterior, pois ele juntamente com o estudo de métodos, devem atuar em conjunto para uma melhor análise e compreensão do fluxo de processos.

2.5 - MODELAGEM E SIMULAÇÃO

A utilização de ferramentas descritas acima como tempos e métodos e mapeamento de processos, é de extrema relevância para este tópico, pois auxiliam na realização do modelo conceitual, bem como é através do estudo de tempos e movimentos que serão feitas as amostragens, para se realizar as curvas estatísticas que iram constituir o processo de simulação. É importante ressaltar que a simulação e a estatística andam juntas pois não se realizam a interpretação de dados discretos e sim curvas estatísticas que indicaram a probabilidade de ocorrência de determinado evento.

A simulação nos últimos anos se tornou um dos métodos mais eficientes para a tomada de decisões com rapidez e lógica matemática, reduzindo as incertezas presente no empirismo e nas experiências dos profissionais e especialistas. Fazendo com que seja possível a análise de várias alternativas que o sistema em estudo pode enfrentar, possibilitando uma melhor compreensão do sistema real minimizando necessidade de gastos com recursos (PRADO, 2003).

2.5.1 - Sistemas

A Simulação é um dos métodos existentes para estudar e analisar sistemas. De acordo com o dicionário AURÉLIO (2012) a palavra “sistema” possui inúmeros significados, dependendo da área em questão, para a matemática é: “Um conjunto de equações que ligam simultaneamente diversas variáveis.” Para o nosso contexto o sistema é um conjunto de interações ou interdependências que ligam variáveis que são objeto de nosso estudo.

Para PRADO (2003), o funcionamento de um sistema consiste, em geral, do recebimento de “clientes” de um meio externo, processamento através de interações existentes dentro dele e o envio desses “clientes” para outro meio externo. O sistema normalmente é um conjunto de interações que possui uma restrição em seu entorno, esses limites como também pode ser chamado é denominado normalmente de “sistema em estudo” que vai depender da necessidade ou interesse do estudo.

2.5.2 - Tipos de sistemas

Segundo GAVIRA (2003), os sistemas podem ser contínuos, discretos, determinísticos, estocásticos, estáticos ou dinâmicos.

- Discretos: são representados por sistemas reais que são constituídos de componentes inteiros;
- Determinísticos: é um sistema cujo comportamento é predito;
- Estocásticos: são sistemas que a predição do seu comportamento é através de distribuições de probabilidade;
- Estáticos: são sistemas que não se alteram com o tempo;
- Dinâmicos: são sistemas que variam ao longo do tempo.

2.5.3 - O estudo de um sistema

Segundo LAW e KELTON (2000), para o estudo de um sistema é necessária à análise de algumas hipóteses sobre as interações entre os componentes do sistema e suas possíveis novas condições. Existem diversas maneiras de se estudar um sistema, algumas dessas formas estão representadas na Figura 2.2 a seguir.

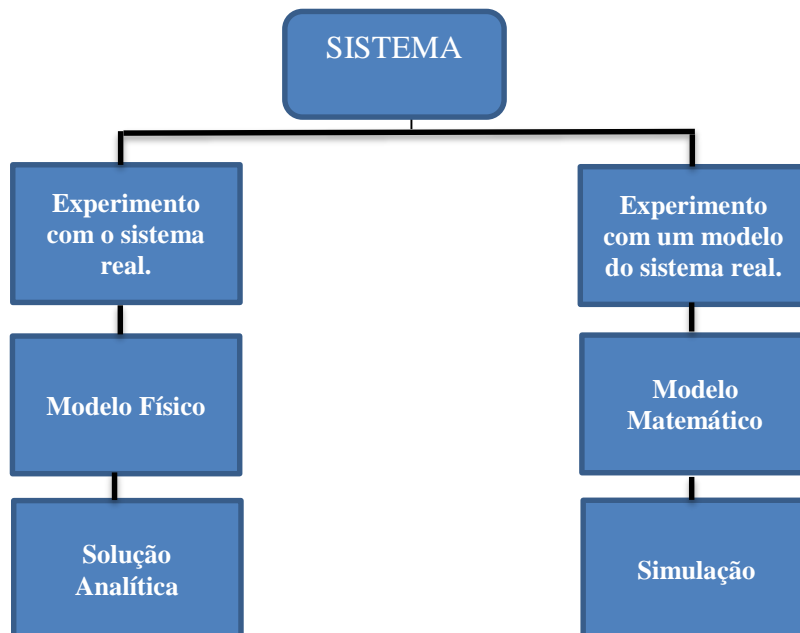


Figura 2.2 - Formas de estudo de um sistema.
Fonte: LAW e KELTON (2000).

Se for possível, a alteração da operacionalização do sistema real é desejável. E caso o sistema ainda não exista faz-se necessário o estudo desse novo sistema a partir de várias configurações. Por essas razões, é usualmente necessário construir um modelo como uma representação do sistema a fim de estudá-lo. Outras alternativas seriam os modelos físicos, normalmente chamados de icônicos, os quais, basicamente, tratam o sistema de forma real, porém reduzido. Os modelos físicos são específicos, concretos e difíceis de manipular para fins experimentais. Por isso os modelos matemáticos são adequados para a experimentação, pois representam sistemas através de relacionamentos lógicos e quantitativos, utilizando na sua maioria símbolos no lugar de dispositivos físicos. A solução analítica aborda em sua maioria modelos matemáticos simples. Porém se os sistemas são complexos e possuem uma quantidade elevada de variáveis é recomendada a utilização da simulação para essas análises (LAW e KELTON, 2000).

Na maioria dos casos, os modelos de simulação devem conter uma entrada, *input*, na qual as entidades chegam ao sistema, entende-se por entidade aquilo que irá sofrer transformação no processo, um ou mais recursos de atendimento e uma saída. A Figura 2.3 ilustra estes tipos de modelo.

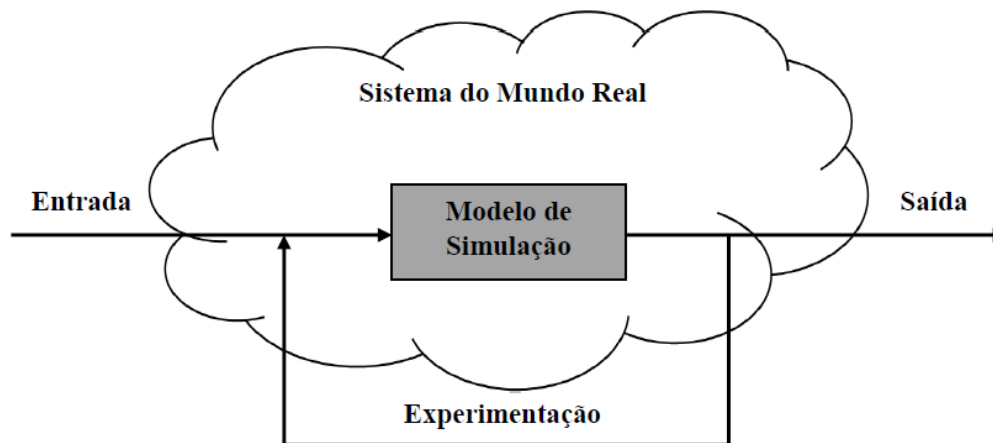


Figura 2.3 - Ideia de modelo de um processo experimental.
Fonte: FREITAS FILHO (2008).

2.5.4 - Conceito de modelo

Para se realizar uma simulação primeiramente se faz necessário modelar o que se deseja estudar. De acordo com BAZZO e PEREIRA (2008) modelo é uma representação mais verdadeira possível do sistema físico real conhecido como (SFR). O objetivo primordial de um modelo é estabelecer uma correlação, idealização entre o modelo e a realidade correspondente. As concepções de Darwin e de Einstein, por exemplo, são modelos criados pelo homem para explicar, analisar e entender determinados fenômenos.

Segundo autores anteriormente citados (2008), os modelos possuem grande importância e são utilizados na engenharia, pois, não seria viável e nada prático construir todas as alternativas possíveis do SFR (sistema físico real), com a criação de modelos isto se torna mais prático. A precisão do processo pode ser aumentada através do aprimoramento do modelo, controlando e mudando as variáveis durante os testes. Com a utilização de modelos é possível em menor espaço de tempo fazer uma análise da situação de muitas variáveis, determinando seus efeitos no desempenho real. Com o advento da computação, que constitui como ferramenta de auxílio a modelagem, diversas combinações de variáveis podem ser estudadas mais rápidas e economicamente. Vários testes podem ser realizados repetidos inúmeras vezes em um curto espaço de tempo, verificando-se com mais agilidade a situação ótima mais favorável ou problemas a serem solucionados.

É importante ressaltar que os modelos não são únicos, diferentes modelos podem ser aplicados para analisar o desempenho de um sistema sob diferentes pontos de vistas.

2.5.5 - Modelos e sua classificação

Os modelos atualmente são utilizados para auxiliar na identificação e solução de problemas seja qual for o ramo industrial. Estudos de modelagem de sistemas podem envolver modificações de layout, ampliações de fábricas e trocas de equipamentos.

Segundo BAZZO e PEREIRA (2008), os modelos podem ser classificados em quatro tipos principais. Demonstrado na Tabela 2.3 a seguir.

Tabela 2.3 - Tipos de modelos.

Tipos de Modelos	
Icônico	Diagramático
Matemático	Representação Gráfica

- Modelo Icônico: Modelo icônico é a representação através da imagem de algo, obedecendo formas e proporções, geralmente são feitas em escala. Sua principal característica é o alto grau de semelhança com o seu equivalente real. Podem ser bi ou tridimensionais. A exemplo de modelos icônicos tridimensionais tem-se maquetes e estatuas;
- Modelo Matemático: Dentre os tipos de modelo, o matemático é o de aplicação mais importante na engenharia e é o que será utilizado neste trabalho. Os modelos matemáticos são uma idealização na qual são usadas técnicas de construção lógica. Assim os fenômenos e as variáveis do problema são descritos por elementos idealizados que representam as características essenciais da situação real, sendo relacionados através de uma expressão matemática. É importante lembrar que os sistemas físicos reais são de grande complexidade e possuem inúmeras variáveis, a importância da modelagem matemática juntamente com softwares computacionais é simplificar o sistema a ponto de ser analisado com mais facilidade e clareza (BAZZO e PEREIRA, 2008).

O software Arena utilizado neste trabalho, que será explicado mais detalhadamente ao decorrer do mesmo, utiliza a modelagem matemática para realizar a modelagem e simulação de sistemas segundo Tabela 2.4.

Tabela 2.4 - Exemplos de modelos matemáticos.

Exemplos de modelos matemáticos	
Equação de Torricelli	MRUV
$V^2=V_0^2+2aS$	$S=S_0+V_0t+(at^2)/2$

- Modelo Diagramático: Neste exemplo de modelo, um conjunto de linhas e símbolos representa a estrutura ou comportamento real.
- Modelagem Gráfica: Neste tipo de modelo retas ou cores indicam uma propriedade do sistema real modelado, como temperatura, pressão, número de falhas, acréscimo populacional de uma cidade (BAZZO e PEREIRA, 2008).

2.5.6 - Modelagem de sistema

Na realização de inúmeros estudos de planejamento é de grande frequência depararmos com problemas de dimensionamento ou fluxo cuja solução é aparentemente complexa. O cenário pode ser uma fábrica, um porto, uma empresa de mineração, bancos, sistema de tráfego de uma cidade, dentre outros. Geralmente busca-se saber problemas como qual a quantidade necessária de equipamentos e pessoas; qual o melhor layout e melhor roteiro de fluxo dentro do sistema que está sendo analisado.

Para BAZZO e PEREIRA (2008), modelar significa realizar uma representação do sistema físico real ou parte dele a fim de descrever seu comportamento, construir um modelo para representar de maneira mais precisa o sistema real.

As soluções de tais perguntas buscam ser solucionadas para tornar o funcionamento do sistema mais eficiente ou otimizado. Por otimizado, significa que irá ter custos adequados e usuários satisfeitos com o ambiente ou com o serviço oferecido. Outra nomenclatura utilizada é dizer que o sistema está balanceado. Para se obter estas vantagens, é realizado e feitos estudos, conhecidos como modelagem de sistemas.

"Estudos de modelagem de sistemas podem envolver modificações do layout, ampliações de fábricas, troca de equipamentos, reengenharia, automatização, dimensionamento de uma nova fábrica e etc." (PRADO, 2003).

Assim, verifica-se que ferramentas de modelagem e simulação, estão sendo usadas cada vez mais em diversos meios, pois possuem grande poder de aplicabilidade e eficácia nos resultados obtidos.

2.5.7 - Simulação computacional

A simulação pode ser conceituada de diversas formas, dependendo da importância desse método para cada autor. Porém, todos são unânimes em defender a simulação como um método útil para resolução de problemas de sistemas complexos. A seguir, é mostrado o conceito sobre a visão da literatura especializada.

Para LOURENÇO (1981), a simulação é uma aproximação na qual as características, a forma e a aparência do sistema em estudo são imitadas com o fim de executar experiências substitutas. É a representação de um sistema real através da réplica de uma sucessão de eventos que têm lugar no sistema, de acordo com relações

matemáticas e decisões lógicas, permitindo que se efetue a experimentação, sem que tal necessite ser feita no mundo real.

A simulação permite imitar o funcionamento de um sistema real, com o auxílio de softwares em computadores é possível visualizar na tela o funcionamento do sistema em estudo, tal como um filme.

Segundo PRADO (2014), simulação é uma técnica de solução de um problema pela análise de um modelo que descreve o comportamento do sistema, usando um computador digital.

Isto permite a reprodução do funcionamento de um sistema, com auxílio de um modelo, que nos permite testar algumas hipóteses sobre o valor das variáveis controladas.

Na visão de SWAIT (1987), a simulação é um procedimento em que um modelo matemático computacional de um sistema físico é utilizado para efetuar experimentos sobre o sistema através da geração de estímulos externos e da observação das reações do sistema durante um período de tempo. Talvez seja a única técnica que analisa problemas onde ocorrem variações pronunciadas da demanda ao longo do tempo.

A simulação é uma técnica disponível para modelagem de sistemas, bem como a teoria das restrições, no trabalho em estudo irá fazer uso desta ferramenta, simulação, para auxiliar no estudo da indústria cerâmica.

2.5.7.1 - Importância da simulação computacional

A simulação possui grande relevância, pois permite ao engenheiro, realizar estudos sobre correspondentes sistemas modelados para responder questões como exemplo: "O que aconteceria se?". A principal importância é que tais questões podem ser solucionadas e respondidas sem que os sistemas reais sob investigação sofram qualquer perturbação, uma vez que os estudos são feitos no computador.

Outra grande vantagem da simulação computacional é obter a resposta sobre essas perguntas antes de se ter o sistema real funcionando, e com grande confiabilidade (FREITAS FILHO, 2008).

Segundo FERNANDES *et al.* (2006), a utilização da técnica de simulação auxilia e possui grande importância nos seguintes aspectos: 1) projetar e analisar sistemas industriais; 2) prever resultados na execução de determinada ação; 3) reduzir os riscos na tomada de decisão; 4) identificar problemas antes de suas ocorrências; 5)

eliminar procedimentos em arranjos industriais que não agregam valor à produção; 6) realizar análises de sensibilidade; 7) reduzir custos com o emprego de recursos (mão de obra, energia, água e estrutura física); e 8) revelar a integridade e viabilidade de determinado projeto em termos técnicos e econômicos.

Os aspectos citados anteriormente demonstram os principais fatores que podem ser analisados com a utilização desta ferramenta.

Para LAW e KELTON (2000) a simulação permite uma visão sistema mais precisa e de fácil entendimento, permitindo com que o engenheiro perceba como alterações específicas locais podem alterar no sistema global.

2.5.7.2 - Aplicações da simulação computacional

A aplicação da simulação como citada anteriormente, possui um vasto campo de atuação, entrando mais a fundo neste tópico, será relatado alguns pontos importantes em que a modelagem e simulação podem estar presentes e contribuir na solução de vários problemas.

“A simulação tem inúmeras aplicações no mundo atual, nas áreas mais diversas, que vão desde produção em uma manufatura até o movimento de papéis em um escritório. Costuma-se dizer que "tudo que pode ser descrito pode ser simulado." (PRADO, 2014).

Assim, será exposto a seguir de forma mais detalhada, quatro ramos de aplicação onde a simulação possui grande relevância.

– Linhas de Produção

Este é um setor no qual, a modelagem e simulação possuem uma vasta e maior aplicabilidade. Vários cenários se encaixam neste item, desde empresas manufatureiras até empresas prestadoras de serviços. Segundo PRADO (2014), um setor de produção pode ser planejado, verificando gargalos e obtendo um melhor fluxo dentro dele. Além disso, modificações em modelos já existentes, seja pela necessidade de aumentar a produção ou pela troca de equipamentos ou adição de novos produtos. Com a simulação consegue-se informar onde deverão ser feitas as modificações necessárias para adequar o processo da melhor maneira possível, chegando assim, após algumas tentativas, ao melhor modelo requerido.

Também, melhores políticas de estoques podem ser obtidas, como exemplo: solicitação de material, atendimento pelos fornecedores, como evitar com que

determinada matéria prima não falte e prejudique todo o processo, uma infinidade de atribuições.

- Logística

Nesta área o uso e aplicabilidade da simulação vêm crescendo bastante. Cenário como fluxo portuário, tráfego de uma cidade, fluxo de pessoas em um banco, simulações em aeroportos, fábricas dentre outros modelos. Para detalhar a importância deste item na simulação escolheu-se duas grandes áreas.

- Logística ferroviária: pode-se verificar número de desvios e da alocação de máquinas de serviço, verifica-se a necessidade ou a ociosidade de vagões a serem removidos ou adicionados segundo Figura 2.4;
- Modelo Rodoviário: é possível dimensionar um pedágio ou estabelecer melhor fluxo de veículos pelas ruas de uma cidade. Verificando qual setor (es) possuem maior congestionamento, qual o tempo ideal de semáforos de acordo com os horários diários, qual a necessidade de aplicar pardais em determinadas regiões. Enfim, busca-se uma melhoria, tornando o sistema mais ágil e eficaz.



Figura 2.4 - Representação Ilustrativa logística ferroviária

Fonte: <http://www.planetaferrovia.com/2013/02/valor-logistica-integrada.html>.

- Confiabilidade da Manutenção

A confiabilidade é outra área no qual a simulação pode auxiliar de maneira significativa, a exemplo, segundo PRADO (2014), é uma ferramenta de grande importância para aferir a confiabilidade de um sistema. Mais especificamente, o tempo médio entre falhas (MTBF) e o tempo médio para falha (MTTF), podendo realizar um plano de manutenção preventiva. Além disso, as validades da redundância de alguns

componentes do sistema também podem ser testadas. Auxiliando assim na construção de modelos que vão desde processamento de dados até esquadrões aéreos.

- Bancos e Supermercados

Nesta área, pode-se dimensionar o número de caixas de modo que as filas se mantenham abaixo de um valor ótimo estipulado. No caso dos bancos, o uso de fila única pode trazer um melhor atendimento aos clientes, além disso, pode-se realizar uma melhor distribuição de pessoas a exemplo por tipos de serviços ou pessoa física ou jurídica.

2.5.7.3 - Principais elementos da simulação

Em um modelo computacional de simulação existem diversos elementos ou termos. Segundo FREITAS FILHO (2008) os elementos são os seguintes:

- Variáveis de Estado – são valores que determinam o estado do sistema, elas constituem um conjunto de informações necessárias à compreensão do que está ocorrendo no sistema num determinado instante do tempo em relação ao objeto de estudo. A determinação dessas variáveis é o propósito do estudo;
- Eventos – são acontecimentos, ocorrências, programadas ou não, os quais provocam uma mudança de estado em um sistema. A ocorrência de um evento resulta na alteração de pelo menos uma variável de estado;
- Entidades – são elementos essenciais para o funcionamento do modelo. As entidades podem ser objetos ou pessoas que na maioria das vezes possuem um ciclo de vida dentro do sistema. As entidades são classificadas como dinâmicas, que entram no sistema, participam dos processos, ou seja, seu ciclo de vida, e abandona o sistema, alguns exemplos de entidades dinâmicas são: peças (que se movem pela fábrica), pacientes chegando a um hospital e saindo depois do atendimento, pessoas em filas de bancos, supermercados, paradas de ônibus dentre outros. As estáticas são entidades que executam suas funções sem abandonar o sistema, alguns exemplos são: máquinas que realizam processos mecânicos, um atendente de banco, um médico, um ônibus. Em relação às entidades dinâmicas suas chegadas são realizadas por um procedimento externo, que pode ser aleatório ou definido. Quando a entidade entra em um processo ela, na maioria das vezes, requer recursos (matéria-prima, tempo, mão de obra) que depois de processados, são removidas do processo;

- Atributos – são as características próprias das entidades, no ponto de vista prático os atributos são meios de armazenamento de valores relacionados a uma entidade específica. Os atributos são de grande importância para a análise do sistema, pois a partir dos mesmos podem ser feitas investigações sobre vários tipos de entidades, alguns exemplos de atributos são: um código presente em uma peça, o formato ou tamanho de uma matéria-prima, entre outros;
- Recursos – são entidades estáticas que fornecem serviços para entidades dinâmicas. Um recurso pode ter capacidade de servir uma ou mais entidades dinâmicas ao mesmo tempo, operando em servidores paralelos, como também é possível que uma entidade dinâmica opere com mais de uma unidade de recurso ao mesmo tempo ou com diferentes recursos simultaneamente, caso uma entidade não consiga ser servida por um recurso é porque o mesmo está ocupado e a mesma deverá aguardar por ele em uma fila;
- Filas de Recursos – são locais de espera onde as entidades dinâmicas esperam sua vez de seguir através do sistema. O processamento de um fila depende exclusivamente das políticas operacionais adotadas no sistema ou modelo que a representa. As políticas utilizadas são: “*First In, First Out*” (**FIFO**), onde o primeiro a chegar à fila será o primeiro a ser atendido pelo recurso, “*Last In, First Out*” (**LIFO**), o último a entrar é o primeiro a sair, “*High Value First*” (**HVF**), o maior valor primeiro, “*Lower Value First*” (**LVF**), o menor valor primeiro, ou algum critério pré-estabelecido;
- Atividades – são sequências de procedimentos que causam mudanças no sistema. À atividade corresponde a um período de tempo pré-determinado, que também pode ser chamado de estado ativo, que é comum a uma ou mais entidades. A duração de uma entidade pode ser determinística ou estocástica. Uma atividade é indivisível, ou seja, uma vez iniciada ela não pode ser mais interrompida. Um exemplo de atividade é o atendimento em caixa de um banco, o atendimento a um cliente A dura 20 min, e de um cliente B dura 17 min, ou seja, essa atividade é representada por uma distribuição de probabilidade;
- Períodos de Espera – são tempos sobre os quais não se tem controle se o modelo contiver variáveis aleatórias. Um exemplo é caso uma peça que entre na fila de espera para o processamento em um torno, o período de espera será a soma dos

- tempos dos processamentos de todas as peças que chegaram à fila antes da mesma;
- Tempo Real e Tempo de Simulação – o Tempo Real consiste no tempo que o sistema real estaria em funcionamento e o Tempo de Simulação é o período de tempo que o modelo simula o sistema real. Alguns exemplos caracterizam melhor a diferenças desses dois tipos de tempo. Eles são: O processamento de informações em um computador, no tempo real as informações são movimentadas em milissegundos e o tempo de simulação dura minutos ou até horas. Já em um processo de simulação de uma fábrica cerâmica, o tempo real pode ser dias, semanas ou até meses e o tempo de simulação o representa em horas;
 - Acumuladores – são variáveis do modelo, que acumulam valores que permitem medir o desempenho do sistema. Essas variáveis acumulam valores com o tempo, para depois receberem tratamento de análise e gerar as estatísticas de simulação;
 - Relógio – é uma variável que acumula o tempo real ou simulado do sistema, diferenciando-se, assim, do tempo de simulação;
 - Cenário – é uma experimentação de configurações pré-estabelecidas do sistema real. Os cenários possuem variáveis, entidades e dados alterados para análise dos sistemas;
 - Aquecimento – é um período de tempo que as estatísticas geradas são expurgadas, pois não representam o sistema em questão devido à variação excessiva;
 - Replicação – é a execução do modelo computacional. Representa o período de Tempo de início e fim de um ciclo de eventos de simulação.

2.5.7.4 - Vantagens e desvantagens da simulação

Para o melhor entendimento da simulação como ferramenta de análise é preciso conhecer os prós e contras da sua utilização. Existem divergências a respeito da aplicação da simulação, assim será listado a seguir as vantagens e desvantagens da mesma.

Segundo PEGDEN (1991 *apud* FREITAS FILHO, 2008).

a) Vantagens:

- Uma vez criado, um modelo de simulação pode ser utilizado inúmeras vezes para avaliar projetos e políticas propostas;
- A metodologia de análise utilizada pela simulação permite a avaliação de um sistema proposto, mesmo que os dados de entrada estejam, ainda, na forma de “esquemas” ou rascunhos;
- A simulação é, geralmente, mais fácil de aplicar do que métodos analíticos;
- Enquanto os modelos analíticos requerem um número muito grande de simplificações para torná-los matematicamente tratáveis, os modelos de simulação precisam de uma quantidade menor de simplificações. Além disso, nos modelos analíticos, as análises recaem apenas sobre um número limitado de medidas de desempenho. De maneira contrária, as informações geradas pelos modelos de simulação permitem a análise de qualquer medida concebível;
- Uma vez que os modelos de simulação podem ser quase tão detalhados quanto os sistemas reais, novas políticas e procedimento operacionais, regras de decisão, fluxo de informação, etc. podem ser avaliados sem que o sistema real seja perturbado;
- Hipóteses sobre como ou por que certos fenômenos acontecem podem ser testadas para confirmação;
- O tempo pode ser controlado, comprimido ou expandido, permitindo reproduzir os fenômenos de maneira lenta ou acelerada, para que se possa melhor estudá-los;
- É possível compreender melhor quais variáveis são as mais importantes em relação ao desempenho e como as mesmas interagem entre si e com os outros elementos do sistema;
- A identificação de “gargalos”, preocupação maior no gerenciamento operacional de inúmeros sistemas, tais como fluxos de materiais, de informações e de produtos, pode ser obtida de forma facilitada, principalmente com a ajuda visual;
- Um estudo de simulação costuma mostrar como realmente um sistema opera, em oposição à maneira com que todos pensam que ele opera;
- Novas situações sobre as quais se tenha pouco conhecimento e experiência podem ser tratadas de tal forma que se possa ter, teoricamente, alguma

preparação diante de futuros eventos. A simulação é uma ferramenta especial para explorar questões do tipo: “O que aconteceria se?”. Devido a grande quantidade de vantagens a simulação é uma das técnicas quantitativas mais empregadas, mesmo assim o processo de simulação apresenta algumas desvantagens.

b) Desvantagens:

- A construção de modelos requer treinamento especial;
- Os resultados da simulação são, muitas vezes, de difícil interpretação. Uma vez que os modelos tentam capturar a variabilidade do sistema, é comum que existam dificuldades em determinar quando uma observação realizada durante uma execução se deve a alguma relação significativa no sistema ou a processos aleatórios construídos e embutidos no modelo;
- A modelagem e a experimentação associadas a modelos de simulação consomem muitos recursos, principalmente, tempo;
- A simulação não fornece resultado ótimo para o problema, ela só testa as alternativas dadas pelo usuário;
- Devido à natureza estocástica, os modelos de simulação devem ser reproduzidos várias vezes antes que se possa prever o desempenho do sistema;
- A simulação é muito dependente da validade do modelo desenvolvido.

2.5.8 - Método Monte Carlo

É um método numérico que permite resolver problemas matemáticos mediante simulação de variáveis aleatórias.

A dificuldade de expressão de sistemas reais em modelos teóricos e da alta complexidade existente entre as interações das variáveis sejam elas determinísticas ou probabilísticas tornou a simulação o único método para solução de problemas complexos. A simulação, principalmente de sistemas discretos, utiliza uma técnica chamada de Método de Monte Carlo, que capacita à modelagem de um sistema real dentro de um modelo teórico.

De acordo PRADO (2009), o Método de Monte Carlo é uma maneira de transformar um conjunto de números aleatórios em outro conjunto de números (variáveis aleatórias), com a mesma distribuição da variável considerada. De NAYLOR

(1971 *apud* GAVIRA, 2003), entende-se que o Método de Monte Carlo é aplicado em dois tipos gerais de problemas:

- Problemas que envolvem distribuições de probabilidade conhecidas ou empíricas;
- Problemas que devido a sua complexidade, mesmo sendo determinísticos, não podem ser resolvidos por métodos conhecidos.

Segundo FREITAS FILHO (2008), o Método de Monte Carlo foi criado a partir da revisão de uma técnica matemática, por cientistas em um trabalho secreto no projeto de desenvolvimento da bomba atômica em Los Alamos – (ESTADOS UNIDOS DA AMERICA – EUA), durante a Segunda Guerra Mundial. Em seguida, em 1949 foi divulgado um artigo científico chamado “*The Monte Carlo Method*”. A aplicação da técnica consistia basicamente na geração de dados aleatórios através de um algoritmo gerador e uma distribuição de frequências da variável de interesse. A aplicação do Método de Monte Carlo começou a ser difundida com o advento da computação e consecutivamente o barateamento dos computadores e o desenvolvimento de linguagens de computação voltadas para a simulação, facilitando a utilização do método. (FREITAS FILHO, 2008).

2.5.9 - Modelagem e simulação utilizando o Software Arena

O software arena é a ferramenta para simulação de eventos discretos mais utilizadas no mundo. Com um ambiente gráfico integrado, o software possui recursos para análise estatística, modelagem de processos, animação e análise de resultados. É uma poderosa ferramenta para análise de cenários e realizar simulações dos seus processos. A medida que aumenta a complexidade, a aleatoriedade passa a ser um componente essencial para entender o desempenho do sistema. Todo o processo de criação do modelo é feito através de blocos e caixas. Isso é feita de maneira intuitiva, pois representa o fluxo de informações e processos em análise.

Segundo PRADO (2003), o ARENA é um sistema de simulação para eventos discretos, que analisa os processos existentes em um sistema. O ARENA utiliza uma interface gráfica para usuário denominada *Graphical User Interface* (GUI), que otimiza o acesso do usuário à ferramenta.

Esse *software* foi desenvolvido pela empresa *Systems Modeling*, no ano de 1993, como sucessor do SIMAN (primeiro *software* de simulação para computador) e

CINEMA, os quais foram desenvolvidos em 1982 e 1984, respectivamente. Em 1984, o SIMAN recebeu um complemento chamado CINEMA (primeiro *software* de animação para computador), sendo posteriormente melhorado e, a partir de 1993, os dois programas foram unificados e aperfeiçoados em um único *software*, o ARENA. Em 1998, a empresa Rockwell *Software* incorporou a *Systems Modeling*.

O funcionamento do ARENA se dá com um conjunto de blocos (ou módulos) que são utilizados para descrever uma aplicação real. Esses funcionam como códigos de programação descrevendo as relações das variáveis do processo e suas interações. Além de permitir a construção de modelos de simulação, o *software* em questão possui ferramentas de análise de dados de entrada (*Input Analyser*) e análise de resultados (*Output Analyser*), que serão responsáveis pela representação das distribuições de probabilidade que alimentaram o modelo, como também a análise estatística dos resultados gerados.

2.5.9.1 - Ferramenta input analyser do ARENA ®

Para a utilização das amostragens extraídas no processo, o ARENA não avalia cada número individualmente e sim trabalha com curvas estatísticas, podendo deste modo chegar mais perto ao comportamento real do sistema. Assim, de acordo com FREITAS FILHO (2008), a ferramenta computacional *Input Analyser* tem o propósito de auxiliar no tratamento dos dados amostrais brutos, buscando avaliar as melhores opções para as distribuições de probabilidades que serão empregadas. O principal propósito do Input Analyzer é a identificação da distribuição teórica de probabilidades por meio de testes de aderência, realizando um tratamento na coleta de dados do sistema real. É importante ressaltar que isso é realizado através de testes de aderência.

Ainda segundo FREITAS FILHO (2008) depois de coletadas as amostras do sistema real deve-se inseri-los no *Input Analyzere*, de acordo com a distribuição dada, realizam-se testes de aderência Chi-Quadrado e *Kolmogorov-Smirnof* (K-S) para validar esses dados como representativos do sistema real. Nos testes de aderência admite-se por hipótese, que a distribuição da variável de interesse na população seja descrita por um determinado modelo de distribuição de probabilidades e se testa o modelo, ou seja, verifica-se a boa ou má aproximação dos dados da amostra ao modelo.

2.5.9.2 - Etapas da modelagem e simulação

Uma sequência de etapas pré-estabelecidas, devem ser seguidas para a realização da simulação, que segundo FREITAS FILHO (2008) podem ser descritas como:

- Formulação e análise do problema

Nessa etapa os propósitos e objetivos do estudo devem ser claramente definidos, esclarecendo os motivos que levaram o estudo do problema em questão, quais as respostas que o estudo espera alcançar, qual o critério de avaliação do sistema, que para fins desse projeto será o índice de eficiência e finalmente quais as restrições e limites são esperados das soluções obtidas.

- Planejamento do projeto

É etapa que se dedica a verificar os recursos necessários para a realização do trabalho, incluindo o cronograma das atividades que serão desenvolvidos e indicando seus custos.

- Formulação do modelo conceitual

Deve-se traçar um esboço do sistema, descrevendo as variáveis e as interações lógicas que constituem o sistema. O modelo deve iniciar de forma simplificada e ter sua complexidade aumentada aos poucos.

- Coleta de macro informações e dados

Macro informações são fatos, informações e estatísticas que conduzirão os futuros esforços de coleta de dados para alimentar os parâmetros do sistema modelado.

- Tradução do modelo

Codificar o modelo numa linguagem de simulação apropriada.

- Verificação e validação

Consiste em verificar e confirmar se o modelo opera de acordo com a intenção do analista, sem erros de sintaxe ou lógica. Baseia-se principalmente em saber se o sistema simulado é representativo com o modelo real.

- Projeto experimental final

Projetar um conjunto de experimentos que produza a informação desejada, determinando como cada um dos testes deva ser realizado.

- Experimentação

Nessa etapa devem-se executar as simulações para a geração dos dados desejados e para a realização das análises de sensibilidade.

- Interpretação e análise estatística dos resultados
Realizar análises sobre os resultados alcançados pela simulação. Efetuar estimativas para as medidas de desempenho nos cenários planejados.
- Comparação de sistemas e identificação das melhores soluções
Comparar um sistema existente ou considerado padrão, com propostas alternativas, a fim de identificar a melhor.
- Documentação
A documentação deve ser realizada para que futuras modificações no modelo sejam feitas, principalmente se a medida de desempenho do sistema mudar ou se novas análises do sistema sejam necessárias.
- Apresentação dos resultados e implementação
A apresentação dos resultados deve ser realizada por toda a equipe participante, refletindo dessa forma os esforços coletivos e individuais realizados.

2.5.9.3 - Vantagens do software ARENA®

Segundo a PARAGON (2015), empresa responsável pela distribuição e comercialização do *software* ARENA no Brasil, as principais vantagens do mesmo são:

- Melhorar a visibilidade de um sistema ou da mudança de um processo;
- Explorar oportunidades para novos procedimentos e métodos sem precisar parar a operação atual;
- Diagnosticar e resolver problemas;
- Reduzir ou eliminar gargalos;
- Reduzir custos operacionais;
- Melhorar previsão financeira;
- Reduzir tempos de entrega;
- Administrar melhores níveis de inventário, equipamentos, maquinário, etc;
- Aumentar lucro através de operações melhoradas.

Sua atuação no mercado é bastante vasta. Sendo utilizado em multinacionais no ramo da mineração, portuária, alimentos, farmacêutica e logística.

A modelagem e simulação computacional foram utilizadas nesse estudo, para realizar melhorias e otimizar o sistema produtivo de blocos cerâmicos.

CAPÍTULO 3

METODOLOGIA DE PESQUISA

Segundo VILAÇA (2010), a análise de metodologias permite a identificação da abordagem da pesquisa, a escolha dos instrumentos de coleta de dados e o planejamento dos procedimentos de tratamento e análise. Sendo assim é necessária a classificação da pesquisa para melhor desenvolvimento da mesma.

3.1 - CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Levando em consideração que a pesquisa pode ser classificada quanto à natureza, objetivos e procedimentos técnicos, o presente trabalho possui a seguinte classificação.

Com relação à natureza, a pesquisa pode ser básica ou aplicada. Deste modo o presente trabalho tem natureza aplicada. Pois objetiva gerar conhecimentos para aplicações práticas e dirigidas à solução de problemas específicos. Envolve verdades e interesses locais.

Quanto aos objetivos, a pesquisa tem caráter descritivo exploratório. Segundo SILVA e MENEZES (2001) a pesquisa descritiva visa descrever as características de determinada população, fenômeno ou o estabelecimento de relações entre variáveis. Envolve o uso de técnicas padronizadas de coleta de dados. A pesquisa também possui caráter exploratório, pois visa proporcionar maior familiaridade com o problema, com vista a torná-lo explícito ou a construir hipóteses. Envolve levantamento bibliográfico; entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema pesquisado; análise de exemplos que estimulem a compreensão.

Quanto aos procedimentos técnicos, a pesquisa tem caráter de estudo de caso, pois será realizado um estudo prático em uma Indústria do setor ceramista localizada no Estado do Maranhão. De acordo com SILVA e MENEZES (2001), estudo de caso é caracterizado da seguinte forma, quando envolve o estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos de maneira que se permita o seu amplo e detalhado conhecimento.

Para GIL (2008), "método científico é o conjunto de procedimentos intelectuais e técnicos adotados para se atingir o conhecimento. Eles são classificados em Dedutivo, Indutivo, Dialético, Hipotético – Dedutivo e Fenomenológico."

O método científico abordado para esta pesquisa foi o dedutivo, pois é um método que através da aplicação de ferramentas da área de engenharia da produção e operações e estudo de movimentos e tempos, princípios estes conhecidos como verdadeiros (premissa maior), irão servir para a análise e estudo de caso de um problema mais restrito, particular (premissa menor) e gerar uma conclusão diante disto. Segundo GIL (2008), este método é proposto pelos racionalistas (Descartes, Spinoza, Leibniz), segundo os quais só a razão é capaz de levar ao conhecimento verdadeiro, que decorre de princípios a priori evidentes e irrecusáveis.

3.2 - LOCAL DE ESTUDO

O estudo de caso foi realizado em uma indústria do setor ceramista vermelha, localizado na cidade de São Luís do Maranhão.

3.3 - COLETA DE DADOS

A coleta de dados terá como objetivo o embasamento qualitativo e quantitativo da problemática, apresentando o estado atual das situações e servindo de comparativo para as soluções levantadas.

Os preceitos de amostragem estatística serão utilizados para a obtenção de dados que representem de um modo real a situação que está sendo coletada.

Os instrumentos de coleta de dados utilizados para o estudo de caso do presente trabalho serão: câmera filmadora e fotográfica (para registro e análises posteriores detalhadas), trena de bolso e trena analógica com rodas (para obtenção de distâncias e dimensões dos locais e equipamentos), cronômetro (para tomada de tempo dos processos) e folhas de controle de produção já presentes na rotina da empresa.

Entrevistas com funcionários de diferentes setores serão realizadas com o intuito de registrar situações e fatos que possam passar despercebidos aos olhos do autor (por ser um observador externo ao processo), além de levantar possíveis pontos para melhorias.

3.4 - ANÁLISE DE DADOS

A partir das informações coletadas, serão utilizadas ferramentas como mapeamentos de processos, estudo de movimentos e utilização do software ARENA® para modelagem e simulação, além de gráficos e tabelas com o objetivo de realizar uma comparação entre situação atual e depois de ser aplicado as ferramentas de análise e otimização.

3.5 - ASPECTOS ÉTICOS

O desenvolvimento deste estudo, foi autorizado pelo proprietário da Cerâmica Nova União, localizada na cidade de São Luís, assim como a utilização dos dados coletados.

3.6 - MATERIAIS

Para a realização do trabalho serão utilizados alguns materiais de apoio, softwares como Microsoft Excel para realização de planilhas e gráficos, software ARENA® para realização da modelagem e simulação, utilização de trena para medição da planta industrial, cronômetro para conferência de tempos nas atividades de produção (auxílio no estudo de tempos e movimentos, além de auxiliar na realização do mapa de processos e realização de amostragens). Utilização de roteiros de perguntas, além de máquina fotográfica para realizar a ilustração do trabalho. Será utilizado também, como já exposto acima, software de modelagem e simulação ARENA®, para melhor entendimento do processo em estudo.

3.7 - MÉTODO DE CONDUÇÃO DA PESQUISA

Para a realização da pesquisa foi utilizado o método proposto por LAW e KELTON (2000) para estudos de simulação. A Figura 3.1 descreve essas fases. Em seguida, uma explicação das etapas descritas.

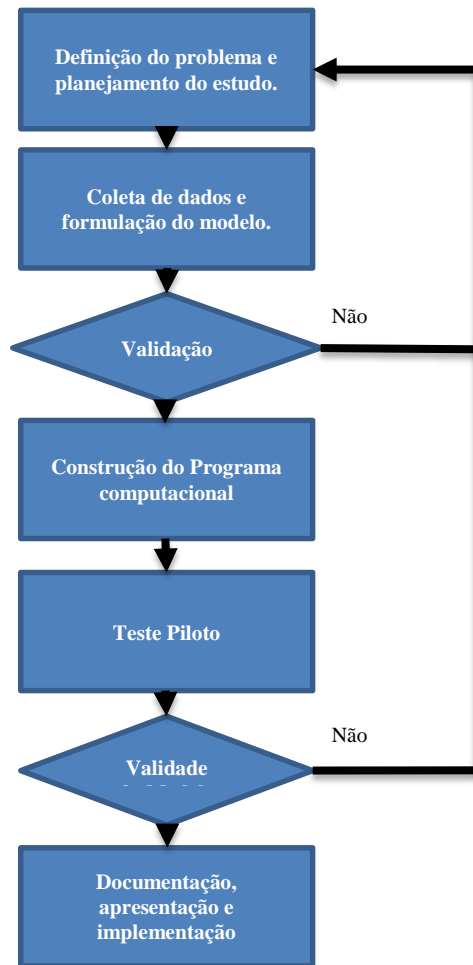


Figura 3.1 - Fases de um estudo de simulação.
Fonte: Adaptado de LAW e KELTON (2000).

A explicação de cada etapa será feita no estudo de caso, realizando uma interface, facilitando o entendimento do que foi feito com as etapas de simulação pré-estabelecidas.

CAPÍTULO 4

ESTUDO DE CASO

Neste capítulo é apresentado um breve histórico sobre a empresa em estudo, seu processo de produção (modelo conceitual) e o uso do método de mapeamento de processos e modelagem bem como a ferramenta de simulação.

Será apresentado, com base na metodologia descrita nos capítulos anteriores, o desenvolvimento dos passos que constituíram o estudo da simulação em questão, desde a modelagem conceitual, passando pela identificação das variáveis necessárias para alimentar o sistema, a coleta e análise de dados, encontrando a distribuição de probabilidade mais adequada para cada conjunto de dados de cada variável e a validação do modelo por meio da comparação dos resultados alcançados pela simulação com os dados amostrais do sistema real.

4.1 - CONSTRUÇÃO DO MODELO

Por meio da observação do sistema em estudo, iniciou-se o mapeamento do processo e a construção do modelo conceitual, que foi representado por um fluxograma do sistema produtivo junto com a descrição detalhada de cada atividade.

Esse modelo busca facilitar o entendimento das etapas do processo produtivo da empresa. Em seguida, a partir da coleta e análise dos dados, foi feito a modelagem e simulação do processo.

4.2 - A EMPRESA

4.2.1 - Características gerais

O estudo de caso foi realizado na indústria Nova União, localizado na cidade de São Luís do Maranhão, mais especificamente no bairro Quebra Pote.

Fundada desde 2011 na cidade de São Luís, a empresa busca por crescimento e aumento produtivo para atender a demanda da capital. Atualmente fornece produtos somente para a capital maranhense.

O atual proprietário da cerâmica em estudo possui outras unidades atuando no estado do Ceará, mas que não entraram em análise neste trabalho. Já possuindo assim certa experiência no ramo.

Em relação aos produtos, a empresa atualmente fabrica dois tipos de tijolos, de 6 (seis) furos e com 8 (oito) furos. A empresa dispõe de 1 (um) caminhão, 1 (um) trator agrícola de pequeno porte, 1 (uma) pá-carregadeira, além de 21 funcionários, estando escalonados na seguinte forma: 1 (um) motorista da pá-carregadeira, 1(um) motorista do trator agrícola 1 (um) gerente de produção , 1 (um) gerente financeiro, 1(um) diretor presidente, 1 (um) funcionário responsável pelo caixão dosador, 1 (um) operador no laminador, 1 (um) responsável pela máquina extrusora, 2 (dois) no processo de corte, 1 (um) processo de refugo, 3(três) para empilhar os tijolos para secagem, 3 (três) forneiros, 2 (dois) responsáveis pela desenforma e estocagem dos tijolos, 1 (um) soldador, 1 (um) funcionário responsável por serviços gerais. Exemplificado na Figura 4.1 abaixo.

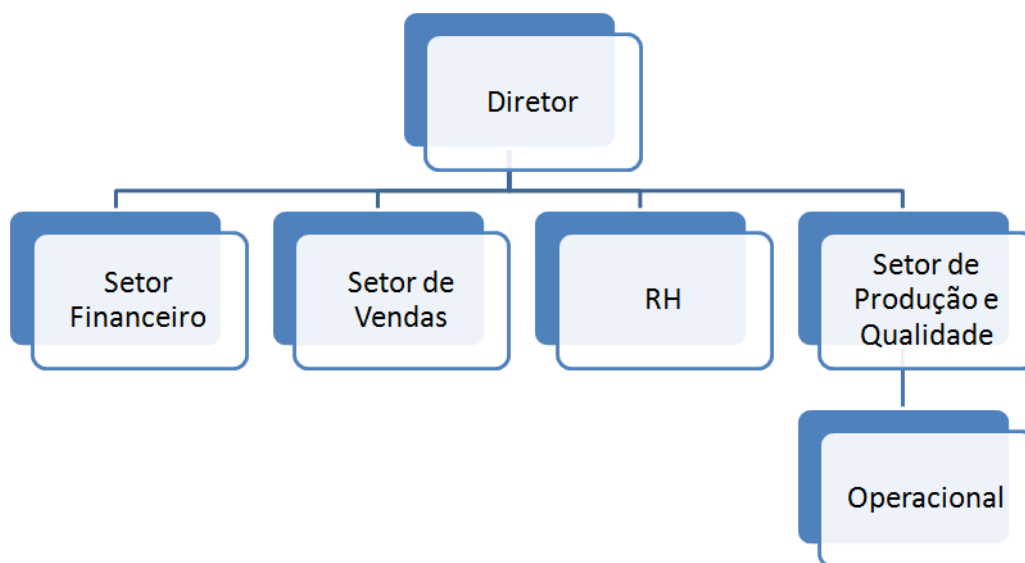


Figura 4.1 - Organograma da Empresa.

A seguir tem-se a Figura 4.2, ilustrando os produtos produzidos, que são tijolos de 6 furos e 8 furos.

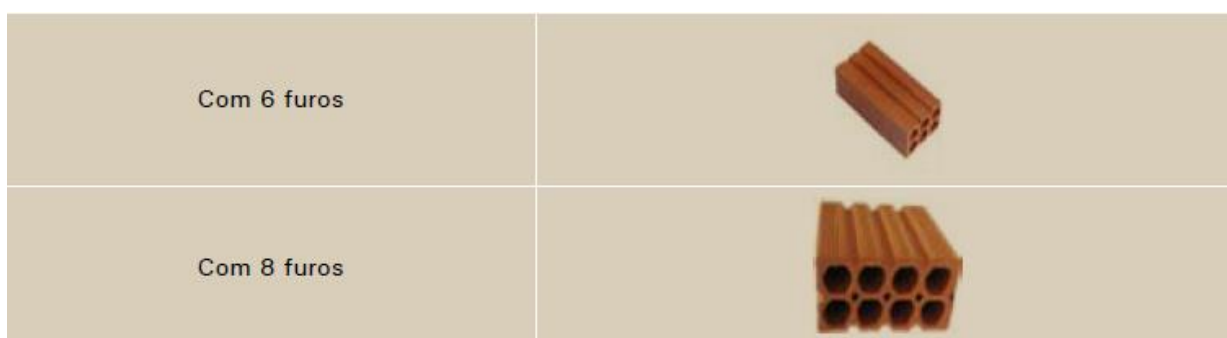


Figura 4.2 - Blocos cerâmicos fabricados.
Fonte: SEBRAE (2008).

4.3 - MODELO CONCEITUAL (SISTEMA PRODUTIVO)

O desenvolvimento do modelo conceitual deu-se a partir da observação direta do processo produtivo. O processo de produção de cerâmica vermelha é padronizado em todas as indústrias, alterando-se somente a tecnologia utilizada. Segundo a ABC (2002), a produção de tijolos cerâmicos está previamente estabelecida pelas seguintes etapas 1) conformação; 2) corte; 3) secagem; 5) queima; 6) estoque; 7) expedição.

A seguir mostra-se um fluxograma e o layout respectivamente que indicam o modelo conceitual e as etapas do processo produtivo da cerâmica em estudo conforme apresentado nas Figuras 4.3 e 4.4.

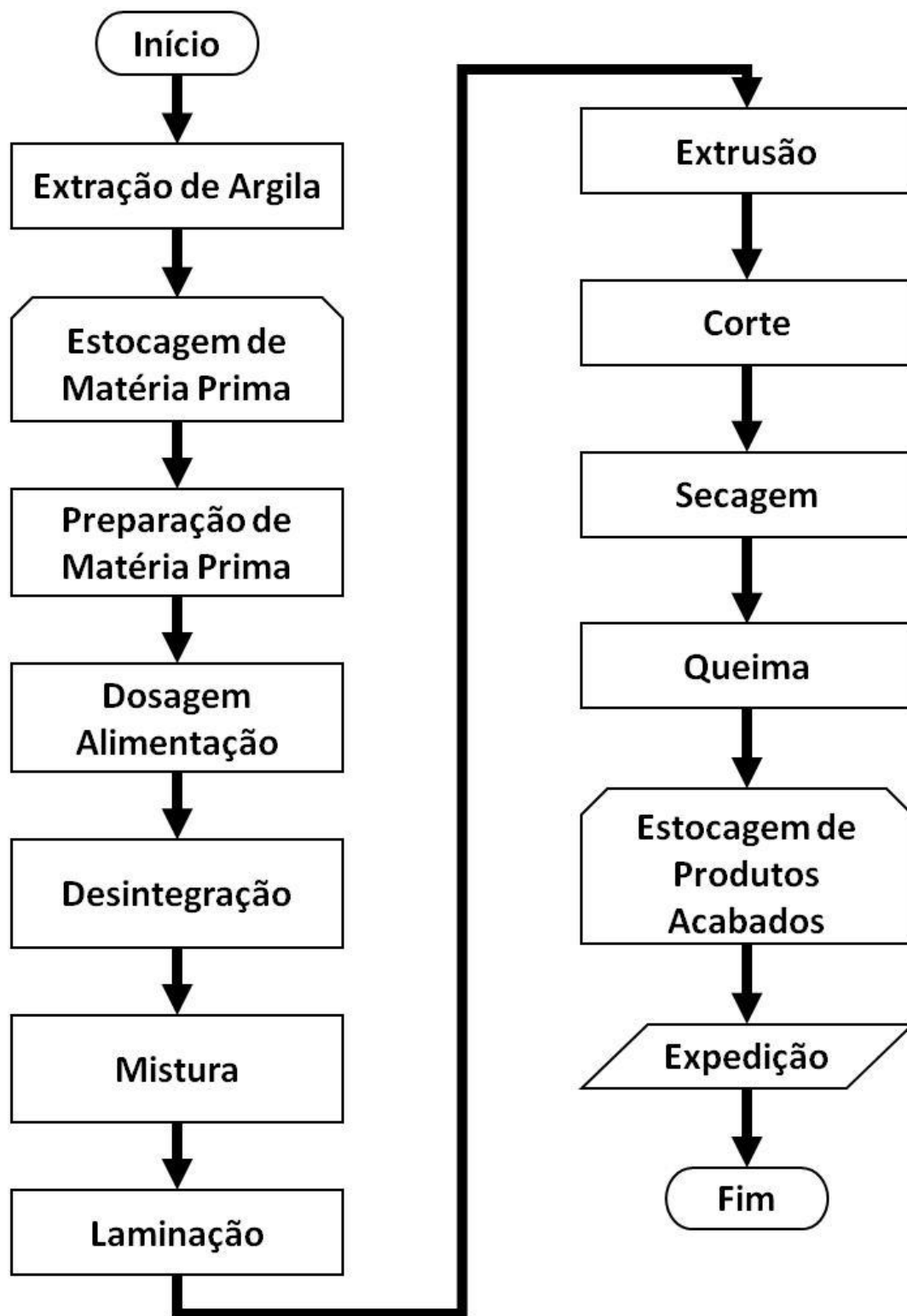


Figura 4.3 - Fluxograma do sistema produtivo.

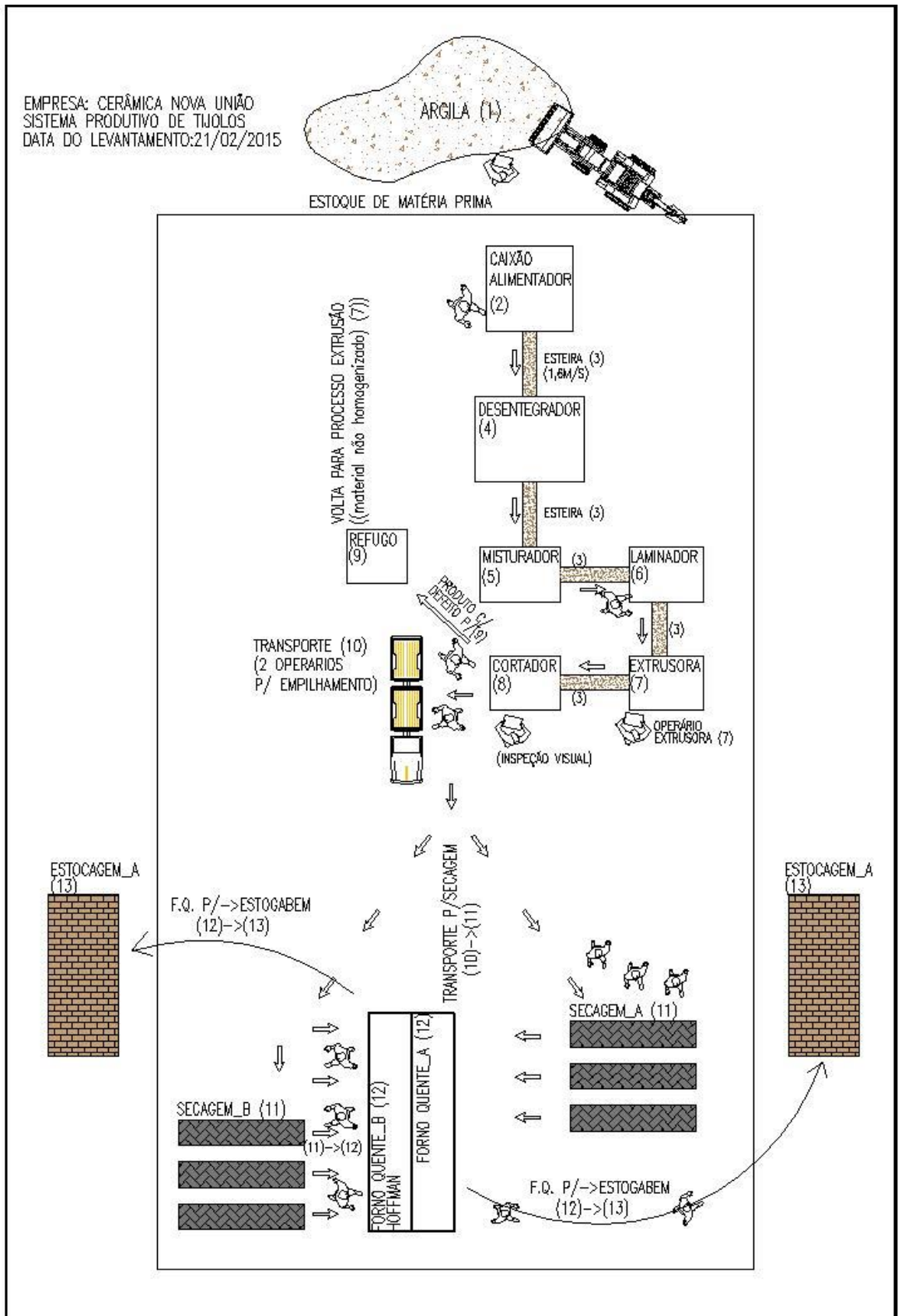


Figura 4.4 - Layout do chão de fábrica do sistema produtivo.

A seguir, detalha-se cada etapa do processo produtivo de cerâmica vermelha da empresa:

A. Extração da Matéria-Prima

O processo tem seu princípio na extração da matéria prima realizada nas jazidas (local que possui grande concentração de argila) por meio de máquinas do tipo retroescavadeira e transportada para a planta por caminhões. A jazida localiza-se ao lado da empresa. A Figura 4.5 a seguir mostra a jazida de extração da matéria prima utilizada.



Figura 4.5 - Extração da argila na jazida.

Um fator relevante na escolha da argila ideal é a localização dessa matéria prima. Para uma cerâmica se instalar em um determinado lugar deve-se levar em consideração dois fatores principais: a proximidade das jazidas e dos mercados consumidores (SEBRAE, 2008).

B. Estoque da Matéria-Prima

O passo seguinte do processo de extração da matéria prima é o estoque da mesma, a argila é estocada onde ficam esperando para serem inseridos no dosador de acordo com a necessidade produtiva. Como representado na Figura 4.6.



Figura 4.6 - Estoque matéria prima.

As argilas *in natura* podem apresentar diferentes teores de umidade, sendo classificadas em *Secas* (umidade relativa de até 6 por cento), *semi secas* (7 por cento a 10 por cento), *Semi úmidas* (11 por cento a 18 por cento) e *úmidas* (maior que 18 por cento) (SEBRAE, 2008). No entanto, para massas de composições diferentes e mesmo teor de umidade, não se pode esperar comportamentos semelhantes, sendo indicada a realização de ensaios laboratoriais de caracterização. Ainda devem ser levadas em consideração as variáveis intrínsecas, tais como área de procedência (jazida), clima da região e métodos de trabalho aplicados no processo produtivo.

Na indústria cerâmica em estudo, não são feitos nenhum teste laboratorial específico de qualidade e caracterização da matéria prima, o teor de umidade da argila é realizado manualmente e visualmente.

Durante o processo de formulação da massa que será utilizada para produção de peças de cerâmica vermelha, busca-se plasticidade para propiciar trabalhabilidade e fusibilidade na queima objetivando proporcionar resistência mecânica nos produtos. A preparação da massa é feita, geralmente, por meio da mistura de uma argila gorda (de alta plasticidade, granulometria fina e composição essencialmente de argilo minerais) com uma argila magra (rica em quartzo e menos plástica, podendo ser caracterizada

também como um material redutor de plasticidade) (ESCRITÓRIO TÉCNICO DE ESTUDOS ECONÔMICOS DO NORDESTE, 2010).

Após a mistura das matérias-primas, o material é colocado no caixão-alimentador, sendo explicado a seguir.

C. Etapas de Conformação

Nestas etapas a argila estocada irá passar por processos de transformação em seu material, o material passa por sub-etapas para ganhar forma. Para dar início ao processo, faz-se a retirada do material estocado onde é levado para o caixão-alimentador através de um trator pá-carregadeira conforme apresentado na Figura 4.7.

– Caixão - Dosador:

São caixões na qual é colocada a matéria-prima para ser selecionada de acordo com o ritmo de produção. Ocorre a separação da quantidade necessária a produção, que em seguida é levada para desintegradores. O caixão-alimentador da unidade cerâmica em estudo, tem a capacidade total de 8,75 m³, demorando em média 1 hora para esvaziar por completo.

Para encher totalmente, se utiliza a pá-carregadeira, necessitando de cinco carradas. Em um dia normal de produção, para atender o ritmo, faz-se necessário em média a utilização de 25 carradas para atender a demanda do caixão-alimentador.



Figura 4.7 - Transporte da matéria prima até caixão-dosador.

O transporte da matéria prima é feito como mostrado na foto anterior pela pá-carregadeira, que retira o material da matéria prima estocada. Abaixo tem a foto do Caixão-dosador utilizado na fábrica em estudo conforme apresentado na Figura 4.8.



Figura 4.8 - Caixão dosador.

O transporte da matéria prima na etapa de conformação é feito através de correias transportadoras, o primeiro processo após o caixão-alimentador é conhecido como desintegrador e será explicado a seguir.

– Desintegrador:

A argila chega ao desintegrador através de uma correia transportadora como ilustrado na Figura 4.9 a seguir.

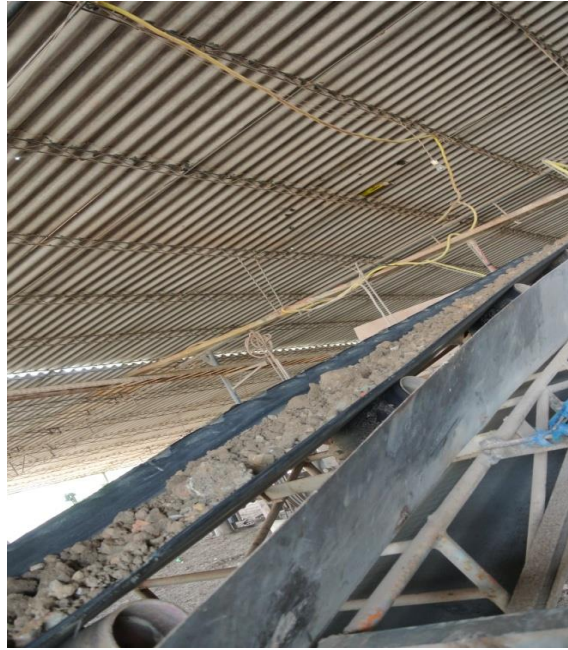


Figura 4.9 - Esteira transportadora dosador para desintegrador.

No desintegrador, os torrões de matéria-prima são quebrados em pedaços menores, por meio de movimentos circulares do equipamento, permitindo a homogeneização da matéria-prima.

Nessa fase a umidade deverá variar entre 16 por cento e 25 por cento, para evitar perda de eficiência, não desintegrando os blocos de argila adequadamente (SEBRAE, 2008). A Figura 4.10, mostra o desintegrador utilizado.



Figura 4.10 - Desintegrador utilizado.

Com relação a especificação técnica do desintegrador utilizado, possui a capacidade de produzir de 5 a 12 toneladas por hora. (Produção - Ton/h max) e tem um peso de 1100Kg. Após o processo de desintegração a argila é encaminhada por outra correia transportadora para o misturador. Este processo será melhor explicado a seguir.

– Misturador:

No misturador a matéria-prima é homogeneizada por meio da adição de água a fim de obter maior uniformização e plasticidade necessária. Conforme ilustrado na Figura 4.11.



Figura 4.11 – Misturador.

O misturador é movimentado por um sistema de motor redutor, que tem a função de diminuir a rotação de saída do eixo que irá homogeneizar a massa. Em seguida esta mistura homogeneizada cai diretamente no laminador que fica interligado a este processo.

– Laminação:

No laminador, dois cilindros compactam e transformam a matéria-prima em “laminas” de argila, esse processo diminui os espaços vazios entre as partículas da argila e melhora a qualidade do produto conforme mostra a Figura 4.12.



Figura 4.12 – Laminadores.

Nessa etapa, busca-se eliminar as bolhas de ar contidas na massa, contribuindo para maior adensamento da argila. A Figura 4.13 mostra como a argila fica ao sair deste processo.



Figura 4.13 - Argila laminada.

Observa-se que, a argila ao sair do processo de laminação adquire outra forma, mais compacta, como identificado na figura acima. Nesta etapa do processo tem-se um operador que dita o ritmo de produção, desde entrada da matéria-prima nos caixões dosadores até o processo de corte, um operador fica responsável por controlar o ritmo da produção. Esse ritmo varia de acordo com a matéria-prima utilizada, número de funcionários realizando o transporte para secagem entre outros fatores. Após esse processo a argila laminada vai para a extrusora (maromba).

– Máquina Extrusora:

A massa é impulsionada por meio de parafusos sem fim para uma câmara de alta pressão, a vácuo, passando através de uma matriz (boquilha), conformando-a no formato do produto que deseja fabricar. A matriz é trocada de acordo com o produto que se deseja fabricar.

A função da extrusora de acordo com o trabalho realizado pelo SEBRAE (2008), tem função de compactar uma massa plástica, numa câmara de alta pressão, a vácuo, contra uma forma (molde) no formato do produto desejado.

Em suma, a extrusora através da utilização de vácuo aumenta drasticamente a temperatura do processo fazendo com que a argila em trabalho seja compactada, onde em seguida passa por umas formas chamadas de matriz, dando formato ao produto. No caso em estudo, blocos cerâmicos vermelhos de 6 e 8 furos. A Figura 4.14 a seguir ilustra esse processo.



Figura 4.14 - Máquina extrusora.

Nesta etapa o processo passa a ser discreto, ou seja, é possível verificar a formação dos blocos cerâmicos. Na próxima etapa são realizados os cortes dos blocos cerâmicos.

– Etapa de Corte:

No processo de corte conforme Figura 4.15, a barra de material extrudado é cortada nas dimensões padronizadas para o tijolo maciço.



Figura 4.15 - Máquina de corte.

Seis cabos de aço finos cortam os tijolos na dimensão desejada, nesta etapa o estudo de tempos e movimentos foi utilizado para verificar o tempo médio de corte, possibilitando assim a obtenção do ritmo de processo. Será mostrado mais a frente. É importante ressaltar que após a etapa de corte alguns tijolos com má conformidade são colocados para refugo. Sendo um funcionário responsável por tirar os tijolos não conformes da linha de processo e colocá-los para refugo como ilustrado na Figura 4.16 a seguir.



Figura 4.16 – Refugo.

Os tijolos não conformes são colocados pelo funcionário neste ponto, assim uma pá - carregadeira vai até o local e retira os mesmos, que realizaram retrabalho.

Após o corte, o tijolo está úmido, sendo assim está longe da sua resistência ideal, necessita-se passar por um processo de secagem. Para ir aos galpões de secagem após a etapa de corte, os tijolos são empilhados por dois operários em dois carrinhos com capacidade de 230 tijolos cada e levados com auxílio de um trator agrícola para o local a serem secados. O transporte até o local de secagem como já citado é feito por um trator agrícola, que trabalha com um ritmo de dois carrinhos por viagem. Como verificado na Figura 4.17 a seguir.



Figura 4.17 - Empilhamento dos tijolos nos carrinhos e transporte por trator agrícola.

– Secagem:

Durante a secagem as peças reduzem de 20 a 30% de teor de umidade para 5%; a secagem pode ser natural (exposição das peças ao ar livre) ou forçada (secadores intermitentes ou contínuos) (SEBRAE 2008).

Na presente indústria a etapa de secagem é feita de forma natural. O tempo deste processo, ou seja, tempo de secagem necessário para reduzir a umidade dos tijolos a um nível ideal, leva 36 horas. As Figuras 4.18 e 4.19 a seguir mostram o local de secagem dos tijolos.



Figura 4.18 - Tijolos no processo de secagem.



Figura 4.19 - Galpão de secagem.

– Queima:

Peças secas são submetidas aos fornos para adquirirem as características e propriedades desejadas, que podem ocorrer nos seguintes tipos de fornos – de chama direta, tipo caipira, garrafão e caieira; de chama reversível tipo abóboda, Catarina, Corujinha e Paulista; contínuos do tipo Hoffman; do tipo túnel, e do tipo plataforma (intermitentes), tipo vagão ou gaveta (todos os tipos podem queimar lenha, bagaço de

cana, óleo combustível etc.) (SEBRAE, 2008). O forno utilizado no processo é do tipo Hoffman, contínuo. O processo de queima dos tijolos cerâmicos dura cerca de 36 horas, a seguir mostra-se o forno utilizado no processo em estudo conforme Figura 4.20 e o processo de empilhamento dos tijolos para queima conforme Figura 4.21.



Figura 4.20 - Forno tipo Hoffman utilizado.



Figura 4.21 - Processo de empilhamento dos tijolos para queima.

– Estocagem:

Após a queima, os tijolos maciços são armazenados nos galpões da empresa para posteriormente serem expedidos, a desenforma é feita por meio de dois operários conforme Figura 4.22 que utilizam carrinhos de mão com a capacidade de 110 tijolos.

Geralmente os compradores buscam os tijolos na empresa, mas agora ela já conta com um caminhão para entregas na cidade de São Luís - Maranhão.



Figura 4.22 - Operário empilhando os tijolos nos galpões de estocagem.



Figura 4.23 - Local de estocagem dos tijolos de cerâmica vermelha.

4.4 - AMOSTRAGEM, ANÁLISE E TRATAMENTOS

Para a criação de um modelo computacional de um sistema real é necessário que o comportamento do mesmo possa ser recriado através de interações e fórmulas matemáticas, sendo fundamental que seja possível o sistema computacional apresentar comportamento estocástico em semelhança aos sistemas reais. FREITAS FILHO (2008) comenta que em modelos de simulação o objetivo é alcançado pela utilização de distribuições de probabilidades como forma de representar a multiplicidade de ocorrências de eventos aleatórios. Para a perfeita representação do comportamento aleatório de uma variável do sistema com uma dada distribuição de probabilidade é recomendado uma metodologia por PEGDEN (1991 *apud* FREITAS FILHO, 2008).

- Amostragem e Coleta de dados;
- Tratamento dos dados;
- Identificação da distribuição de probabilidade;
- Teste de aderência.

4.4.1 - Amostragem e coleta de dados

Segundo FREITAS FILHO (2008), todo o processo de identificação da distribuição de probabilidade mais adequada a expressar o comportamento da variável aleatória começa, obrigatoriamente, com a coleta de dados. Para que sejam coletados os dados de forma eficiente é necessário o dimensionamento da amostra ideal para a representação do modelo. FONSECA e MARTINS (2009) determinam um procedimento para o dimensionamento da amostra. Primeiramente é necessário escolher qual é a variável importante para a representação do sistema real, após a definição é recomendado verificar o nível de mensuração da variável (nominal, ordinal ou intervalar), por último é necessário considerar se o tamanho da população é infinito ou finito. Sendo que o estudo de simulação normalmente possui suas variáveis intervalares e com populações infinitas, conforme observado por FONSECA MARTINS (2009), a equação que determina o tamanho da amostra é apresentado na Eq. (4.1) a seguir.

$$n = \left(\frac{Z * \sigma}{d} \right)^2 \quad (4.1)$$

Sendo:

n= tamanho da amostra;

z=valor da normal;

σ²=desvio padrão amostral;

E0=erro amostra tolerável arbitrado associado à média.

4.4.2 - Tratamento dos dados

É a etapa que tem como propósito tornar acessível e compreensível toda informação contida nos dados coletados objetivando a identificação de distribuição de probabilidade a ser empregada no modelo de simulação e a estimação dos parâmetros.

De acordo com FREITAS FILHO (2008), o processo de tratamento de dados inicia pelo desenvolvimento da distribuição de frequência dos dados seguida da elaboração de uma representação gráfica da tabela, ou seja, a elaboração de um histograma. Com os dados coletados, é necessário para a elaboração do histograma ser definido o número de classes, sendo este importante para a caracterização para distribuição de probabilidade. O autor citado acima afirma que é usado um mínimo de cinco classes e um máximo de vinte classes, dependendo da quantidade de dados e dos objetivos.

Para amostras pequenas é utilizado o número de classe igual a 5, são consideradas amostras pequenas as que possuem menos de 25 elementos. Para amostras maiores de 25 elementos é utilizado a Regra de Sturges que define o número de classes (K), conforme FREITAS FILHO (2008), apresentada na Eq. (4.2) a seguir.

$$K=1+3,22\text{Log } n^\circ \text{ de Elementos} \quad (4.2)$$

4.4.3 - Identificação das distribuições de probabilidade

Conforme FREITAS FILHO (2008), o comportamento estocástico de certa variável é melhor representado a partir de uma distribuição teórica de probabilidades. A seguir serão apresentadas as principais distribuições de probabilidade utilizadas no presente estudo. Essa distribuição foi elaborada a partir do *software Input Analyzer*, sendo que os dados coletados foram inseridos no *software* em questão e através da análise do teste de aderência K-S foi encontrada a distribuição que melhor representa cada ponto analisado no processo de fabricação. A seguir as principais curvas estatísticas utilizadas e geradas pelo programa;

- Distribuição Normal;
- Distribuição Uniforme;
- Distribuição Triangular;
- Distribuição Exponencial;
- Distribuição Lognormal;
- Distribuição Erlang;
- Distribuição Gama;
- Distribuição Beta;
- Distribuição Weibull;
- Distribuição de Poisson

4.4.4 - Testes de aderência

O teste de aderência tem objetivo de verificar se os dados de uma amostra aderem a uma determinada distribuição teórica. Na literatura existem diversos testes e cada apresenta características particulares. O teste apresentado será o K-S sendo ele o teste utilizado. O Teste K-S foi escolhido devido ao mesmo possuir aplicações para dados contínuos e para todos os tamanhos de amostras.

Segundo FREITAS FILHO (2008), os testes estatísticos podem ser paramétricos e não paramétricos. Nos testes paramétricos normalmente é suposto que os dados seguem a distribuição normal. Já os testes não paramétricos são utilizados quando as suposições para aplicação dos testes paramétricos não são satisfeitas.

4.4.5 - Teste Kolmogorov-Smirnov (K-S)

Segundo FREITAS FILHO (2008), o teste K-S baseia-se na comparação de probabilidades acumuladas das duas distribuições (observada e teórica), elaborando uma tabela que possui a diferença entre as distribuições e correspondendo o ser valor ao do maior desvio. Assim através do *software Input Analyser*, foi possível analisar qual distribuição seria adequado para determinado conjunto de dados, utilizando o parâmetro *p value*, onde a literatura indica que valores menores do que 0,05 são aconselháveis não confiar no resultado do ajuste realizado.

Já para valores para *p* maiores do que 0,05, pode-se afirmar que a distribuição teórica obtida é candidata, o presente trabalho levou em consideração isso para a aderência e validação das amostras.

De acordo com o que foi exposto acima, para melhor entendimento, será explicado mais detalhadamente a seguir.

4.4.6 - Amostragens

Para cada etapa do processo foi coletado amostras de tempos, de acordo com o método exposto anteriormente, a Tabela 4.1 a seguir foi coletada no processo de empilhamento dos pallets, cada um com a capacidade máxima de 230 tijolos. É importante ressaltar que o trator agrícola leva sempre dois pallets por vez, assim sendo, o tempo de cada amostra leva em consideração o carregamento total dos dois. A seguir tem-se a tabela de amostragens coletada no processo de empilhamento dos pallets após a etapa de corte.

Vale ressaltar que as amostragens foram coletadas em dias e horários diferentes, para uma melhor validação dos resultados. A partir desses dados coletados, foi calculada a média dos tempos e o desvio padrão para que então fosse utilizada para a mensuração do tamanho ideal da amostra de acordo com o erro amostral e o nível de confiança citado anteriormente.

Tabela 4.1 - Amostra tempo de empilhamento pallets após etapa de corte.

Amostragens SERVIÇO					
Tempo de empilhamento no <i>pallet</i> (2pallets) (minutos)					
Tempos	5,59	4,57	6,11	6,32	5,49
	7,5	7,12	5,44	6,26	6,17
	4,42	4,56	6,13	5,06	6,23
	5,06	4,25	6,4	5,35	5,47
	4,38	6,19	6,9	5,42	5,32
	5,19	5,3	5,42	5,24	6,49
	9,08	7,53	6,9	6,32	5,08
	10,02	4,03	5,57	5,14	8,29
	4,48	6,1	6,12	5,29	8,09
	8,45	5,23	6,08	7,43	7,3

Para este processo foi utilizado um total de 51 amostras de tempos tendo como resultado no cálculo do tamanho de amostras a Tabela 4.2 a seguir.

Tabela 4.2 - Valores referentes ao processo tempo de empilhamento de pallets.

Erro amostral associado à média	Tamanho da amostra
E (3% da média) = 0,18	188
E (5% da média) = 0,30	68
E (10% da média) = 0,61	17

A média dessa amostra é de 6,07 e, por extensão, o desvio padrão adquiriu o valor de 1,27. Desde modo para o cálculo do tamanho de amostras foi levado em consideração um grau de confiança de 90%. Representado na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Tamanho da amostra.

Medidas de dispersão	Valor da Normal para confiança de 95%
Média = 6,07	1,96
Desvio padrão = 1,27	

Para todas as amostras deste trabalho foram levados em consideração um grau de confiança de 90 %, o que é bastante utilizado e empregado nos estudos de modelagem e simulação. Para o cálculo do número de amostras de cada um dos processos foi realizado o mesmo cálculo e como explicado anteriormente com erro

amostral admissível, foi considerado 0,05 p mostrando eficiente para análise dos dados conforme Figura 4.24.

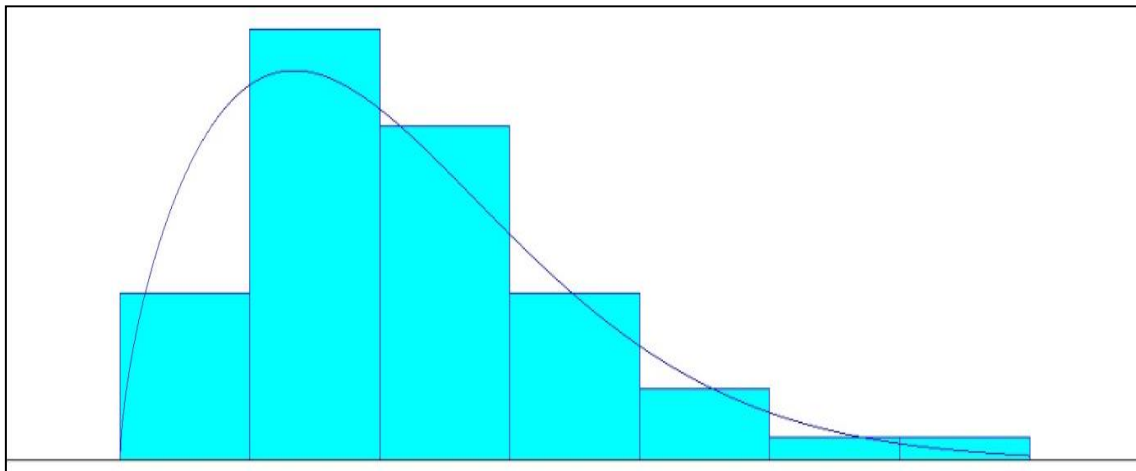


Figura 4.24 - Distribuição do tempo médio do processo de empilhamento dos tijolos no pallet após etapa de corte.

A Figura 4.24 acima é resultado dos testes de aderência dos dados coletados para cálculo da variável de tempo de empilhamento do pallet após a etapa de corte. Neste processo específico a curva estatística que melhor se adequou aos dados coletados foi a **Weibull** gerando a expressão $4 + WEIB(2.27, 1.63)$. Tempo este para empilhar dois pallets cada um com a capacidade máxima individual de 230 tijolos.

Distribution Summary	
Distribution:	weibull
Expression:	4 + WEIB(2.27, 1.63)
Square Error:	0.009092
Chi Square Test	
Number of intervals	= 4
Degrees of freedom	= 1
Test Statistic	= 1.96
Corresponding p-value	= 0.18
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	= 0.114
Corresponding p-value	> 0.15
Data Summary	
Number of Data Points	= 51
Min Data Value	= 4.03
Max Data Value	= 10
Sample Mean	= 6.04
Sample Std Dev	= 1.27
Histogram Summary	
Histogram Range	= 4 to 10.6
Number of Intervals	= 7

Figura 4.25 - Teste de aderência da variável de tempo para empilhamento de pallet após etapa de corte.

A Figura 4.25 anterior, exemplifica o resultado do teste de aderência da coleta de dados, é importante ressaltar que anteriormente foi detalhado um processo, empilhamento de pallets, entretanto o mesmo procedimento foi realizado para cada etapa de processo analisado. O testes de aderência apontaram para amostras confiáveis, tendo em vista que o valor do *p-value* foi maior que 0,05. Logo abaixo, tem-se uma tabela com as distribuições estatísticas geradas para cada processo em estudo, obtidos por meio da coleta de dados e testes de aderência utilizando o *Input Analyzer* do ARENA®.

Tabela 4.4 - Distribuições estatísticas geradas referentes a cada processo.

Amostragens	
PROCESSO	DISTRIBUIÇÕES ESTATÍSTICAS
Etapa de corte	NORM (5.33, 0.336)
Empilhamento no pallet após etapa de corte	4+ WEIB (2.27, 1.63)
Tempo de descarregamento para secagem	NORM (3.54, 0.46)
Tempo de colocar no carrinho para forno	TRIA (0.4, 1.17, 1.6)
Tempo de tirar do carrinho para forno	1+ LOGN(0.471, 0.32)
Tempo de retirada dos fornos para carrinhos	NORM(2.78 , 0.578)
Tempo de retirada dos tijolos dos carrinhos para estocagem	2+ 1.32*BETA(0.58 , 0.727)

4.5 - APLICAÇÃO DO MAPEMANETO DE PROCESSOS

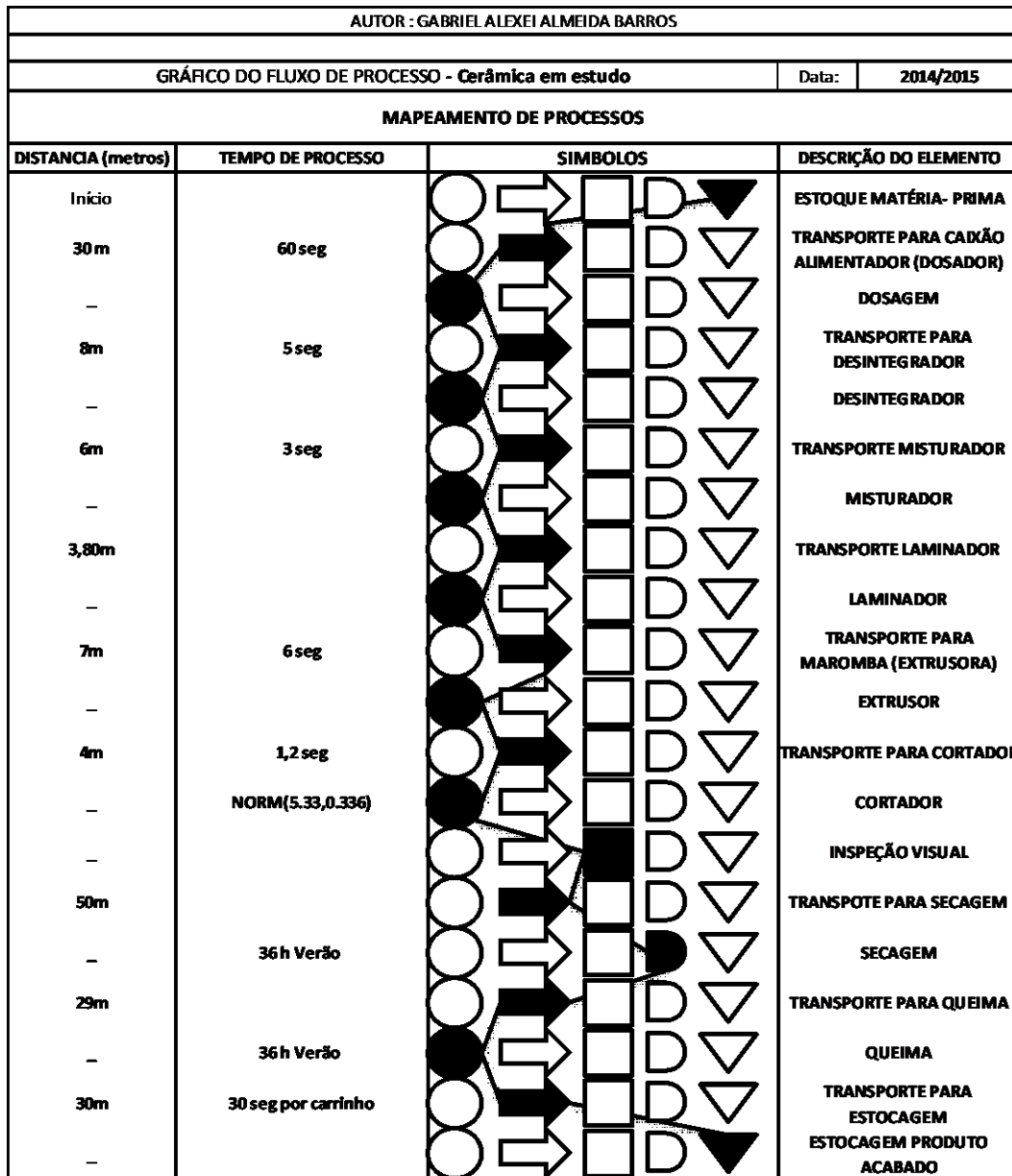


Figura 4.26 - Mapa de processo realizado.

O mapa de processo anterior conforme Figura 4.26, aplicado no presente trabalho, serve para analisar cada etapa do processo de forma mais detalhada e entendelas melhor. Além disso, são coletadas as distâncias entre as etapas e os tempos de execução das mesmas.

O mapa de processos, representará as diversas atividades que ocorrem durante a produção dos tijolos maciços. O diagrama tem início com a entrada de matéria-prima na fábrica e se segue em cada um dos seus passos, tais como transportes e armazenamentos, inspeções, esperas e operações, até que ela se torne um de 6 ou 8 furos pronto para expedição.

Estes dados (distâncias), juntamente com as amostragens (tempos) do processo, serviram para dar entrada e validação no processo de simulação, transformando o mesmo em um modelo estatístico de análise.

Tabela 4.5 - Distancias entre as etapas de fabricação.

DISTÂNCIAS E ETAPAS DO PROCESSO PRODUTIVO		
Local 1 (Origem)	Local 2 (Destino)	Distância em metros (m)
ESTOQUE DA MATÉRIA PRIMA	CAIXÃO ALIMENTADOR	30m
CAIXÃO ALIMENTADOR	DESENTEGRADOR	8m
DESENTEGRADOR	MISTURADOR	6m
MISTURADOR	LAMINADOR	3,80m
LAMINADOR	ESTEIRA	7m
EXTRUSORA (MAROMBA)	CORTADOR	4m


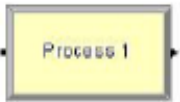


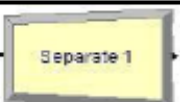



Acima a Tabela 4.5, feito para aplicação do mapeamento de processos, os valores foram aferidos com a utilização de uma trena móvel.

4.6 - MODELAGEM E SIMULAÇÃO

4.6.1 - Modelo computacional do processo

Neste tópico será apresentada a elaboração do modelo computacional do processo produtivo da indústria de cerâmica vermelha em estudo. Para melhor entendimento da interface do programa, com as atividades do processo a ser simulado, segue abaixo o a Tabela 4.6, com os ícones principais de processo do ARENA utilizados.

Tabela 4.6 - Ícones utilizados na simulação software ARENA.

Módulo	Para que serve
 Create	Ponto de chegada das entidades no modelo de simulação. As entidades são criadas usando uma programação de chegada ou baseado no intervalo de tempo entre as chegadas. Elas deixam este módulo para começar o processamento através do sistema.
 Process	Método de processamento na simulação. Possui opções de reter (<i>seize</i>) recursos e entidades durante o tempo de processamento e liberação (<i>release</i>) após este tempo; os custos associados aos recursos e entidades serão adicionados conforme apropriado.
 Decide	Processo de tomada de decisão no sistema, baseado em uma ou mais condições (exemplo, número de peças > que 50) ou em probabilidades (exemplo, 75% <i>true</i> ; 25% <i>false</i>).
 Batch	Mecanismo de agrupamento dentro do modelo de simulação. Agrupa entidades de forma permanente ou temporária (por exemplo, um motor e seu carrinho de transporte; que fica aguardando numa fila até a liberação do motor para agrupamento).
 Separate	Utilizado para separar as entidades agrupadas no módulo <i>Batch</i> (exemplo, o motor fica na estação de trabalho, liberando o carrinho para retornar à estação anterior).
 Assign	Atribui valores às variáveis, atributos das entidades, tipos de entidades, figuras das entidades ou outras variáveis do sistema.
 Record	Coleta e registra as estatísticas do modelo de simulação (por exemplo, tempo de processamento, <i>lead time</i> , custos, número de processamentos, quantidade de entidades em filas).
 Dispose	Ponto final das entidades no modelo de simulação. As estatísticas sobre as entidades poderão ser gravadas antes da entidade ser eliminada.

O processo de preparação não pode ser calculado, pois a argila passa pelos processos de desintegração, homogeneização e laminação em pequenos fragmentos, possibilitando o cálculo do processamento somente no processo de extrusão em diante na qual a massa ganha forma de bloco. Assim, para a simulação do modelo levou-se em consideração a partir da etapa de extrusão e corte, onde a matéria prima passou a ganhar forma e o sistema tornou-se discreto.

A simulação do processo será feita da etapa de corte até a estocagem final dos tijolos, com o objetivo de analisar o lead time do processo e os gargalos existentes.

A Figura 4.27 a seguir, mostra o modelo computacional desenvolvido no *software* ARENA para o processo de fabricação de tijolos.

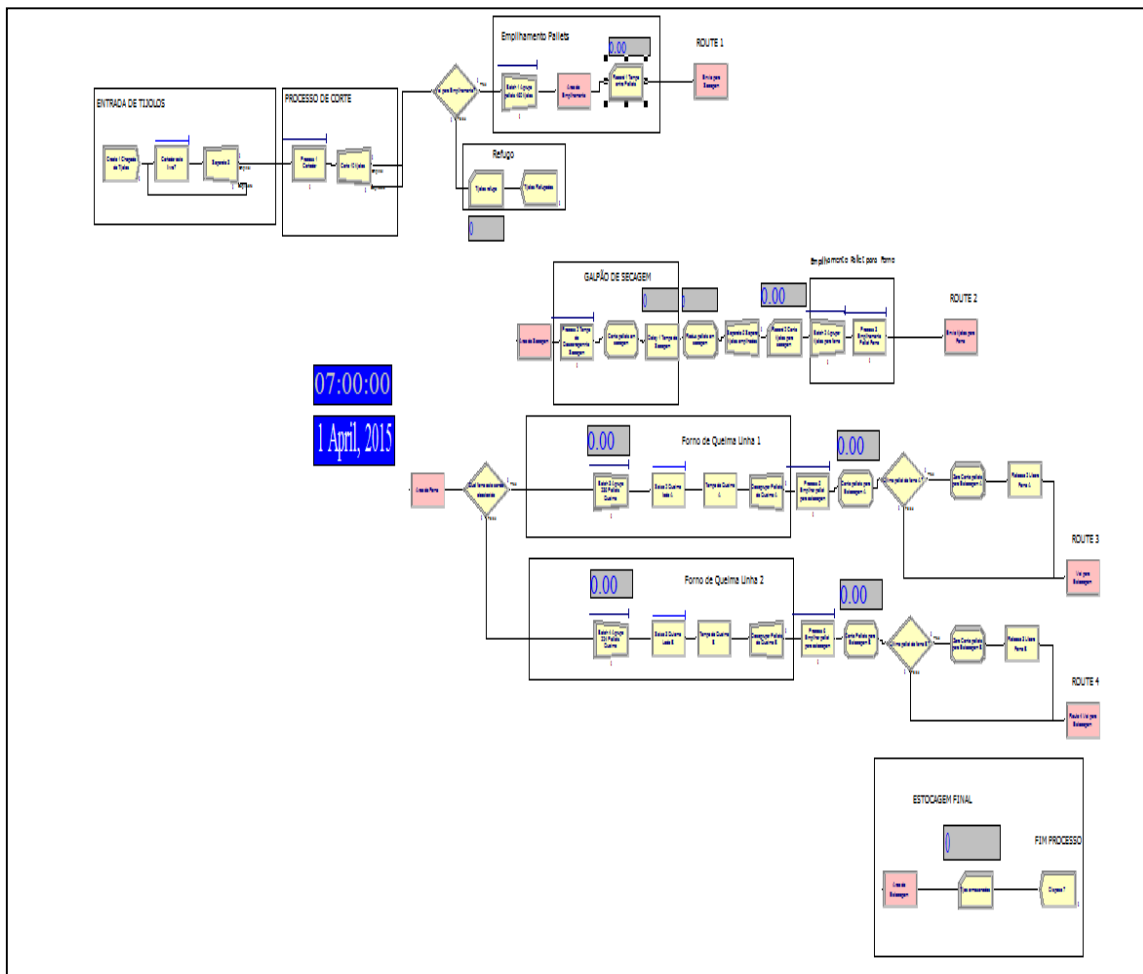


Figura 4.27 - Modelo de simulação geral do processo produtivo de tijolos desenvolvido no ARENA.

No modelo alguns blocos encontram-se interligados por meio de estações e roteadores. Os roteadores estão localizados na saída dos processos e as estações estão definidas como a entrada dos processos. O uso desse mecanismo tem como objetivo ligar cada etapa do processo, diminuindo a poluição visual devido à grande quantidade de ligações entre os blocos e facilitando o entendimento e realização da modelagem, onde através da configuração dos roteadores se possibilita a ligação lógica entre os blocos.

Deste modo as entidades que passam por um roteador (*ROUTE*) são enviadas até uma determinada estação, dando continuidade ao processo. A simulação realizada, contém quatro *routes*, como pode ser verificado na figura anterior, um exemplo, é a realização do primeiro roteador, onde os blocos cerâmicos vermelhos após o processo

de corte são empilhados nos pallets conforme Figura 4.28 e enviados para os galpões de secagem por um trator agrícola, esta etapa é simulada pelo bloco *Route 1* (Envio para Secagem).

A Figura 4.28 a seguir exemplifica a configuração de um bloco roteador.

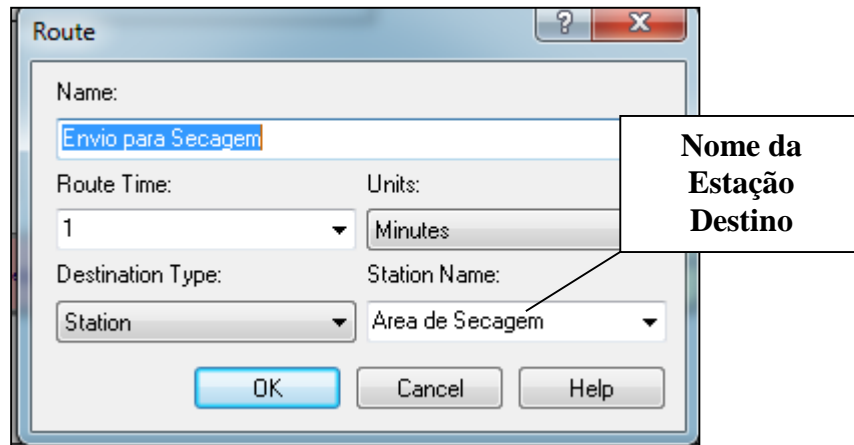


Figura 4.28 - Exemplo de configuração de um roteador (*ROUTE*).
Fonte: Software ARENA (2018).

Tabela 4.7 - Ligações lógicas do modelo de simulação do processo produtivo de tijolos.

ROUTE 1	➔	SECAGEM
ROUTE 2	➔	FORNO
ROUTE 3	➔	ESTOCAGEM
ROUTE 4	➔	ESTOCAGEM

A seguir será explicado mais detalhadamente os principais elementos simulados.

4.6.2 - Chegada de tijolos no processo

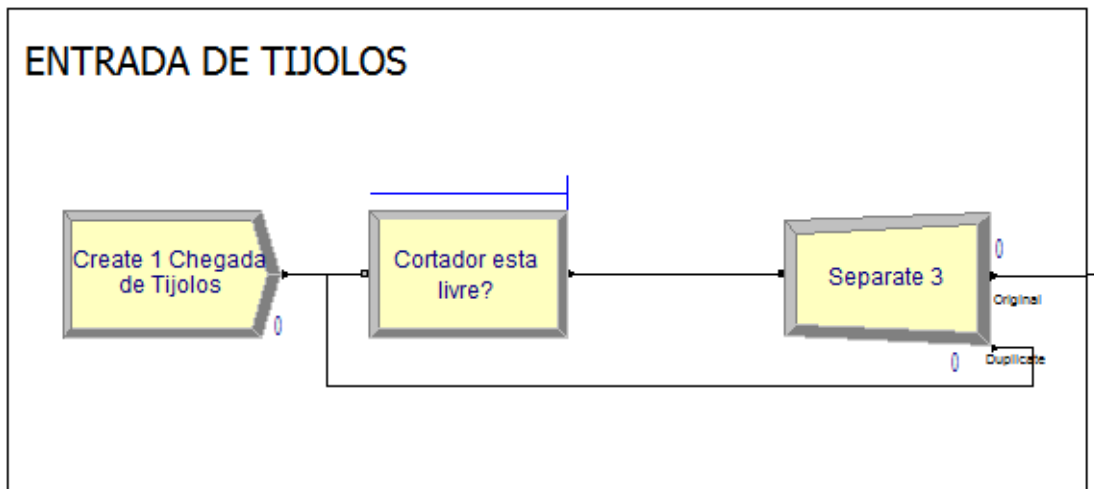


Figura 4.29 - Modelagem de chegada de tijolos no processo e registro de tempos.
Fonte: Software ARENA (2018).

No processo a ser simulado, as entidades, tijolos, chegam a modalidade de processo contínuo da máquina extrusora e são encaminhadas para o cortador para adquirir forma (tijolo), processo discreto conforme Figura 4.29. Todo esse processo de chegada de entidade (tijolos) é gerado no bloco **CREATE**, que indica o início do processo a ser simulado, o primeiro da figura anterior, que combinado com a distribuição teórica de probabilidade representa a taxa de chegada de tijolos que irão entrar no processo de corte. Vale salientar a presença de um bloco **HOLD** (Cortador está livre), que tem o objetivo de analisar a fila (*queue*) no cortador através de uma condição, controlando o fluxo das entidades que saem da extrusora.

Foram analisadas as taxas de chegada durante o horário estabelecido, que é compreendido de 07:00 horas da manhã até 16:00 horas da tarde, com intervalo de uma hora de almoço, durante um período de 3 meses.

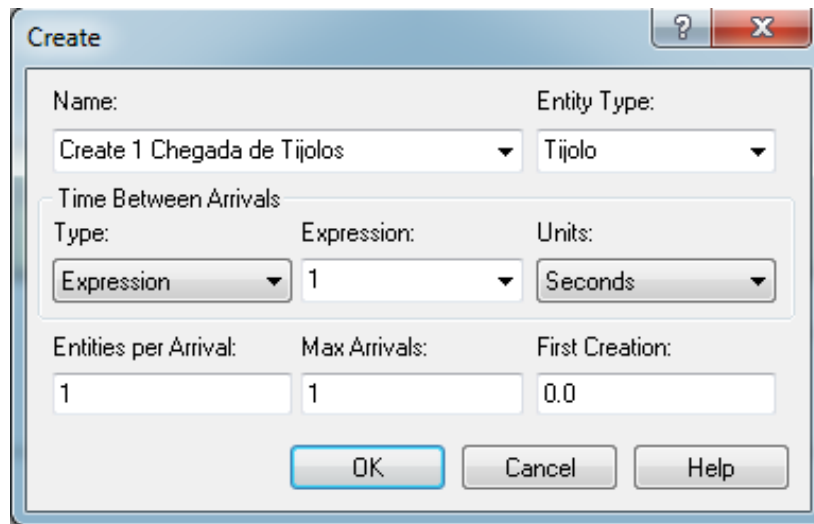


Figura 4.30 - Configuração do bloco *Create*.
Fonte: Software ARENA (2018).

Na configuração do bloco *Create* conforme Figura 4.30 é estabelecido qual será a entidade do sistema, no caso bloco cerâmicos, também é necessário a identificação teórica de probabilidade, no caso a entrada de tijolos que saem da máquina extrusora e vão para o processo de corte.

4.6.3 - Processo de corte

No processo de corte, como ilustrado e explicado no modelo conceitual na figura 19, os tijolos que saem da máquina extrusora, são cortados em lotes de 10 de acordo com a distribuição estatística NORM (5.33, 0.336).

Na realização da simulação esta etapa do processo é realizada pelo bloco chamado *process* (processo 1), que recebe as características na máquina cortador. A Figura 4.31 a seguir, exemplifica a simulação realizada nas etapas de corte e empilhamento dos tijolos.

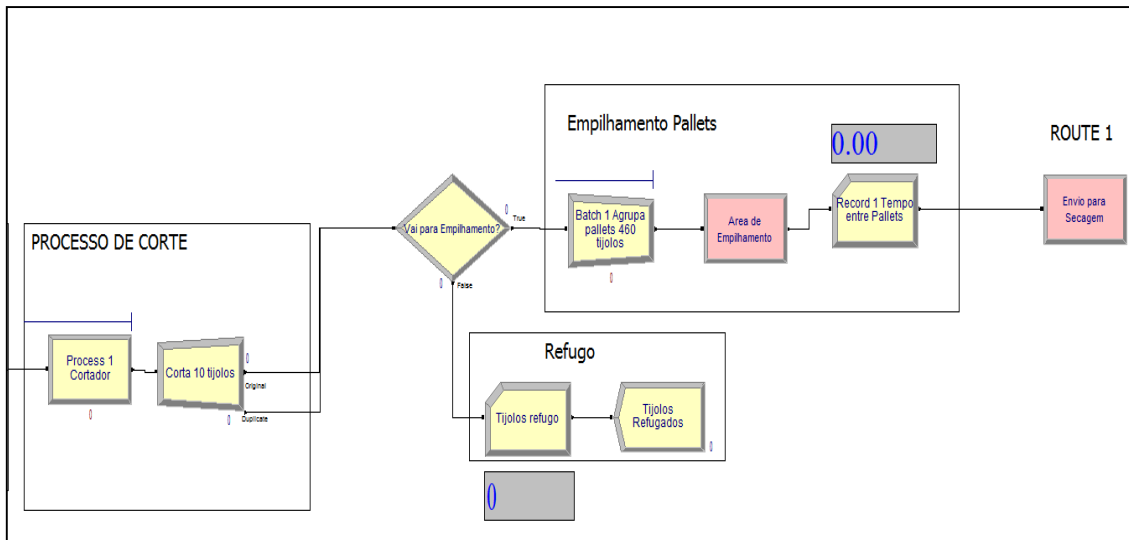


Figura 4.31 - Modelagem do processo de corte e empilhamento.
 Fonte: Software ARENA (2018).

As entidades chegam ao bloco **Process1 (cortador)** onde são processadas utilizando o tempo de processamento, através da expressão estatística encontrada para esta atividade conforme Figura 4.32.

Expressão estatística encontrada.

Figura 4.32 - Configuração do bloco *Process*.
 Fonte: Software ARENA (2018).

Na configuração deste bloco também são inseridos os recursos utilizados (*RESOURCE*), no caso, uma máquina cortadora.

4.6.4 - Processo de empilhamento e refugo

Após o processo de corte, os tijolos passam pelo bloco *DECIDE* (Decisão) que tem como propósito simular quais tijolos vão para o processo de empilhamento nos pallets e quais iram sofrer retrabalho, refugo conforme Figura 4.33. Vale ressaltar que os tijolos que sofrem refugo, são em decorrência de alguma desconformidade, assim sendo, o bloco *decide* analisa isso.

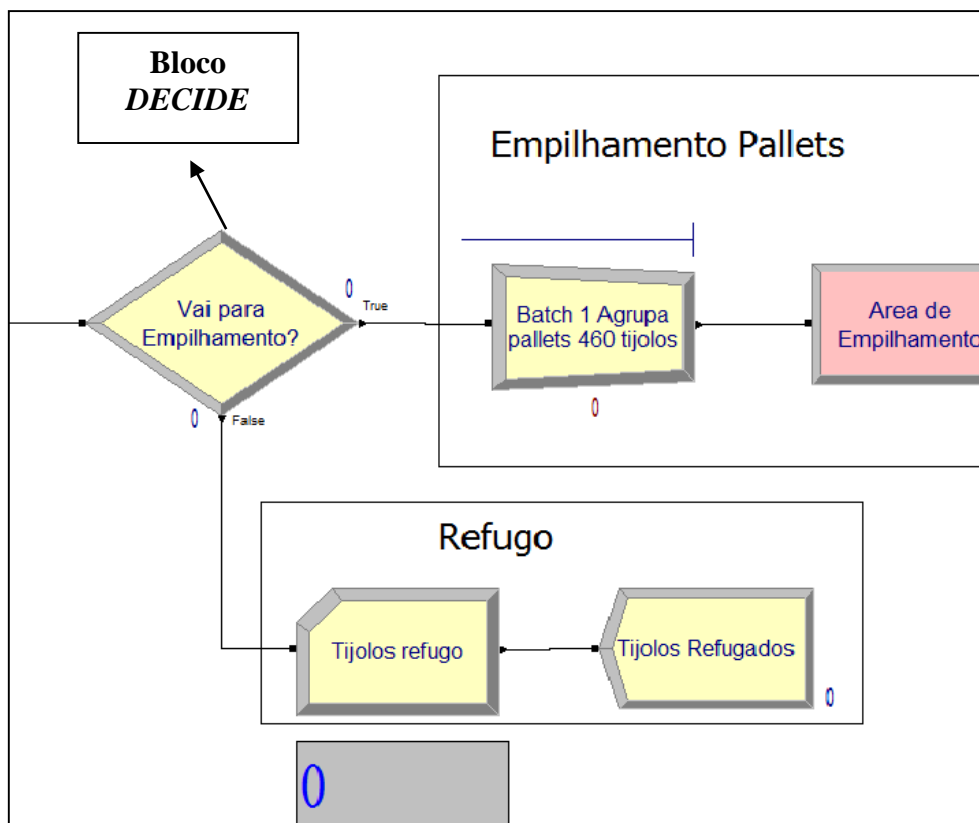


Figura 4.33 - Modelagem do processo de empilhamento e refugo.
Fonte: Software ARENA (2018).

Os blocos cerâmicos vermelhos que vão para o processo de empilhamento são enviados para os galpões de secagem através do bloco *ROUTE 1* (Secagem).

No sistema analisado, após o corte os tijolos são empilhados de dois em dois onde são retiradas pelos auxiliares. Cada auxiliar tem capacidade de retirar quatro peças por vez.

No modelo, o bloco **Decide 1** verifica se os tijolos possuem algum defeito. Caso não haja desconformidade, os tijolos são empilhados no bloco **BATCH 1** (Agrupa pallets 460 tijolos), este bloco simula os empilhamentos dos tijolos em grupos de 460 unidades, simulando o que de fato ocorre no processo em estudo. A Figura 4.34 a seguir mostra a configuração do bloco **Batch 1**.

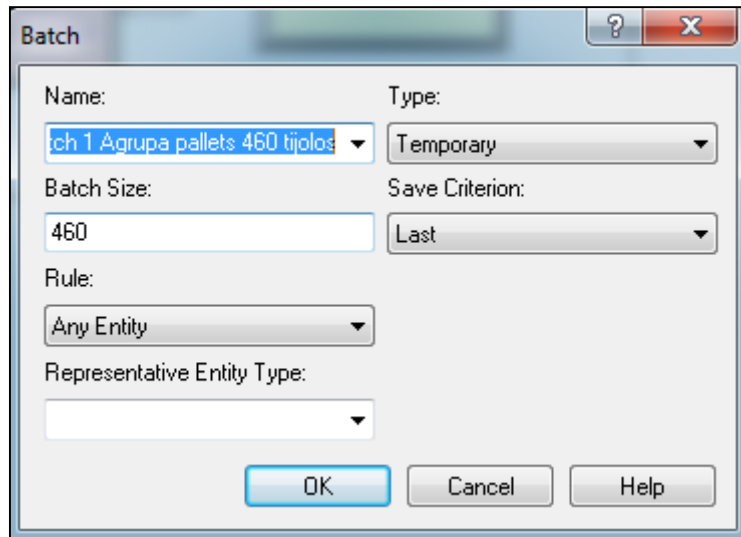


Figura 4.34 - Configuração do bloco *Batch 1*.
Fonte: Software ARENA (2018).

Na configuração, coloca-se a quantidade de itens do processo que sofrem agrupamento, como exemplo o empilhamento de 460 tijolos nos pallets, além disso especifica o tipo de agrupamento, sendo neste caso temporário, pois os mesmos serão desagrupados para o processo de secagem.

4.6.5 - Processo de secagem

Na etapa de secagem, a chegada da entidade é representada pelo bloco **STATION** (Área de Secagem) que possui a seguinte característica e configuração conforme a Figura 4.35.

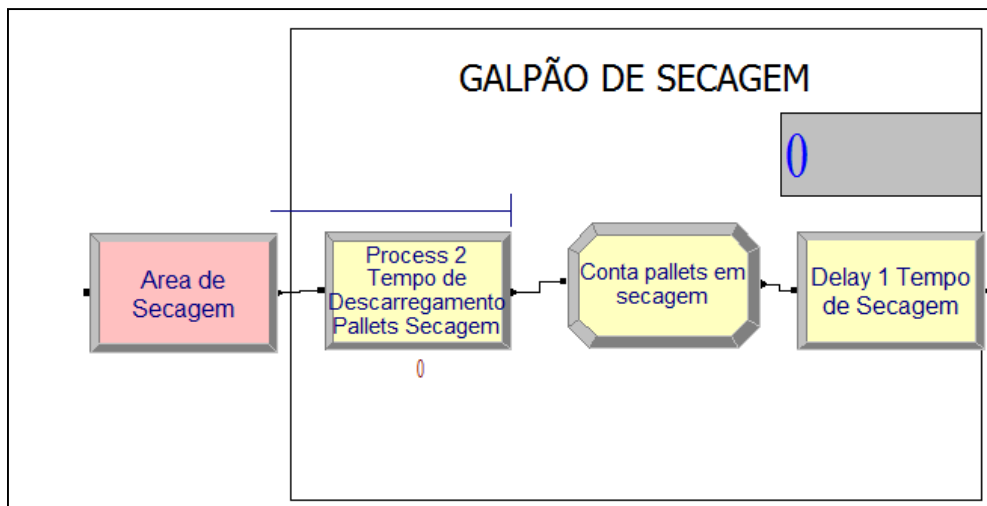


Figura 4.35 - Modelo de simulação processo de secagem.
 Fonte: Software ARENA (2018).

O processo de descarregamento dos tijolos para secagem é simulado pelo bloco **PROCESS 2** (Tempo de Descarregamento Pallets Secagem). Nesta etapa os blocos cerâmicos são desempilhados e colocados para secar por um período de 36 horas. A configuração do processo de descarregamento foi feita da seguinte forma, como mostra a Figura 4.36 a seguir.

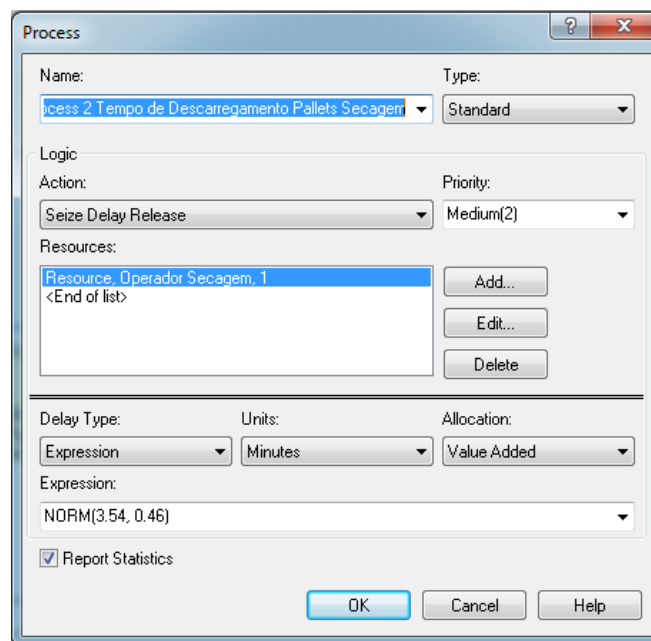


Figura 4.36 - Configuração do bloco *Process 2*.
 Fonte: Software ARENA (2018).

Na configuração, é indicado o recurso para essa atividade, que no caso é o operador de secagem. Além disso, cola-se a distribuição estatística encontrada para esse

processo. O processo de secagem é simulado pelo bloco **DELAY 1** que indica o tempo de secagem, que no caso são 36 horas, este tempo é constante e pré - estabelecido.

4.6.6 - Número de replicações

Devido ao reduzido tempo de simulação do presente modelo, foi utilizado o número máximo de replicações possíveis no *software* ARENA versão *Student*, que são 100 (cem) replicações, concluindo que a quantidade utilizada de replicações é mais que suficiente para avaliar o sistema.

4.7 - ANÁLISE DOS RESULTADOS

O modelo foi executado com a quantidade de replicações e por um período de um mês de simulação (30 dias) obtendo o seguinte resultado para o indicador principal, conforme apresentado na Figura 4.37.

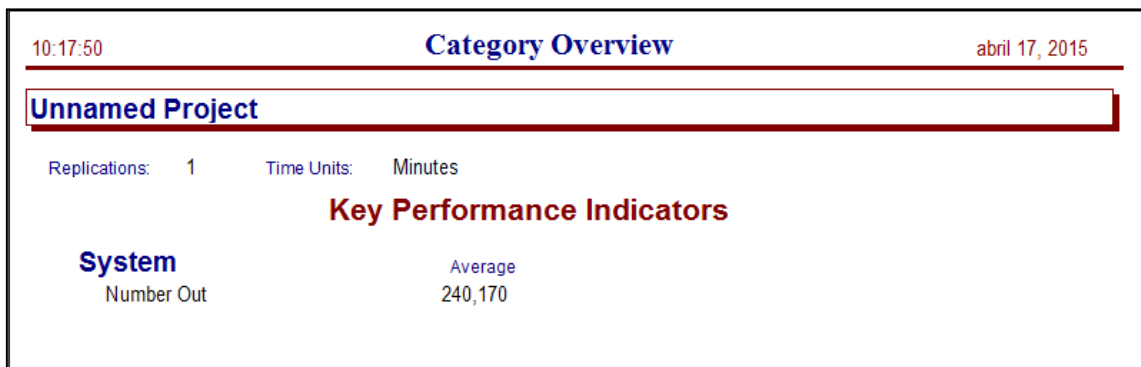
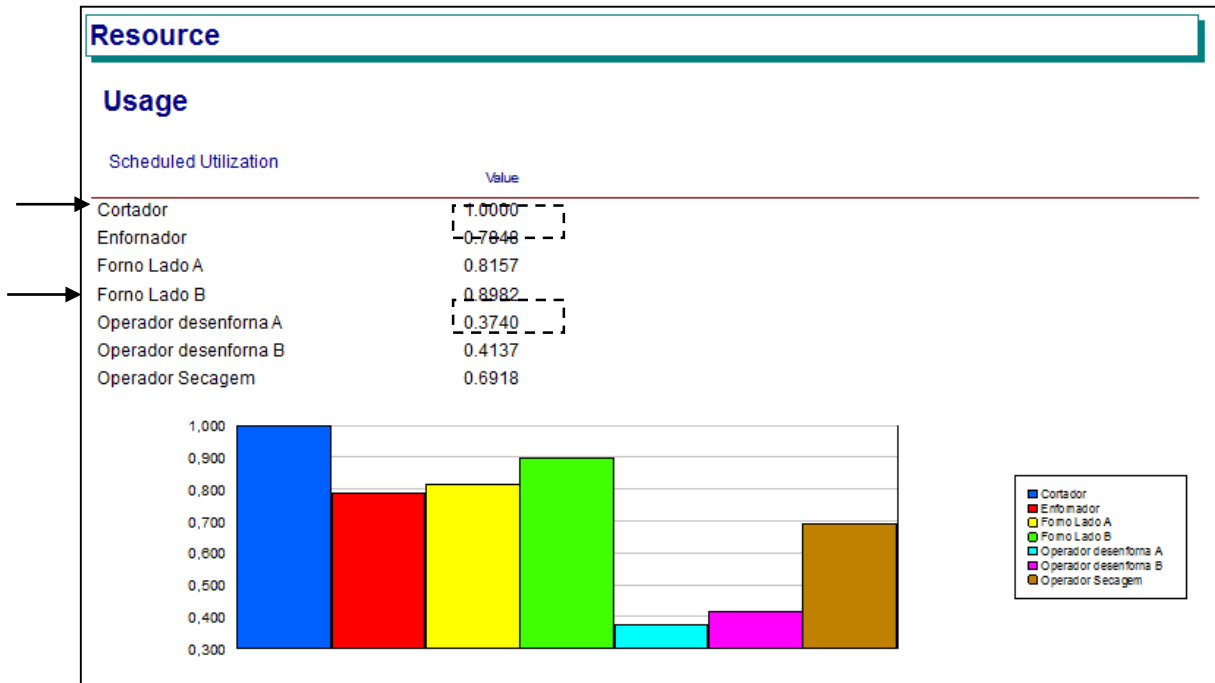


Figura 4.37 - Quantidade de tijolos fabricados no período de um mês.

A Figura 4.37 anterior, mostra que a fábrica conseguiu produzir durante um período de trinta dias (um mês) de trabalho o equivalente a 240 mil tijolos, indicado como *number out*, valor este equivalente aos relatórios reais feitos pelo setor de produção da fábrica. O *software* ARENA após a realização da simulação gera um relatório que permite de acordo com os dados da modelagem identificar o (s) gargalo(s) do processo, bem como o tempo de atravessamento e filas existentes, permitindo assim a identificação da restrição do sistema.

Conforme o resultado gerado, verificou-se que os gargalos existentes no processo produtivo são dois: **Etapa de Corte** e **Forno B**. Como apresentado na Figura 4.38 a seguir, resultado da simulação computacional.



Legenda

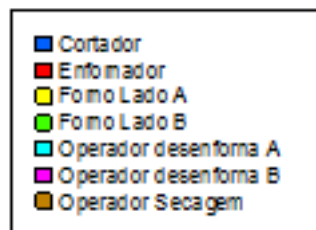


Figura 4.38 - Dados do *Output* Arena- informa a taxa de utilização dos recursos.

A Figura 4.38 anterior, mostra parte do relatório de simulação gerado pelo software ARENA que sinaliza duas restrições existentes, que são na etapa do processo corte dos tijolos e no processo de queima do forno B. Como pode-se verificar a etapa de corte está trabalhando com uma taxa de utilização de 100 % (por cento), já os demais recursos possuem uma taxa de utilização bem menor, com exceção do segundo gargalo encontrado, forno B, que possui uma taxa de utilização de 90% e, além disso, está ocasionando o maior número de filas no processo, gerando estoques intermediários.

Para realizar a correta identificação dos gargalos no sistema e interpretação do relatório gerado na simulação, deve-se levar em consideração algumas premissas.

Segundo GOLDRATT e COX (2002), um gargalo é todo recurso que restringe a capacidade do sistema, no livro *A Meta* isso pode ser exemplificado no capítulo em que o protagonista acompanha uma equipe de jovens escoteiros e faz uma analogia dessa situação com um determinado sistema produtivo. Percebe-se que na trilha existe um garoto acima do peso (processo) com eventos dependentes combinados com flutuações estatísticas próprias e capacidade inferior dos demais. Assim, por mais que os outros escoteiros (demais processos) busquem caminhar de forma rápida, quem irá ditar o ritmo da caminhada será o garoto acima do peso, gargalo encontrado, caso contrário o inventário referente ao processo irá aumentar, o ganho irá cair e a despesa operacional provavelmente subirá.

Levando o mesmo exemplo para o lado industrial, quando se tem um gargalo no sistema, as atenções devem estar voltadas em como melhorar a capacidade desta restrição, que no caso da trilha de escoteiros a solução encontrada foi colocar o garoto acima do peso na frente da fila e retirar o peso em excesso que o mesmo carregava em sua mochila. Uma hora perdida no gargalo é uma hora perdida no sistema inteiro (GUERREIRO, 1999).

Assim o primeiro gargalo identificado no processo encontra-se na etapa de corte, o mesmo para atender a demanda de produção atua com sua capacidade máxima, ditando o ritmo em todo o restante do processo, e mesmo assim os processos subsequentes possuem capacidade de atender uma demanda maior de tijolos.

Isso ocorre devido à quantidade de peças que são fabricadas com algum tipo de defeito. Observa-se também que de acordo com a análise dos dados reais e comprovada na simulação, na etapa de empilhamento dos tijolos e retirada dos tijolos da esteira, há um percentual de refugo de aproximadamente 20% (por cento) das peças. Essas perdas são causadas por pedaços de raízes, pregos e pequenas pedras que agarram na matriz da extrusora provocando defeito no tijolo na etapa de corte subsequente. A falta de qualidade no processo de preparação da matéria-prima e manutenção nas máquinas são os principais motivos das perdas. Dessa forma, para suprir as necessidades de produção este equipamento acaba trabalhando em ritmo intenso.

É importante lembrar que “utilização e ativação de um recurso não são sinônimos”, e que a gerência deve estar consciente de que o sistema só pode produzir até a capacidade do recurso restritivo, e que a utilização de capacidades superiores a este nível irá gerar estoques em processo desnecessários (caracterizando um capital investido em locais que não trarão retorno) (GUERREIRO, 1999).

A Figura 4.39 a seguir, faz parte também de uma das páginas geradas pelo relatório da simulação realizado. Gerando outro indicador que é de grande relevância para o presente estudo, quantidade de filas existentes dentro do processo, indicando os valores máximos de tijolos (*Maximum Value*), a quantidade mínima de tijolos(*Minimum Value*) e o *Average*, que é o valor médio de filas ocasionadas em cada processo, ou peças que estão em espera.

Queue				
Time				
Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Batch 1 Agrupa pallets 460 tijolos.Queue	11.5462	4,60619	0.00	3785.25
Batch 2 Agrupar tijolos para forno.Queue	2.1430	0,888328091	0.00	3785.84
Batch 3 Agrupa 236 Pallets Queima.Queue	424.70	(Correlated)	0.00	1325.42
Batch 4 Agrupa 224 Pallets Queima.Queue	643.19	195,291	0.00	4392.29
Cortador esta livre?.Queue	0.3559	0,108814767	0.00	3780.10
Process 1 Cortador.Queue	0.00	0,000000000	0.00	0.00
Process 2 Tempo de Descarregamento Pallets Secagem.Queue	3.2490	3,97437	0.00	3779.46
Process 3 Empilhamento Pallet Forno.Queue	1792.85	(Correlated)	610.42	3604.57
Process 5 Empilhar pallet para estocagem.Queue	2014.06	580,469	225.19	5168.94
Process 6 Empilhar pallet para estocagem.Queue	2168.41	(Correlated)	569.89	5094.24
Seize 2 Queima lado A.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Seize 3 Queima Lado B.Queue	14981.49	(Insufficient)	0.00	28563.95

Figura 4.39 - Relatório Gerado pelo software Arena - filas (QUEUE) existentes no processo.

Na figura 4.38, pode-se verificar que o maior causador de filas no processo é o forno lado B, gerando o equivalente médio de 14.981 (quatorze mil novecentos e oitenta e um) tijolos em estoque intermediário, esperando para serem queimados. Sendo assim o segundo gargalo encontrado. De acordo com o guru da indústria, um gargalo também pode ser conceituado como. “Um gargalo é qualquer recurso cuja capacidade é igual ou menor que a demanda de mercado imposta sobre ele” (GOLDRATT e COX, 2002, p. 152). O surgimento de grande quantidade de estoques intermediários neste processo (Forno B) caracteriza que mesmo ele atuando com uma capacidade alta de 90%, ele não está atendendo a demanda imposta sobre ele.

User Specified				
Tally				
Between	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
Record 1 Tempo entre Pallets	20.4695	6.48424	4.6420	3785.25

Figura 4.40 - Relatório gerado pelo software Arena - tempo de atravessamento médio entre Pallets.

Outro resultado de grande relevância encontrado na simulação computacional foi o tempo de atravessamento médio entre pallets conforme Figura 4.40. É possível perceber que o lead time entre pallets encontra-se como valor médio de 20 minutos (*Average*).

De posse desses resultados é possível propor melhorias, concentrando o plano de otimização nos gargalos encontrados, que como citado anteriormente são as restrições principais do processo.

4.7.1 - Propostas de melhoria

Com a elaboração do plano de otimização do processo de fabricação de blocos cerâmicos, buscou-se conceder à empresa uma ferramenta para guiar-se pelas melhores formas de otimizar a produção e investir o capital disponível nos locais certos.

A simulação atrelada a ferramentas de tempos e métodos, possibilitam a avaliação de restrições em um sistema, como pode ser comprovado no tópico anterior e ao decorrer deste trabalho. Diante das análises realizadas e levantamento dos gargalos existentes, será proposto melhorias para minimizar os problemas encontrados, focando assim os esforços nas restrições que limitam o sistema. Como forma didática, será focado os primeiros eventos de melhoria na restrição 1, processo de extrusão e corte, em seguida na segunda restrição encontrada, forno lado B. O que não significa que ambas as melhorias possam ser feitas em conjunto.

A 1ª (primeira) causa encontrada que prejudica o funcionamento da restrição, máquina de extrusão e corte, é devido a presença de materiais contaminantes, como exemplo: pregos, raízes, pedras, dentre outros objetos sendo metálicos ou não, na argila em processo.

A 2ª (segunda) causa observada, é que a quantidade de água adicionada a mistura é feita de forma aleatória e visual, acarretando na granulometria da argila, ficando quebradiça, esfarelada, aumentando os tijolos em refugo, pois além de não adquirirem consistência após a etapa de extrusão, acabam trincando na etapa de queima, impossibilitando utilização.

Como 3ª (terceira) causa, verifica-se que a inspeção visual da argila é feita após a etapa de corte, ou seja, muitas vezes a cortadora executa seu trabalho em tijolos defeituosos que irão para refugo, ocasionando tempo perdido.

Como 4ª (quarta) causa relevante, observa-se que os tijolos em refugo são colocados na extrusora novamente.

Estas causas levantadas interferem no elemento restritivo encontrado 1 (extrusora e cortadora) de forma acentuada e conseqüentemente em todo o restante da cadeia. Gerando quatro conseqüências negativas ao processo em análise, sendo verificado a seguir:

- Diminuição na confiabilidade do processo de Extrusão e Corte (gargalo 1);
- Diminuição na qualidade final do produto;
- Aumento na quantidade de refugo;
- Aumento no tempo de empilhamento dos pallets.

Levando em consideração o primeiro gargalo identificado, processo de extrusão e cortador, as causas e conseqüências anteriormente definidas, será levantado adiante as possíveis soluções, para esta restrição.

4.7.2 - Primeiro evento de melhoria

Desta forma, com o objetivo de minimizar os problemas anteriormente encontrados e conseqüentemente ajudar na performance do gargalo, uma das medidas tomadas neste primeiro evento de melhoria é a utilização de um extrator de sucata.

Posicionado a alguns centímetros acima das correias transportadoras. O extrator de sucata permite a retirada de objetos ferrosos com a utilização de um circuito magnético suspenso com imãs, minimizando a contaminação da argila e a proteção de equipamentos contra quebras geradas por estes objetos. A Figura 4.41 a seguir permite o melhor entendimento desta melhoria.

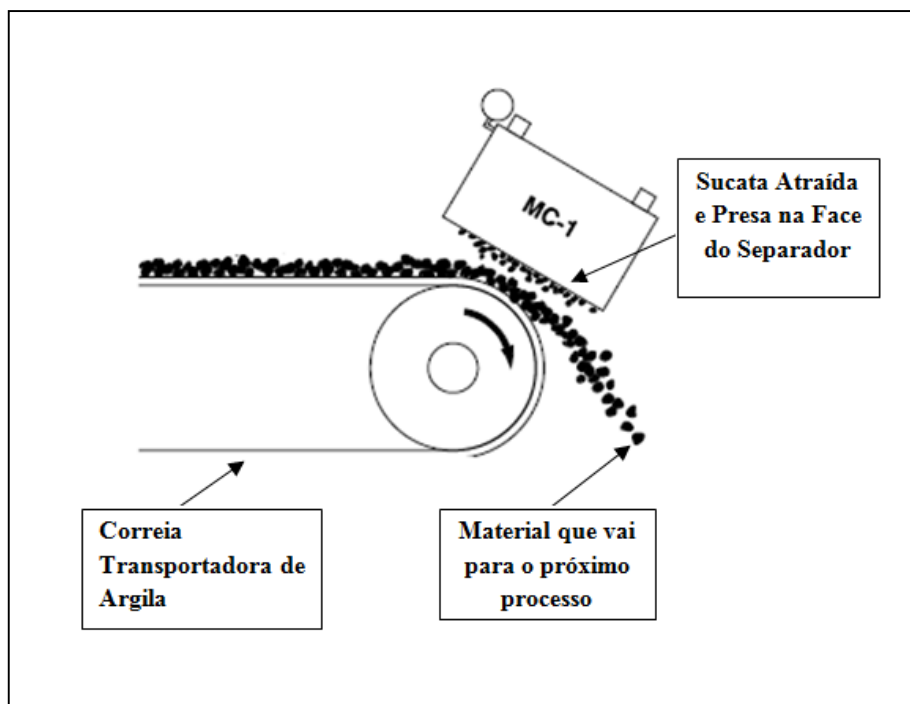


Figura 4.41 - Representação do funcionamento de um extrator de sucata.
 Fonte: INBRAS-ERIEZ EQUIPAMENTOS MAGNÉTICOS E VIBRATÓRIOS LTDA (2014).

Segundo a INBRAS-ERIEZ EQUIPAMENTOS MAGNÉTICOS E VIBRATÓRIOS LTDA (2014), o separador eletromagnético (Extrator de Sucata) foi desenvolvido para retirar sucatas ferrosas das correias transportadoras, com o objetivo de retirar sucatas ferrosas do produto final, evitar embarque de material não conforme para outra etapa do processo, evitar acidentes com sucatas ferrosas durante os processos de produção, evitar quebras de equipamento, aperfeiçoa o rendimento do processo.

Além disso, possui pontos positivos que favorecem sua aplicação: não requer consumo de energia elétrica, não há existência de óleo refrigerante, pois não ocasionam aquecimento, não precisa de painel de controle e não possuem riscos de incêndio nem explosão.

Outra solução proposta é a criação de uma pequena unidade laboratorial para fazer testes granulométricos e de amostragens. Permitindo a observação das composições físico-químicas da argila, além de amostragens para verificação de contaminantes não metálicos.

4.7.3 - Segundo evento de melhoria

Com relação a inspeção de qualidade visual, como relatado acima, a mesma é feita após a etapa de corte, no segundo evento de melhoria essa inspeção atuará em três pontos focais. Na entrada da matéria prima ao sistema, antes do processo de extrusão e após a queima dos tijolos. Pois o tempo perdido confeccionando peças com defeito, que vão para refugo, gera atraso em todo o sistema.

Assim, a inspeção visual dividida nestes pontos focais, permite em conjunto com o primeiro evento de melhoria, encontrar objetos que ocasionam inconformidades no produto e atraso na produção.

Além disso, percebe-se que o grande número de peças refugadas após a etapa de corte, ocasionam atraso no processo de empilhamentos dos pallets que vão para secagem. Pois os dois funcionários da esteira responsáveis por este processo, acabam tendo que interromper seu trabalho para ajudar o inspetor visual a retirar os tijolos para refugo. Assim estes eventos de melhorias permitem diminuir a quantidade de tijolos para refugo, ajudando na operação de empilhamento também.

4.7.4 - Terceiro evento de melhoria

Verifica-se que as peças que sofrem refugo retornam diretamente ao processo de extrusão. Isso provoca lentidão na produção, uma vez que as peças não passam pelo processo de homogeneização. Como terceiro evento de melhoria, os tijolos que sofrem retrabalho iram retornar ao ponto inicial do processo, caixa alimentador, com o objetivo de homogeneizar novamente o material e deixar a argila em condições ideais de extrusão e corte.

Como explanado no começo deste capítulo, os eventos de melhorias anteriores tiveram foco principal no gargalo 1 encontrado, máquina de extrusão- corte. A seguir será explicado o quarto evento de melhoria, focando-se no segundo gargalo identificado, forno lado B.

Verifica-se que o forno lado B está formando uma grande quantidade de filas, ocasionado estoques intermediários no processo. Como possíveis causas desta restrição, tem-se:

- 1ª (primeira) causa, é devido à falta de sinalização no processo de empilhamento para queima e identificação de qual forno está livre;

- 2ª causa identificada, verifica-se que a capacidade do forno lado B é menor que do forno lado A;
- 3ª terceira causa identificada observa-se a falta de manutenções preventivas nos fornos.

Como pode ser comprovado nos resultados da simulação, as causas anteriores citadas, ocasionam dois problemas principais na segunda restrição encontrada, forno lado B. Sendo exposto a seguir.

- Formação de Filas no processo de queima (estoques intermediários);
- Aumento no lead time do processo.

Será levantado adiante as possíveis soluções, para esta restrição, caracterizado como quarto evento de melhoria.

4.7.5 - Quarto evento de melhoria

Criação de um controle de critérios de alocação de capacidade, verifica-se que o forno lado B está formando uma grande quantidade de filas, ocasionado estoques intermediários no processo. Com a criação de um sistema de sinalização, consegue-se ter uma maior precisão neste ponto da fabricação, sinalizando qual linha estará livre para desenforna e enforna. Como forma de controlar o volume dos estoques em processo, a implantação de pulmões de recurso, se faz necessário, com o objetivo de auxiliar no controle de produção.

COX e SPENCER (2002) afirmam que:

A restrição é o tambor, e o pulmão é a quantidade física de estoques estrategicamente posicionados para manter a restrição operando, absorvendo as instabilidades normais do processo de produção nas operações que o antecedem. A corda é um dispositivo de comunicação a partir da restrição até a operação de entrada que dispara a liberação de material adicional para a fábrica.

O pulmão é formado através da liberação antecipada de materiais para o sistema, que leva ao acúmulo de materiais ou produtos acabados aguardando pelo futuro processamento ou expedição. O tamanho dos pulmões é definido em função da variabilidade e capacidade existente nos processos que compõem o sistema.

Desta forma, um sistema de sinalização correta na linha de produção, ajudaria os funcionários a terem um maior controle nesta etapa de restrição, otimizando a performance do gargalo.

O aumento da confiabilidade também se faz necessário para a intermitente operação do processo restritivo, garantindo assim que problemas mecânicos influam o mínimo possível na capacidade produtiva. Sendo assim, um plano de manutenção preventiva atualizado deve ser elaborado com base nos manuais e em recomendações dos fabricantes.

A manutenção preditiva também deve fazer parte da rotina dos operadores, de modo a assegurar que os problemas em potencial sejam identificados antes que aconteçam. Desta forma, os responsáveis devem ser treinados a executar vistorias e inspeções regulares com o propósito de reconhecer adversidades em tempo hábil para executar ajustes e reparos sem que haja a necessidade de parada das máquinas.

Estas são as propostas de melhorias sugeridas ao proprietário da empresa em estudo, cerâmica Nova União, que aplicadas de forma correta ocasionarão na otimização do recurso gargalo e conseqüentemente no processo produtivo global.

4.7.6 - Quinto evento de melhoria (Utilização de Termostatos)

A função do termostato é impedir que a temperatura de determinado sistema varie além de certos limites preestabelecidos. Um mecanismo desse tipo é composto por dois elementos: um indica a variação térmica sofrida pelo sistema e é chamado elemento sensor, o outro controla essa variação e corrige os desvios de temperatura, mantendo-a dentro do intervalo desejado. São utilizados em vários segmentos, inclusive na indústria cerâmica para controle das temperaturas internas dos fornos.

Com a implantação de termostatos em locais específicos nos fornos, pode-se controlar a temperatura interna e ter um controle maior da temperatura. Facilitando o controle do tempo de queima mais preciso dos tijolos. Diminuindo assim tempo de queima ocioso, ocasionando formação de filas e/ou falhas na composição dos tijolos.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E SUGESTÃO

5.1 – CONCLUSÕES

Frente a competitividade do mercado, empresas do ramo ceramista buscam oferecer produtos aos clientes, com maior qualidade, menor tempo de resposta e menor preço.

Para atender a estas exigências, as empresas são impulsionadas a investir em tecnologias mais sofisticadas que aumentem a produção, entretanto realizar aquisição de equipamentos cada vez mais modernos requer um custo elevado, onde nem todas as olarias têm condição de investir nestas aquisições.

Um dos meios de se aumentar a produtividade de forma mais precisa e com menor custo é através da correta análise do sistema produtivo onde busca-se identificar os pontos que estão gerando perda e ineficiência no processo.

O presente estudo mostrou a relevância da aplicação do mapeamento de processos atrelado a modelagem e simulação utilizando software ARENA em um ambiente fabril, visando proporcionar alternativas aos gestores referentes à identificação das restrições e efetivas soluções de melhoria.

O objetivo principal, traçado no início do trabalho, foi atingido. Através do auxílio de ferramentas de mapa de processos, tempo e movimentos, foi feito o modelo de simulação representativo do sistema de fabricação de blocos cerâmicos, aplicado na empresa Nova União e realizada uma proposta de identificação dos gargalos e lead time do processo, gerando propostas de melhoria.

Os objetivos Específicos foram alcançados no decorrer da elaboração do trabalho, no qual o primeiro a ser cumprido foi o mapeamento do modelo atual do sistema produtivo, detalhando cada processo existente, realizando o estudo de métodos. Em sequência foi coletado os dados das amostragens de cada processo existente, realizando o estudo de tempos. Concluindo, com a utilização dos dados coletados para a elaboração do modelo computacional, que são apresentados e explicados ao decorrer do estudo.

O resultado mais satisfatório e enriquecedor desse trabalho foram as experiências práticas aprendidas, através da implantação de ferramentas da engenharia

como mapa de processos, tempos e métodos, modelagem e simulação computacional, das conversas e sugestões com os colaboradores, dos questionamentos e de todas as análises em estudo.

É importante frisar que todas as alternativas levantadas pelo plano de otimização podem ser implantadas individualmente, proporcionando uma melhoria crescente do sistema.

Como conclusão geral, pode-se verificar que a correta modelagem de simulação do sistema, auxiliado por poderosas ferramentas de tempos e movimentos e mapa de processos ajudam na análise e melhoria de uma unidade fabril.

Desta forma, a empresa Olaria Nova União, pode focar seus esforços e investimentos nos pontos críticos da linha, melhorando assim sua competitividade e crescimento de mercado.

5.2 – SUGESTÕES

Como recomendações para trabalhos futuros, duas sugestões podem ser realizadas. Realizar um estudo de viabilidade econômica, com relação a aquisição de um outro forno, com capacidade maior de lotes.

E aplicar o estudo, em outras empresas ceramistas, com o objetivo de fazer uma comparação dos cenários e dos problemas encontrados. Dando um maior subsídio para auxiliar na análise da situação do setor ceramista nacional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERAMICA. **Anuário brasileiro de cerâmica**. 2000. Disponível em: www.abceram.org.br. Acesso em: 26 de abril de 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERAMICA. **Anuário brasileiro de cerâmica**. 2010. Disponível em: www.abceram.org.br. Acesso em: 17 de abril de 2015.

ASSOCIACAO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERAMICA. **Anuário brasileiro de cerâmica**: estimativa do Ministério das Minas e Energia para 2006, 2007 e 2008. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIACAO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERAMICA. **Relatório anual 2012**. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIACAO NACIONAL DA INDÚSTRIA CERAMICA. Telhas cerâmicas cobrem o Brasil: normas técnicas estimulam novos modelos, controle de qualidade e maior informação ao consumidor. **Revista da Anicer, Associação Nacional de Ceramica Vermelha ABC**, Rio de Janeiro, v. 7, n. 38, 2010.

AURELIO, B. de H. **O mini dicionário da língua portuguesa**. 4. ed. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <https://dicionariodoaurelio.com>. Acesso em: 20 de agosto de 2018.

BARNES, R. M. **Estudo de movimentos e de tempos**: projeto e medida do trabalho. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2001.

BATALHA, M. O. **Introdução à engenharia de produção**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.

BAZZO, W. A., PEREIRA, L. T. do V. **Introdução a engenharia**: conceitos, ferramentas e comportamentos. Florianópolis: UFSC, 2008.

CAMPOS, V. F. **TQC**: controle da qualidade total. 1992.

CORRÊA, H. L., CORRÊA. C. A. **Administração de produção e operações**. São Paulo: Atlas, 2004. 690 p.

COX, J. F., SPENCER, M. S. **Manual da teoria das restrições**. Porto Alegre: Bookman, 2002.

ESCRITÓRIO TÉCNICO DE ESTUDOS ECONÔMICOS DO NORDESTE. **Informe Setorial Cerâmica Vermelha**, out. 2010.

FERNANDES, L. C. da et al. Simulação da dinâmica operacional de uma linha industrial de abate de suínos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 1, pp. 166-170, jan./mar. 2006. Disponível em: www.scielo.Br/Pdf/Cta/V26n1/28866.pdf. Acesso em: 23 de setembro de 2015.

FREITAS FILHO, P. J. de. **Introdução à modelagem e simulação de sistemas com aplicações em Arena**. Florianópolis: Visual Books, 2008.

FONSECA, J. S. da, MARTINS, G. de A. **Curso de estatística**. São Paulo: Atlas, 2009.

GAVIRA, M. de O. **Simulação computacional como uma ferramenta de aquisição de conhecimento**. 2003. 163f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Escola de Engenharia, Universidade de São Carlos. São Carlos, 2003.

GIL, A. C. **Como elaborar projeto de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2008.

GOLDRATT, E. M., COX, J. **A meta: um processo de melhoria contínua**. 2. ed. São Paulo: Nobel, 2002.

GUERREIRO, R. **A meta da empresa: seu alcance sem mistérios**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 1999.

HENRIQUES JUNIOR, M. F. *et al.* **Manual de eficiência energética na indústria de cerâmica vermelha**. Rio de Janeiro: INT/MCTI, 2013. 28 p.

HEIZER, J., RENDER, B. **Administração de operações**. 5. ed. São Paulo: LTC, 1999.

INBRAS-ERIEZ EQUIPAMENTOS MAGNÉTICOS E VIBRATÓRIOS LTDA. **Manual técnico**. 2014. Disponível em: <http://www.inbras.com.br/aEmpresa.asp>. 2015. Acesso em: 12 de abril de 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA. **Consumo de gás natural no setor cerâmico brasileiro e perspectiva de expansão.** Rio de Janeiro, 2005.

LAW, A. M., KELTON, W. D. **Simulation modeling and Analysis.** New York: McGraw-Hill, 2000.

LOURENÇO M. H. D. T. **Simulação de operações preferenciais de ônibus urbanos em vias arteriais: uma metodologia para implantação de faixas exclusivas segundo o critério de tempo do usuário.** 1981. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Programa de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 1981.

MALHOTRA, M., RITZMAN, L. P., KRAJEWSKI, L. **Administração de Produção e Operações.** 8 ed. São Paulo: Pearson, 2009.

PARAGON. **Apresentação do Arena.** Disponível em:
<http://www.paragon.com.br/padrao.aspx?apresentacao_content_ct_1685_2139_.aspx>.
Acesso em: 27 de agosto de 2015.

PRADO, D. S. do. **Teoria das filas e da simulação.** 9. ed. Florianópolis: Visual Books, 2014.

PRADO, D. S. do. **Teoria das filas e da simulação.** 4. ed. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 2009.

PRADO, D. S. do. **Usando o Arena em simulação.** 3. ed. Belo Horizonte: Editora, 2003.

PROJETO de Eficiência Energética nas Pequenas Indústrias de Cerâmica Vermelha do Brasil. **Panorama da indústria de cerâmica vermelha no Brasil.** Rio de Janeiro, 2012.

SANTOS, P. S. **Ciência e Tecnologia de Argilas.** 2. ed. São Paulo: Edgar Blucher, 2013. 1v.

SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS, ESPM. **Cerâmica Vermelha:** estudos de mercado: relatório completo. São Paulo: SEBRAE Nacional, 2008.

SCHOWB, M. R. V. **Perspectivas de difusão do gás natural na indústria brasileira de cerâmica vermelha.** 2007. 352f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) - Departamento de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2007.

SILVA, E. L. da, MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração da dissertação.** 3. ed rev. e atual. Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2001.

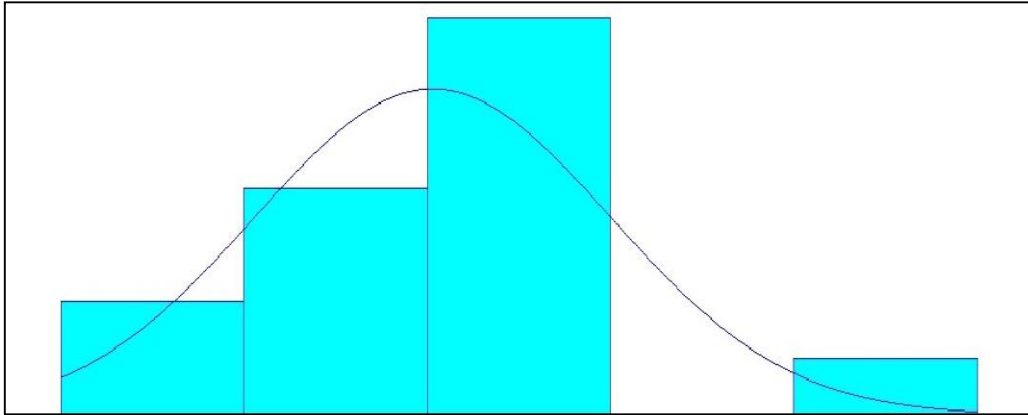
SWAIT, J. **Simulação de engenharia dos transportes.** Universidade Federal do Rio de Janeiro: COPPE, 1987.

VILAÇA, M. L. C. Pesquisa e ensino: considerações e reflexões. **Revista do Curso de Letras da UNIABEU**, Nilópolis, v. 1, n. 2, pp. 59-74, maio/ago. 2010. Disponível em: <http://www.uniabeu.edu.br/publica/index.php/RE/article/viewFile/26/pdf_23>. Acesso em: 1 de setembro de 2014.

VALOR Logística Integrada. Disponível em: <http://www.planetaferrovia.com/2013/02/valor-logistica-integrada.html>. Acesso em: 23 de fevereiro de 2015.

APÊNDICE A

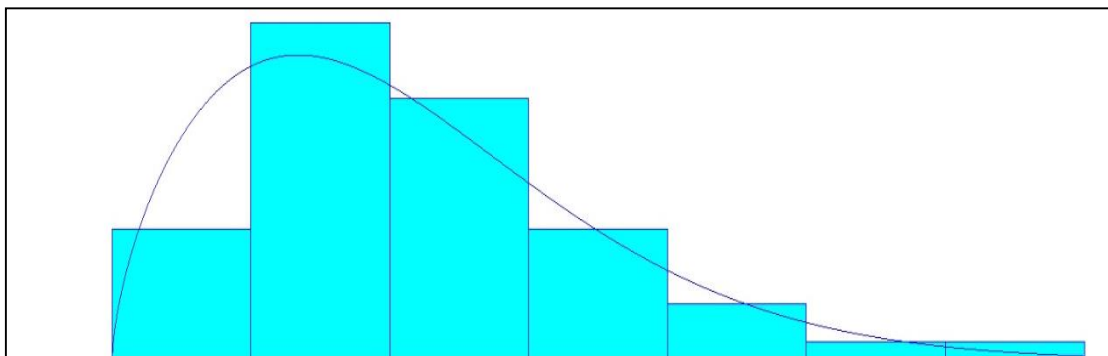
CURVAS ESTÁTICAS ENCONTRADAS ATRAVÉS DAS AMOSTRAGENS DE TEMPOS (TEMPO PROCESSO DE CORTE)



Distribution Summary	
Distribution:	Normal
Expression:	NORM(5.33, 0.336)
Square Error:	0.046742
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	= 0.136
Corresponding p-value	> 0.15
Data Summary	
Number of Data Points	= 14
Min Data Value	= 4.78
Max Data Value	= 6.21
Sample Mean	= 5.33
Sample Std Dev	= 0.349
Histogram Summary	
Histogram Range	= 4.63 to 6.36
Number of Intervals	= 5

APÊNDICE B

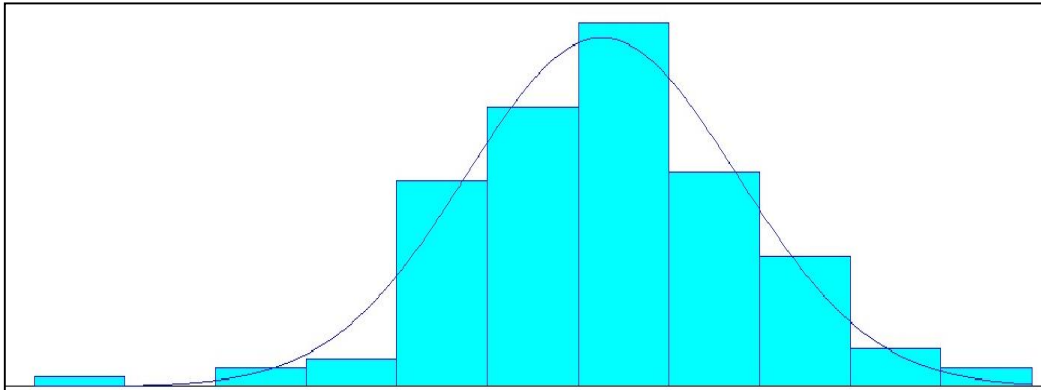
CURVAS ESTÁTICAS ENCONTRADAS ATRAVÉS DAS AMOSTRAGENS DE TEMPOS (TEMPO DE EMPILHAMENTO APÓS ETAPA DE CORTE)



Distribution Summary	
Distribution:	Weibull
Expression:	4 + WEIB(2.27, 1.63)
Square Error:	0.009092
Chi Square Test	
Number of intervals	= 4
Degrees of freedom	= 1
Test Statistic	= 1.96
Corresponding p-value	= 0.18
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	= 0.114
Corresponding p-value	> 0.15
Data Summary	
Number of Data Points	= 51
Min Data Value	= 4.03
Max Data Value	= 10
Sample Mean	= 6.04
Sample Std Dev	= 1.27

APÊNDICE C

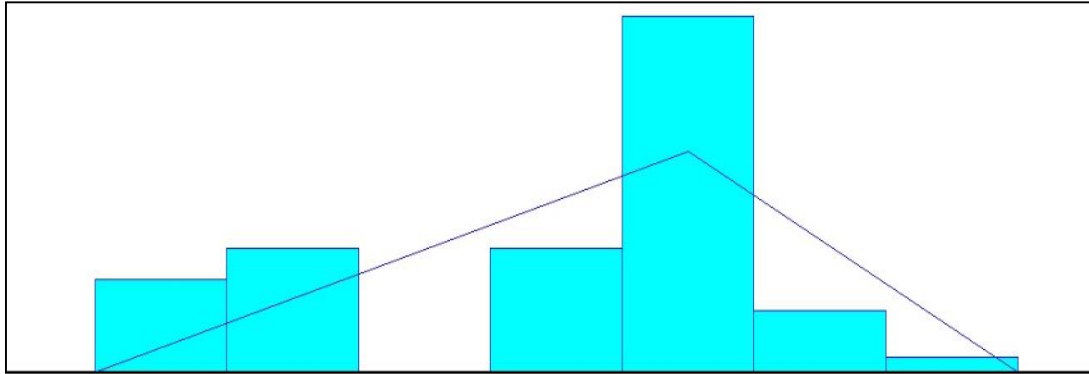
CURVAS ESTÁTICAS ENCONTRADAS ATRAVÉS DAS AMOSTRAGENS DE TEMPOS (TEMPO DE DESCARREGAMENTO DOS PALLETS PARA SECAGEM)



Distribution Summary	
Distribution:	Normal
Expression:	NORM(3.54, 0.46)
Square Error:	0.002882
Chi Square Test	
Number of intervals	= 5
Degrees of freedom	= 2
Test Statistic	= 1.61
Corresponding p-value	= 0.46
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	= 0.0822
Corresponding p-value	> 0.15
Data Summary	
Number of Data Points	= 140
Min Data Value	= 1.9
Max Data Value	= 4.8
Sample Mean	= 3.54
Sample Std Dev	= 0.462

APÊNDICE D

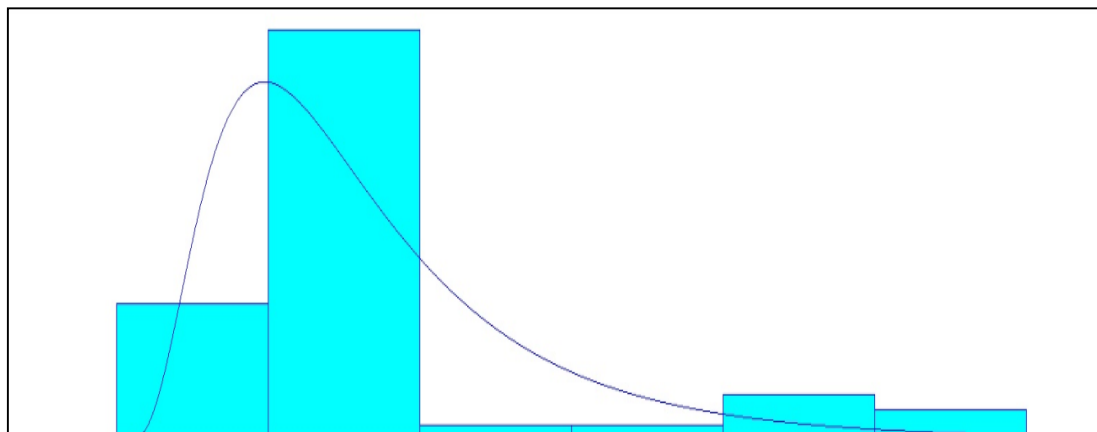
CURVAS ESTÁTICAS ENCONTRADAS ATRAVÉS DAS AMOSTRAGENS DE TEMPOS (TEMPO DE COLOCAR NO CARRINHO PARA FORNO)



Distribution Summary	
Distribution:	Triangular
Expression:	TRIA(0.4, 1.17, 1.6)
Square Error:	0.089404
Chi Square Test	
Number of intervals	= 5
Degrees of freedom	= 3
Test Statistic	= 31.4
Corresponding p-value	< 0.005
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	= 0.109
Corresponding p-value	> 0.15
Data Summary	
Number of Data Points	= 50
Min Data Value	= 0.5
Max Data Value	= 1.5
Sample Mean	= 0.97
Sample Std Dev	= 0.278

APÊNDICE E

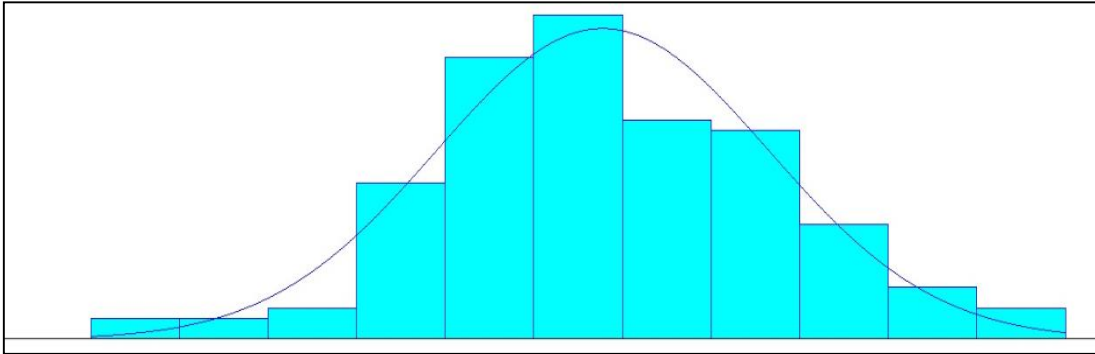
CURVAS ESTÁTICAS ENCONTRADAS ATRAVÉS DAS AMOSTRAGENS DE TEMPOS (TEMPO DE RETIRAR DO CARRINHO PARA FORNO)



Distribution Summary	
Distribution:	Lognormal
Expression:	$1 + \text{LOGN}(0.471, 0.32)$
Square Error:	0.074857
Chi Square Test	
Number of intervals	= 3
Degrees of freedom	= 0
Test Statistic	= 12.8
Corresponding p-value	< 0.005
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	= 0.126
Corresponding p-value	> 0.15
Data Summary	
Number of Data Points	= 43
Min Data Value	= 1.1
Max Data Value	= 2.5
Sample Mean	= 1.48
Sample Std Dev	= 0.349

APÊNDICE F

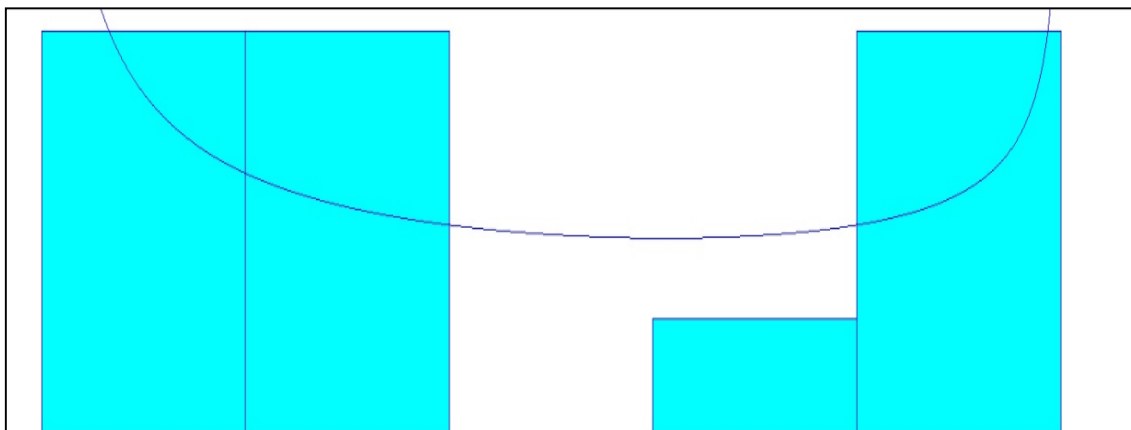
CURVAS ESTÁTICAS ENCONTRADAS ATRAVÉS DAS AMOSTRAGENS DE TEMPOS (TEMPO DE DESENFORNA)



Distribution Summary	
Distribution:	Normal
Expression:	NORM(2.78, 0.578)
Square Error:	0.003862
Chi Square Test	
Number of intervals	= 6
Degrees of freedom	= 3
Test Statistic	= 2.84
Corresponding p-value	= 0.432
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	= 0.0601
Corresponding p-value	> 0.15
Data Summary	
Number of Data Points	= 140
Min Data Value	= 1.2
Max Data Value	= 4.1
Sample Mean	= 2.78
Sample Std Dev	= 0.581

APÊNDICE G

CURVAS ESTÁTICAS ENCONTRADAS ATRAVÉS DAS AMOSTRAGENS DE TEMPOS (TEMPO DE ESTOCAGEM)



Distribution Summary	
Distribution:	Beta
Expression:	$2 + 1.32 * \text{BETA}(0.568, 0.727)$
Square Error:	0.058365
Chi Square Test	
Number of intervals	= 3
Degrees of freedom	= 0
Test Statistic	= 0.434
Corresponding p-value	< 0.005
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	= 0.172
Corresponding p-value	> 0.15
Data Summary	
Number of Data Points	= 23
Min Data Value	= 2
Max Data Value	= 3.2
Sample Mean	= 2.58
Sample Std Dev	= 0.433

APÊNDICE H

MODELO DE TABELA UTILIZADO PARA COLETAS DE AMOSTRAGENS DOS PROCESSOS

Amostragens					
Coletor: Gabriel Alexei			Local : Cerâmica Nova União		
Processo: Tempos de Colocar no carrinho para Forno					
Tempos Unidade : Minutos	1,04	1,03	0,56	0,56	1,1
	1,2	0,57	1,3	1,09	0,56
	1,18	1,5	0,5	1,09	1,2
	1,27	1,05	1,08	1,32	0,5
	1,22	1,24	1,22	1,07	1,09
	0,58	0,52	0,48	1,11	0,55
	1	0,59	1,01	0,52	1,31
	1,01	0,58	1,07	1,04	0,5
	1,03	1,18	1,13	1,12	1,08
	1,13	1,06	1,07	1,03	1,06