

**MODELAGEM E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE PROCESSOS
PRODUTIVOS: O CASO DA CERÂMICA VERMELHA DE CAMPOS DOS
GOYTACAZES, RJ**

ANDRÉ PERES ARAGÃO

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE - UENF

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ

MARÇO – 2011

**MODELAGEM E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE PROCESSOS
PRODUTIVOS: O CASO DA CERÂMICA VERMELHA DE CAMPOS DOS
GOYTACAZES, RJ**

ANDRÉ PERES ARAGÃO

Projeto apresentado ao Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: José Ramón Arica Chávez, D. Sc.

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ

MARÇO – 2011

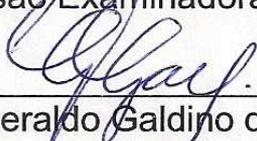
MODELAGEM E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE PROCESSOS PRODUTIVOS: O CASO DA CERÂMICA VERMELHA DE CAMPOS DOS GOYTACAZES, RJ

ANDRÉ PERES ARAGÃO

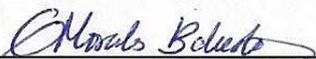
Projeto apresentado ao Centro de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Aprovada em 17 de MARÇO de 2011

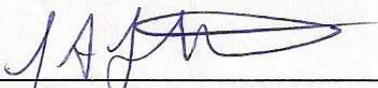
Comissão Examinadora:



Prof. Geraldo Galdino de Paula Junior
(Doutor, Engenharia de Sistemas e Computação) – UENF



Prof. Gudélia Guillermina Morales de Arica
(Doutor, Engenharia de Sistemas e Computação) – UENF



Prof. Nilo Américo Fonseca de Melo
(Doutor, Ciências de Engenharia) – IFF Campos



Prof. José Ramón Arica Chávez
(Doutor, Engenharia de Sistemas e Computação) – UENF
Orientador

AGRADECIMENTOS

Acima de tudo agradeço a Deus, por me dar sabedoria, motivação, capacitação e forças para concretizar mais um sonho e por me proporcionar um vasto conhecimento.

A família Peres, por me incentivar na minha trajetória, na qual me impulsionaram e sempre estiveram ao meu lado, além da minha mãe Leonir e meu pai Santelmo.

Ao professor D.Sc. José Ramón Arica Chávez pela orientação desse trabalho, pelos conselhos, pela paciência, pelos ensinamentos e por acreditar no meu potencial.

A todos os professores e funcionários do Laboratório de Engenharia de Produção – LEPROD - que me ajudaram ao longo do curso.

A todos os amigos da universidade, na qual compartilhamos momentos de dificuldades e de alegria, dos quais nunca me esquecerei e sou muito agradecido.

A empresa que abriu as portas para que o estudo pudesse ser realizado e a todos os funcionários que se disponibilizaram a cooperar com o trabalho.

SUMÁRIO

Lista de Figuras.....	viii
Lista de Tabelas.....	xi
Lista de Gráficos.....	xiv
Lista de Siglas.....	xv
Resumo.....	xvi
<i>Abstract</i>	xvii
CAPITULO 1 – INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Objetivos.....	3
1.1.1 Objetivo Geral.....	3
1.1.2 Objetivos Específicos.....	3
1.2 Metodologia.....	4
1.3 Estrutura do trabalho.....	4
CAPITULO 2 – CERÂMICA VERMELHA: DEFINIÇÕES E ANÁLISE.....	5
2.1 Histórico da cerâmica.....	5
2.2 Definição de produto cerâmico.....	7
2.3 Panorama atual.....	9
2.4 Indústria de cerâmica vermelha em Campos dos Goytacazes.....	10
CAPITULO 3 – SIMULAÇÃO DE SISTEMAS.....	11
3.1 Sistemas	12
3.2 Modelos.....	14
3.2.1 Etapas de modelagem de um sistema.....	15
3.2.1.1 Etapa de planejamento.....	15

3.2.1.2 Etapa de modelagem.....	16
3.2.1.3 Etapa de experimentação.....	17
3.2.1.4 Tomada de decisão e conclusão do projeto.....	18
3.2.2 Análise do ciclo de vida do modelo do sistema de simulação.....	18
3.2.3 Metamodelos.....	20
3.3 Mapeamento de Processos.....	21
3.4 Simulação.....	22
3.4.1 Evolução da Simulação.....	25
3.4.2 Vantagens e Desvantagens.....	28
3.5 O software ARENA.....	31
CAPITULO 4 – ESTUDO DE CASO.....	32
4.1 Definição do problema.....	33
4.2 Parâmetros do sistema.....	34
4.3 Construção do modelo.....	35
4.3.1 Coleta dos dados.....	35
4.3.2 Modelo conceitual.....	36
4.3.3 Análise dos dados.....	45
4.3.3.1 Processo de fabricação de telha.....	47
4.3.3.2 Processo de fabricação do tijolo 9x19x19.....	49
4.3.3.3 Processo de fabricação do tijolo 9x19x29.....	51
4.3.4 Modelo de simulação.....	53
4.3.4.1 Modelo de simulação do processo de fabricação de telhas.....	53
4.3.4.2 Modelo de simulação do processo de fabricação de tijolos.....	60
4.4 Validação do modelo.....	63

CAPITULO 5 – SIMULAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	66
5.1 Análise de sensibilidade.....	67
5.2 Comparação de cenários.....	70
5.2.1 Fabricação de um tipo de peça por dia.....	73
5.2.2 Fabricação de dois tipos de peças por dia.....	83
5.2.3 Fabricação de um ou dois tipos de peças por dia.....	93
5.3 Análise dos resultados.....	103
CAPITULO 6 – CONCLUSÕES.....	105
6.1 Considerações finais.....	105
6.2 Contribuições.....	106
6.3 Trabalhos futuros.....	107
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	108
APÊNDICE A.....	111
APÊNDICE B.....	118

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Formas de estudar um sistema.....	13
Figura 3.2: Modelo matemático.....	15
Figura 3.3: Diagrama Referencial Linear/Sistêmico – DRLS.....	15
Figura 3.4: Fluxograma das etapas de verificação e validação do modelo computacional.....	17
Figura 3.5: Modelo do ciclo de vida de um projeto de sistemas.....	19
Figura 3.6: Extrato do metamodelo UML.....	20
Figura 3.7: Representação esquemática de um modelo de sistema.....	25
Figura 4.1: Fluxograma do processo produtivo de cerâmica vermelha.....	37
Figura 4.2: Foto da Jazida.....	38
Figura 4.3: Estoque de matéria-prima bruta.....	38
Figura 4.4: Estoque de matéria-prima trabalhada.....	38
Figura 4.5: Foto do Caixão dosador.....	39
Figura 4.6: Foto do Desintegrador.....	39
Figura 4.7: Foto do Misturador.....	40
Figura 4.8: Foto do Laminador.....	40
Figura 4.9: Foto do processo de Extrusão.....	41
Figura 4.10: Foto das máquinas de corte.....	41
Figura 4.11: Foto do processo de Prensa.....	42
Figura 4.12: Galpão de secagem dos tijolos.....	42
Figura 4.13: Galpão de secagem das telhas.....	43
Figura 4.14: Forno do tipo Hoffman utilizado na queima de tijolos.....	43
Figura 4.15: Forno utilizado na queima de telhas.....	44
Figura 4.16: Estoque de tijolo.....	44
Figura 4.17: Estoque de telha.....	44
Figura 4.18: Caminhão sendo abastecido.....	45

Figura 4.19: Parte do relatório gerado pelo ARENA do processo de fabricação de telhas.....	48
Figura 4.20: Parte do relatório gerado pelo ARENA do processo de fabricação do tijolo 9x19x19.....	51
Figura 4.21: Parte do relatório gerado pelo ARENA do processo de fabricação do tijolo 9x19x29.....	52
Figura 4.22: Modelo de simulação do processo produtivo de telha desenvolvido no ARENA.....	54
Figura 4.23: Exemplo de configuração de um roteador.....	55
Figura 4.24: Configuração do Bloco “Guarda Tempo”.....	56
Figura 4.25: Configuração do Bloco “Guarda Tempo”.....	56
Figura 4.26: Configuração do Bloco “Process 1”.....	57
Figura 4.27: Configuração do Bloco “Qual auxiliar da prensa esta livre?”.....	58
Figura 4.28: Configuração do Bloco “Process 3”.....	58
Figura 4.29: Configuração do Bloco “Qual auxiliar da esteira esta livre?”.....	59
Figura 4.30: Modelo de simulação do processo produtivo de tijolo desenvolvido no ARENA.....	60
Figura 4.31: Configuração do bloco “Batch 1”.....	61
Figura 4.32: Configuração do bloco “Decide 2”.....	62
Figura 4.33: Configuração do bloco “Process 3”.....	63
Figura 5.1: Modificação da configuração dos roteadores.....	69
Figura A.1: Exemplo de um modelo de sistemas com filas.....	111
Figura A.2: Modelos de sistema de fila mais comuns.....	112
Figura A.3: Distribuição Binomial.....	114
Figura A.4: Distribuição Poisson.....	114
Figura A.5: Distribuição Beta.....	114
Figura A.6: Distribuição Erlang.....	114
Figura A.7: Distribuição Exponencial.....	114
Figura A.8: Distribuição Gama.....	114

Figura A.9: Distribuição Lognormal.....	115
Figura A.10: Distribuição Normal.....	115
Figura A.11: Distribuição Uniforme.....	115
Figura A.12: Distribuição Triangular.....	115
Figura A.13: Distribuição Weibull.....	115

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Principais setores cerâmicos, matéria-prima e processo de fabricação.....	8
Tabela 3.1: Evolução da simulação.....	28
Tabela 4.1: Variáveis de entrada e saída do modelo de simulação.....	35
Tabela 4.2: Variáveis de entrada do sistema.....	46
Tabela 4.3: Distribuição probabilística das variáveis de entrada do sistema....	46
Tabela 4.4: Variáveis de entrada do sistema de produção de telha.....	48
Tabela 4.5: Variáveis de entrada do sistema produção do tijolo 9x19x19.....	50
Tabela 4.6: Variáveis de entrada do sistema produção do tijolo 9x19x29.....	52
Tabela 4.7: Ligações lógicas do modelo de simulação do processo produtivo de telhas.....	55
Tabela 4.8: Ligações lógicas do modelo de simulação do processo produtivo de tijolos.....	61
Tabela 4.9: Validação do modelo de simulação.....	64
Tabela 5.1: Análise das perdas ocasiona pelo excesso de paradas.....	68
Tabela 5.2: Impactos gerados após mudança do modelo.....	69
Tabela 5.3: Extrato referente à produção da segunda semana de agosto da empresa.....	71
Tabela 5.4: Quantidade de peças produzidas na semana.....	71
Tabela 5.5: Primeiro cenário com a produção de um tipo de peça por dia.....	73
Tabela 5.6: Segundo cenário com a produção de um tipo de peça por dia.....	74
Tabela 5.7: Terceiro cenário com a produção de um tipo de peça por dia.....	75
Tabela 5.8: Quarto cenário com a produção de um tipo de peça por dia.....	76
Tabela 5.9: Quinto cenário com a produção de um tipo de peça por dia.....	77
Tabela 5.10: Sexto cenário com a produção de um tipo de peça por dia.....	78
Tabela 5.11: Sétimo cenário com a produção de um tipo de peça por dia.....	79
Tabela 5.12: Oitavo cenário com a produção de um tipo de peça por dia.....	80
Tabela 5.13: Nono cenário com a produção de um tipo de peça por dia.....	81

Tabela 5.14: Décimo cenário com a produção de um tipo de peça por dia.....	82
Tabela 5.15: Primeiro cenário com a produção de dois tipos de peças por dia	83
Tabela 5.16: Segundo cenário com a produção de dois tipos de peças por dia.	84
Tabela 5.17: Terceiro cenário com a produção de dois tipos de peças por dia..	85
Tabela 5.18: Quarto cenário com a produção de dois tipos de peças por dia....	86
Tabela 5.19: Quinto cenário com a produção de dois tipos de peças por dia.....	87
Tabela 5.20: Sexto cenário com a produção de dois tipos de peças por dia.....	88
Tabela 5.21: Sétimo cenário com a produção de dois tipos de peças por dia....	89
Tabela 5.22: Oitavo cenário com a produção de dois tipos de peças por dia.....	90
Tabela 5.23: Nono cenário com a produção de dois tipos de peças por dia.....	91
Tabela 5.24: Décimo cenário com a produção de dois tipos de peças por dia...	92
Tabela 5.25: Primeiro cenário com a produção de um ou dois tipos de peças por dia.....	93
Tabela 5.26: Segundo cenário com a produção de um ou dois tipos de peças por dia.....	94
Tabela 5.27: Terceiro cenário com a produção de um ou dois tipos de peças por dia.....	95
Tabela 5.28: Quarto cenário com a produção de um ou dois tipos de peças por dia.....	96
Tabela 5.29: Quinto cenário com a produção de um ou dois tipos de peças por dia.....	97
Tabela 5.30: Sexto cenário com a produção de um ou dois tipos de peças por dia.....	98
Tabela 5.31: Sétimo cenário com a produção de um ou dois tipos de peças por dia.....	99
Tabela 5.32: Oitavo cenário com a produção de um ou dois tipos de peças por dia.....	100
Tabela 5.33: Nono cenário com a produção de um ou dois tipos de peças por dia.....	101
Tabela 5.34: Décimo cenário com a produção de um ou dois tipos de peças por dia.....	102
Tabela 5.35: Análise dos resultados do planejamento da produção semanal..	103

Tabela B1: Amostra de dados do mês de agosto.....	118
Tabela B2: Amostra de dados do mês de setembro.....	119

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 4.1: Percentual de peças produzidas nos meses de agosto e setembro de 2010.....	33
Gráfico 5.1: Percentual da produção simulado.....	72

LISTA DE SIGLAS

1. ABC (Associação Brasileira de Cerâmica)
2. ANICER (Associação Nacional da Indústria Cerâmica)
3. DSL (Domain Specific Language)
4. GNA (Gerador de Números Aleatórios)
5. MMC (Método de Monte Carlo)
6. POO (Programação Orientada a Objetos)
7. UML (Unified Modeling Language)

RESUMO

Este trabalho apresenta a simulação do processo produtivo de cerâmica vermelha numa empresa de Campos dos Goytacazes (RJ), utilizando um modelo de filas. Através do mapeamento do processo criou-se um modelo conceitual do sistema onde são analisados os dados coletados a fim de gerar o modelo computacional. O modelo de simulação do processo produtivo desenvolveu-se no framework ARENA, onde possibilitou identificar os principais setores do processo que implicam maiores gargalos. O objetivo do estudo é obter melhor desempenho na inferência dos resultados e no tempo de resposta, proporcionando a comparação de cenários de modo a decidir aquele que atende as necessidades da empresa e ao mesmo tempo gera aumento da produtividade.

Palavras-chave: Simulação Computacional, Filas, Cerâmica Vermelha.

ABSTRACT

This work presents a simulation of the production process in a red ceramic company from Campos (RJ), using a queuing model. By mapping the process it was created a conceptual model of the system which analyzes the collected data to generate the computational model. The simulation model of the production process developed in the framework ARENA, which enabled us to identify the main sectors of the process involving major problems. The objective is to obtain better performance in the inference of the results and response time, providing a comparison of scenarios to choose one that meets business needs while generating increased productivity.

Keywords: Computer Simulation, Queues, Red Ceramic.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Sempre que se discute sobre aperfeiçoar sistemas produtivos, na maioria das vezes trata-se de mudanças na estrutura organizacional e melhoria da produção por meio de um planejamento estratégico. Com o mercado cada vez mais competitivo e exigente, faz-se necessário a identificação de métodos que tragam respostas consistentes para melhoria da qualidade, um sistema que minimize os custos e métodos com alto grau de resposta. Outra prática é a reengenharia de processos, a qual consiste na elaboração de um novo plano por meio da análise crítica do sistema, onde são criadas medidas a fim de aperfeiçoar o processo (ÁVILA, 2006). Porém, essas alterações trazem riscos, e com frequência, altos custos, associados à introdução de mudanças no sistema, causando uma resistência na tomada de decisões no tocante a mudanças de cenários.

Um dos setores que atualmente necessita de medidas alternativas de melhoria no sistema de produção é o setor de cerâmica vermelha. Esse cenário foi comprovado no 39º Encontro Nacional de Indústria de Cerâmica Vermelha realizado no ano de 2010 em Florianópolis – SC onde se discutiu a perda de mercado devido à falta de qualidade no produto final (ANICER, 2011). Relatou-se que há 10 anos o setor atendia mais de 90% do mercado de construções em geral, porém hoje responde por algo em torno de 60%. Na

avaliação do presidente da Associação Nacional da Indústria Cerâmica - ANICER, Luis Lima, essa queda deve-se à crescente substituição da alvenaria estrutural por produtos como o concreto e sistemas do tipo *drywall*.

Alguns estudos, relativos à Indústria Cerâmica de Campos dos Goytacazes - RJ, já têm sido feitos a fim de aumentar a competitividade do setor como é o caso do trabalho desenvolvido por Souza (2003) onde se faz um estudo exploratório da dinâmica competitiva de arranjos produtivos locais a partir dos conceitos de “trajetória competitiva” e “estratificação tecnológica”. O mesmo autor relata que a necessidade de uma normalização quanto à qualidade dos produtos é um dos pontos que dificultam o avanço da competitividade.

Outro estudo realizado em Campos dos Goytacazes - RJ por Silvestre (2001) tem também como objetivo analisar a competitividade local buscando identificar medidas alternativas que aumentem a competitividade, como a utilização de redes de cooperação produtiva e de marketing.

Estudo feito por Barbosa *et al* (2008) investigam estratégias para o incremento do potencial competitivo das pequenas e médias empresas do pólo ceramista do Município de Itaboraí - RJ por meio de arranjos inter-organizacionais e redes de cooperação. Estuda-se a criação de uma central de massas de argila a fim de promover o desenvolvimento regional e o aumento de investimentos públicos.

Entretanto, não são encontrados estudos referentes ao processo de fabricação de produtos cerâmicos utilizando modelagem de sistemas e ferramentas computacionais. Uma alternativa para se estudar sistemas produtivos é através da análise e modelagem computacional do processo de produção, na qual possibilita visualizar o sistema real de uma forma mais clara, contribuindo na tomada de decisão dos projetistas para a melhor técnica a ser adaptada. Podem-se citar trabalhos similares, tais como a simulação do processo de congelamento/resfriamento em uma unidade produtora de aves (Brustolin e Silva, 2007), simulação computacional da manufatura (Silva et al, 2007) e a aplicação de simulação computacional como ferramenta em uma metodologia de um projeto de layout de blocos, em uma fábrica de refratários com processo discreto de produção (Meirelles et al, 2009).

Portanto, com o advento da simulação de sistemas utilizando modelos computacionais, torna-se possível analisar o sistema real, virtualmente, sem a necessidade de interferir nas suas atividades. A simulação pode ser usada também em sistemas reais que ainda não existem ou estão em fase de aperfeiçoamento (protótipos), baseados em outros sistemas no qual podem ser testados sem a necessidade de serem implementados. O modelo irá simular as ocorrências do sistema, fazendo possível identificar eventuais problemas e conseqüentemente tratá-los.

Neste trabalho elabora-se um modelo computacional para a linha da produção de uma indústria de cerâmica vermelha a fim de identificar e propor um melhoramento da produção por meio da criação e análise de cenários. Para tal fim será usado o software ARENA, o que permitirá inserir o uso da teoria das filas com o objetivo de identificar os gargalos do sistema, buscando propostas de melhorias no processo produtivo.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo utilizar ferramentas computacionais que auxiliem na tomada de decisão de sistemas produtivos por meio da modelagem e simulação.

1.1.2 Objetivo específico

- a) Desenvolver um modelo de simulação computacional do processo produtivo de uma Indústria Cerâmica em Campos dos Goytacazes.
- b) Contribuir com a melhora do processo produtivo da indústria mencionada identificando gargalos de produção e alternativas de solução usando a simulação.
- c) Identificar os possíveis impactos que o estudo venha contribuir e propor a implementação deste estudo na indústria.

1.2 Metodologia

O estudo desenvolveu-se inicialmente por meio de uma revisão bibliográfica sobre sistemas, modelagem e simulação a fim de conhecer as vantagens e desvantagens de se utilizar esses métodos. Com o objetivo de analisar o desempenho do processo, também foi realizado um estudo sobre a teoria das filas.

Após a revisão, iniciou-se o estudo do processo de fabricação de cerâmica vermelha a fim de adaptar os conceitos adquiridos na revisão. Iniciou-se então a criação do modelo conceitual por meio do mapeamento do processo. Em seguida, criou-se o modelo computacional através da coleta e análise dos dados. O modelo foi simulado no software ARENA onde se compara os resultados da simulação com os dados do sistema de produção real.

Por fim, são documentadas todas as etapas do projeto, bem como os benefícios que a simulação computacional trouxe ao estudo.

1.3 Estrutura do trabalho

Este trabalho está dividido em sete capítulos relacionados da seguinte maneira:

- O primeiro capítulo apresenta a introdução, onde se estabelece a importância do estudo, bem como seus objetivos.
- O segundo capítulo traz a definição de produto cerâmico, um breve histórico e o panorama atual do setor no âmbito nacional e local.
- O terceiro capítulo apresenta uma revisão bibliográfica para melhor entendimento de como funciona a modelagem de processos, simulação computacional e mapeamento de processos. Também apresenta o software ARENA.
- O quarto capítulo mostra a aplicação dos conceitos apresentados nos capítulos anteriores no sistema de produção de uma empresa de cerâmica vermelha.
- O quinto capítulo apresenta a simulação e a análise dos resultados. Propõem-se mudanças no sistema e são desenvolvidos cenários a fim de melhorar o planejamento da produção.
- No sexto capítulo encontram-se as conclusões do trabalho.

CAPÍTULO 2

CERÂMICA VERMELHA: DEFINIÇÕES E ANÁLISE

Este capítulo tem como finalidade mostrar a importância das indústrias de cerâmica vermelha no cenário brasileiro, bem como realizar um estudo da atual realidade do setor.

2.1 Histórico da cerâmica

Estudos arqueológicos indicam a ocorrência de utensílios cerâmicos a partir do período Pré-neolítico (25000 a.C.) e de materiais de construção, como tijolos, telhas e blocos, por volta de 5000 a 6000 a.C. (SEBRAE, 2008).

Segundo pesquisa da Faculdade de Tecnologia de Lisboa, peças cerâmicas elaboradas com argila datam de 4000 a.C., elaboradas com formas bem definidas, mas utilizando processo que não contemplava o cozimento das mesmas (SANTOS, 2003). Datam também dessa mesma época dos indícios a utilização de tijolos na construção, fabricados na Mesopotâmia.

Os primeiros tijolos queimados datam de 3000 a.C., cuja aplicação estava voltada aos revestimentos externos e muros de proteção, apesar da técnica ter se desenvolvido

séculos antes, especialmente na queima de utensílios domésticos. Entre 1600 e 1100 a.C. foram encontrados, onde se localizava a Babilônia, alguns exemplares de tijolos queimados.

Ainda segundo estudos do SEBRAE (2008), em 430 a.C. foram encontradas telhas na Grécia, além de indícios de sua utilização na China e Japão por volta do mesmo período. Alguns anos depois, em torno de 280 a.C., identifica-se a utilização, por parte dos Romanos, da utilização de barro cozido para construção de telhados, assim como para fabricação de divindades, objetos ornamentais e artefatos utilitários. A atividade foi aprimorando-se e, por volta do século I a.C., começa a revelar evolução na qualidade proveniente da tecnologia produtiva empregada, resultando peças de maior valor estético e monetário.

No Brasil, há mais de 2000 anos, antes mesmo da descoberta do Brasil, existia no país a atividade de fabricação de cerâmicas, representada por potes, baixelas e outros artefatos cerâmicos (ACERTUBOS, 2011). A cerâmica mais elaborada foi detectada na Ilha de Marajó, do tipo marajoara, com sua origem na avançada cultura indígena da Ilha. Entretanto, estudos arqueológicos indicam que a presença de uma cerâmica mais simples ocorreu na região amazônica, há mais de 5000 anos atrás.

No que tange à cerâmica vermelha, as escassas e imprecisas informações referem-se à utilização no período Colonial, a partir de técnicas de produção rudimentares introduzidas pelos Jesuítas, que necessitavam de tijolos para construção de colégios e conventos.

A partir de 1549, com a chegada de Tomé de Sousa ao país, é estimulada a produção de material de construção para o desenvolvimento de cidades mais bem planejadas e elaboradas.

Em 1575 há indícios do uso de telhas na formação da vila que viria a ser a cidade de São Paulo/SP. A partir desse estímulo começa a desenvolver-se a atividade cerâmica de forma mais intensa, sendo as olarias o marco inicial da indústria em São Paulo. Com maior concentração nas últimas décadas do século XIX, a produção nas olarias dava-se por meio de processos manuais, e em pequenos estabelecimentos, e tinham como

produto final tijolos, telhas, tubos, manilhas, vasos, potes eoringas, os quais eram comercializados localmente.

Segundo a Associação Brasileira de Cerâmica - ABC (1979) a primeira grande fábrica de produtos cerâmicos do Brasil fundou-se em São Paulo, em 1893, por quatro irmãos franceses, naturais de Marselha, com o nome de Estabelecimentos Sacoman Frères, posteriormente alterado para Cerâmica Sacoman S.A., a qual encerrou suas atividades em 1956. O nome das telhas conhecidas por “francesas” ou “marselhesas” é devido à origem desses empresários.

Nos últimos anos do século XIX e início do XX houve um processo de especialização nas empresas cerâmicas, o que gerou uma separação entre olarias (produtoras de tijolos e telhas) e “cerâmicas” (produtoras de itens mais sofisticados, como manilhas, tubos, azulejos, louças, potes, talhas, etc.).

2.2 Definição de produto cerâmico

De acordo com Barbosa et al. (2008), na cadeia produtiva da construção civil, a indústria cerâmica é bastante diversificada, existindo segmentos com maior ou menor grau de desenvolvimento e capacidade de produção. Esses segmentos podem ser divididos em: cerâmica vermelha, materiais de revestimento, materiais refratários, louça sanitária, isoladores elétricos de porcelana, louça e mesa, cerâmica artística, cerâmica técnica e isolantes térmicos.

Para classificar um produto cerâmico deve-se levar em consideração o emprego dos seus produtos, natureza de seus constituintes, características da massa, além de outras características cerâmicas, técnicas e econômicas (SEBRAE, 2008).

Na Tabela 2.1 são relacionados os setores cerâmicos, bem como seus produtos e as respectivas matérias-primas utilizadas e processo de fabricação.

Tabela 2.1: Principais setores cerâmicos, matéria-prima e processo de fabricação (SEBRAE, 2008).

Classificação		Produto	Matéria-Prima								Moagem via úmida	Moagem via seca	Processo de				Temperatura de Queima (°C)					
Grupo/Setor	Tipo de Grupo/Setor		Plástica		Não plástica								Extrusão	Tornearia	Prensagem	Colagem	800	900	1.000	1.100	1.200	> 1.200
			Argila	Argila (queima branca)	Caulim	Feldspato	Filito	Talco	Calcário	Quartzo												
Cerâmica silicática de base argilosa (ou tradicional)	1	Cerâmica Vermelha	Blocos, lajes	P									P									
			Telha	P				O					P	P								
			Agregado leve	P							O		P									
	2	Cerâmica Branca	Grés Sanitário		P	S	P	P	O		S	O	P									
			Porcelana Mesa		P	P	P				P		P		S	S		O				
			Porcelana Elétrica		P	P	P				P		P		S	S		O				
			Faiança		P	O	S	S	S	P	S		P						P			
	3	Revestimentos	Pisos Rústicos	P								O		P								
			Pisos via Seca	P									P			P						
			Azulejo		P	P			O	S	S		P			P						
			Piso Gresificado	O	P	S	S	P	O		S		P		O	P						
			Grés Porcelânico		P	S	P		O		S	O	P			P						
	Outros	4	Refratários			O					O	P										
		5	Isolantes				O				O	P										
		6	Especiais								O	P										
7		Cimento	P						P	S	O	P										
8		Vidro							S	P	P											
P = Processo ou composição principal (> 20%)			S = Processo ou composição secundária (< 10%)								O = Processo ou composição ocasional											

O segmento de cerâmica vermelha ou estrutural compreende ampla variedade de produtos de baixo custo, utilizados principalmente na construção civil, tais como telhas, blocos cerâmicos (tijolos e lajotas) e tubos cerâmicos (manilhas), agregados leves, além de cerâmicas diversas para fins ornamentais, culinários e outros.

No que se refere à matéria-prima, o setor de cerâmica vermelha, em Campos dos Goytacazes (RJ), utiliza na sua base somente argila comum (SOUZA, 2003), e pode ser

denominada de simples ou natural. A massa ideal é obtida, em geral, com base na experiência acumulada, visando uma composição ideal de plasticidade e fusibilidade, facilitando o manuseio e propiciando resistência mecânica durante a queima. De acordo com a Associação Brasileira de Cerâmica - ABC (2011) a preparação da massa é feita, geralmente, por meio da mistura de uma argila gorda (de alta plasticidade, granulometria fina, e composição essencialmente de argilominerais) com uma argila magra (rica em quartzo e menos plástica, podendo ser caracterizada também como um material redutor de plasticidade).

2.3 Panorama atual

O setor ceramista possui forte conotação social por ser uma atividade empregadora que apresenta alta relação entre mão de obra ocupada e faturamento bruto (SILVESTRE, 2001). Souza (2003) relata que a indústria de cerâmica nacional abrangendo os setores de cerâmica vermelha, cerâmica branca e revestimentos, tinha um faturamento médio anual de US\$ 5 bilhões em 2003, representando aproximadamente 1% do PIB do Brasil. Portanto, considera-se um setor de grande relevância nacional.

Segundo a Associação Nacional da Indústria Cerâmica (2011), no Brasil, existem aproximadamente cerca de 7.431 cerâmicas e olarias, sendo que 63% fabricam tijolos e blocos, 36% telhas e 1% tubos. As fábricas de tijolos e blocos são responsáveis por produzir cerca de 4 bilhões de peças/mês, consumindo aproximadamente 7.800.000 ton/mês de argila. Já as fábricas produtoras de telhas são responsáveis por produzir mais de 1 bilhão de peças/mês, com um consumo de 2.500 ton/mês de argila e, as fábricas de tubos produzem em média cerca de 325,5 km peças/mês. A distribuição da mão de obra ocupada é formada por 293 mil empregos diretos, 1,25 milhões de empregos indiretos e um faturamento anual de R\$ 6 bilhões (4,8% do faturamento da indústria de construção civil).

O mercado nacional de cerâmica vermelha carece de informações exatas, que proporcionariam maior capacidade de avaliação e de realização de ações adequadas ao desenvolvimento do setor. Os dados verificados no site da Associação Brasileira de Cerâmica encontram-se desatualizados. Portanto, não há como comparar com as informações coletadas pela Associação Nacional da Indústria Cerâmica. Entretanto, os

dados disponíveis publicados pela ANICER oferecem uma ordem de grandeza sobre o segmento, além de um acompanhamento sobre a evolução do mesmo.

2.4 Indústria de cerâmica vermelha em Campos dos Goytacazes

No município de Campos dos Goytacazes localizam-se cerca de 80 micro e pequena empresas atuando no ramo de cerâmica vermelha, que emprega em torno de 4.000 funcionários registrados, estando em curso o desenvolvimento do Arranjo Produtivo de Cerâmica Vermelha (PITHON et al, 2006). Sua produção limita-se a lajotas para lajes, tijolos para vedação, telhas, placas para revestimento aparente e tijolos maciços entre outros ornamentos.

A localização é privilegiada para a produção da cerâmica vermelha, pois o município de Campos, com 4.032 km² de extensão, caracteriza-se pela abundância de reserva de materiais argilosos. Denomina-se argila ao conjunto de minerais, compostos principalmente de silicatos de alumínio hidratados, ferro e alumínio que possuem a propriedade de formarem com a água uma pasta plástica suscetível de conservar a forma moldada, secar e endurecer sob a ação do calor. Grande parcela da produção é iniciada a partir da necessidade do cliente, porém nem todas as empresas da região adotam essa postura.

Estudos realizados por Vieira (2001) mostram que os depósitos de argila da região de Campos/RJ perdurarão por mais 180 anos para uso em atividades de cerâmica vermelha.

Por causa da grande diversidade de minerais encontradas nas argilas, é impossível que haja duas jazidas rigorosamente iguais. Às vezes, podem-se encontrar grandes diferenças de composição dentro de uma mesma jazida. Essa diferença de composição interfere nas características técnicas e estéticas das peças ocasionando em perda da qualidade. Isso poderia ser solucionado com o uso da tecnologia do gás natural como combustível, substituindo a lenha no processo térmico das peças cerâmicas. O gás uniformiza a queima, podendo ainda agregar valor, isto é, produzir telhas e blocos estruturais, contribuindo também com a diminuição do impacto ambiental gerado pelo corte da madeira e pela produção de carvão oriundo da queima da madeira.

CAPÍTULO 3

SIMULAÇÃO DE SISTEMAS

Este capítulo tem como finalidade apresentar uma revisão bibliográfica a respeito da simulação computacional e sua relevância. Apresentam-se as definições de sistema, modelo e simulação, assim como suas classificações. Ainda neste capítulo faz-se a apresentação de algumas metodologias para uma implementação bem sucedida da simulação, dos conceitos de mapeamento de processo e finalmente discute-se a construção e validação de um modelo.

A modelagem de sistemas utilizando a simulação computacional tem se tornado um grande aliado para o trabalho de melhoria da qualidade e gerenciamento da produção. A utilização dessa técnica possibilita a visualização do funcionamento da produção, facilitando aos especialistas a tomada de decisão.

A simulação tem a vantagem de obter um tempo de resposta mais rápido e mais seguro, entretanto requer o esforço de especialistas na modelagem correta do sistema. A maior dificuldade está no desenvolvimento do projeto e no tempo gasto para chegar-se a um modelo que satisfaça a necessidade do usuário. Essa técnica necessita mais do que a

utilização de programas computacionais. Além disso, é preciso ter conhecimento na elaboração do projeto, bem como de cada etapa que compõe o projeto.

No projeto, o objetivo é estudar um sistema. Esse estudo envolve sua modelagem e a análise dos dados amostrais. Para que seja possível atribuir experimentos ao modelo elaborado, utiliza-se a simulação computacional. A partir dos resultados dos experimentos, pode-se alterar o modelo original do sistema e propor melhorias a serem implantadas.

Os conceitos de modelagem e simulação apresentados nas próximas seções fornecem base para entender o que é um modelo e sua importância, bem como a simulação de sistemas.

3.1 Sistemas

Para se elaborar um projeto envolvendo simulação, faz-se necessário classificar claramente o que vem a ser um sistema, pois com base nessa definição é possível identificar quais as informações deverão ser abstraídas e serão relevantes ao estudo. Law e Kelton (2000) afirmam que um sistema é definido por ser uma coleção de entidades, isto é, pessoas ou máquinas que atuam e interagem juntamente para o cumprimento de alguma lógica final.

De acordo com Kelton *et al.* (2002) um sistema é um mecanismo ou processo, real ou planejado, tão diverso como: uma fábrica com máquinas, pessoas, equipamentos de transporte, correias transportadoras e espaço de armazenamento; um banco ou outra operação com serviços personalizados, com diferentes tipos de clientes, serviços e instalações como atendimento em caixas, terminais automáticos, balcões de empréstimo e caixas para depósitos; uma rede de distribuição, armazéns e ligações de transporte; uma instalação de emergência de um hospital, incluindo pessoal, salas, equipamentos, suprimentos e transporte de pacientes; um campo de operação de serviço para aparelhos ou equipamentos de escritório, com potenciais clientes espalhados por uma área geográfica, técnicos de serviço com qualificações diferentes, caminhões com diferentes peças e ferramentas, com somente um depósito e expedição central; uma rede de computadores com servidores, clientes, unidades de disco, impressoras, acesso limitado à internet e operadores; um sistema rodoviário de segmentos de auto-estrada,

intercâmbios, controles e tráfego; um escritório central de crédito seguro onde um monte de papelada é recebido, revisado, copiado, arquivado, e armazenados por pessoas em e-mails ou máquinas; um sistema de justiça criminal dos tribunais, juízes, funcionários de apoio, funcionários da justiça, agentes da condicional, réus, autores, pessoas condenadas por crimes e escala de horários; uma fábrica de produtos químicos com tanques de armazenamento, dutos, reatores de navios e vagões que distribui o produto acabado; um restaurante *fast-food* com diferentes funcionários, clientes, equipamentos e abastecimento; um supermercado com controle de estoque, caixas e serviços ao cliente; um parque temático com passeios, lojas, restaurantes, funcionários, visitantes e muitos brinquedos; e, a resposta do pessoal da emergência para a ocorrência de um evento catastrófico.

Um sistema é qualquer ambiente ou circunstância no que é possível identificar algum tipo de ação a fim de que todos os envolvidos nesse cenário contribuam direta ou indiretamente para uma finalidade. O estudo de um sistema nem sempre envolve o macro-sistema, em alguns casos é relevante somente parte de um todo, na qual se define um subsistema. Por exemplo, ao estudar o desempenho dos funcionários dos caixas de um banco, não é necessário analisar todas as atividades do sistema do banco, mas aquelas que influenciam no desempenho do processo, tais como recursos disponíveis para cada funcionário, ambiente apropriado de trabalho, experiência dos funcionários, dentre outras.

Segundo Law e Kelton (2000) existem várias formas de abordagem no estudo de sistemas, conforme a Figura 3.1.

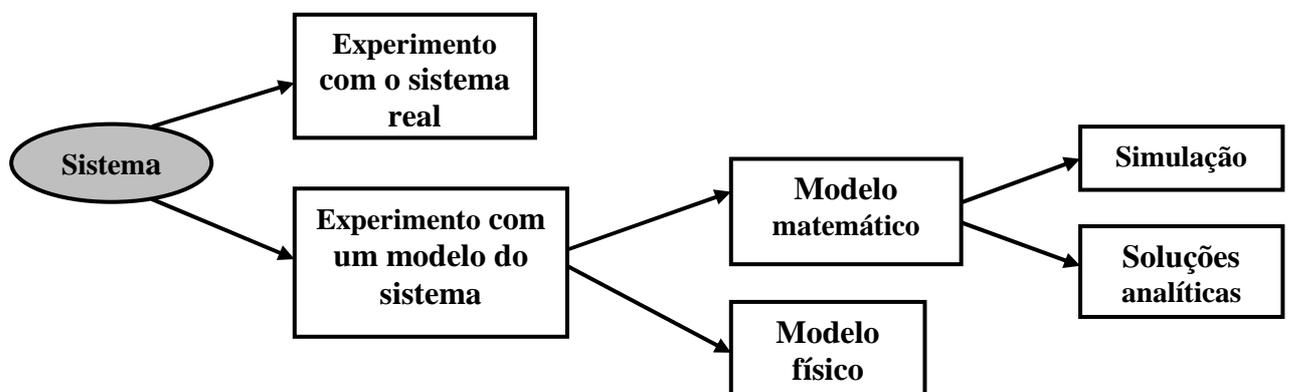


Figura 3.1: Formas de estudar um sistema (Law e Kelton, 2000).

Conforme mostra a Figura 3.1, o sistema pode ser estudado com experimentos no próprio sistema físico ou através de um modelo que simule o sistema. Essa alternativa de estudo de sistemas é feita através da modelagem utilizando um mecanismo que facilite a compreensão do sistema real. Nas próximas sessões é possível entender melhor o estudo sobre modelos.

3.2 Modelos

Modelos consistem em conjuntos de elementos que descrevem alguma realidade física, abstrata ou hipotética (MELLOR *et al.*, 2005). Os modelos físicos são representações do sistema real por meio de protótipos ou uma reprodução análoga do sistema no formato de maquete. Nos modelos abstratos, também conhecidos como modelos conceituais, a representação é feita por meio de modelos matemáticos, modelos descritivos, modelos estatísticos, modelos de simulação ou modelos gráficos. Os modelos hipotéticos são modelos de sistemas que não existem fisicamente, entretanto podem ser elaborados com base em outros modelos que já foram implementados. Esse tipo de modelo pode ser aplicado quando se quer analisar a capacidade estrutural do local onde será implantado o sistema quando ainda não há nenhuma estrutura física, bem como estudar o layout no qual o sistema será arquitetado. A diferença entre o modelo físico e o modelo hipotético é que no modelo físico o sistema já existe e no modelo hipotético ainda só é possível ter um projeto de como o sistema será construído.

Um modelo deve conter informações necessárias para o entendimento dos analistas, da forma mais clara e objetiva possível, omitindo informações irrelevantes. Contudo, a falta de dados no modelo pode trazer um resultado inconsistente. Em contrapartida o excesso de dados acarreta em um modelo complexo de difícil análise. A modelagem de sistemas é uma tarefa difícil de ser alcançada, pois sistemas reais comumente não são simples e modelos simples, geralmente, não refletem o sistema real.

Existem várias formas de modelagem e um modelo particular pode ser formulado em diversas linguagens específicas de domínio (do inglês domain specific language (DSL)). Por exemplo, um modelo físico pode ser representado por um modelo computacional equivalente e analisado por especialistas de domínios (especialidades) diferentes, contudo obtendo os mesmos resultados. Na Figura 3.2 e Figura 3.3 mostram-se exemplos de modelos.

$$\text{Min } \sum_i \sum_j C_{ij} \cdot X_{ij} + Y_{ij} \cdot P_{ij} \quad (1)$$

s.a

$$\sum_{i,j} T_j \cdot X_{ij} \geq D \quad (2)$$

$$X_{ij} \geq Q \cdot Y_k \quad \forall i, j \quad (3)$$

$$X_{ij} \leq G \cdot Y_k \quad \forall i, j \quad (4)$$

$$Y_{ij} \in \{0,1\}, X_{ij} \geq 0 \quad \forall i, j \quad (5)$$

Figura 3.2: Modelo matemático (Toso *et al.*, 2009).

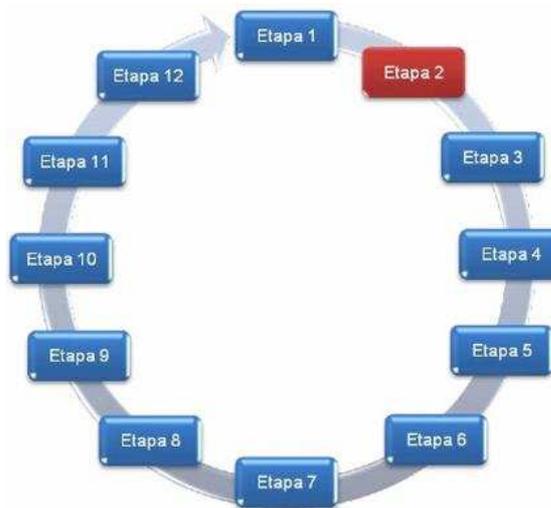


Figura 3.3: Diagrama Referencial Linear/Sistêmico – DRLS (Jung *et al.*, 2009).

3.2.1 Etapas de modelagem de um sistema

Para se desenvolver um sistema é necessário ter pelo menos conhecimento básico, porém estratégico, de alguns passos que fazem parte da elaboração de qualquer sistema. De acordo com Freitas Filho (2001), quatro etapas são importantes para que um sistema possa ser bem modelado.

3.2.1.1 Etapa de planejamento

- **Formulação e Análise do Problema:** O objetivo é entender o problema e definir o propósito que se deseja alcançar no estudo, definir a motivação do estudo e analisar os possíveis riscos bem como restrições e limites do problema.

- **Planejamento do Projeto:** Nesse momento procura-se viabilizar recursos pertinentes ao projeto no tocante ao número de funcionários, recursos tecnológicos e custos afins. É necessário elaborar um cronograma de atividades e descrever os vários cenários que serão investigados.
- **Formulação do Modelo Conceitual:** É a abstração do sistema real em uma determinada forma de modelagem. Devem ser estabelecidos como os dados deverão ser incluídos no modelo, a estratégia de modelagem (modelo matemático, por exemplo) e o nível de abstração. Para que se possa obter um modelo o mais próximo da realidade, o usuário deve participar constantemente dessa etapa.
- **Coleta de Macro-Informações:** Qualquer informação, fato ou estatística que seja fundamental na contribuição para o estudo da coleta de dados.

3.2.1.2 Etapa de modelagem

- **Coleta de Dados:** A partir da coleta de macro-informações, os dados serão selecionados de forma específica e utilizados no modelo. Essa etapa deve ser analisada cuidadosamente por ter um alto grau de importância. O modelo conceitual pode estar bem formulado, porém, se for introduzido no modelo os dados errados haverá uma inconsistência na inferência dos resultados.
- **Tradução do Modelo:** É o mapeamento do modelo conceitual para uma linguagem de programação ou de simulação específica. O maior problema enfrentado atualmente é a falta de documentação dos modelos mapeados. Na maioria das vezes o responsável por traduzir esse modelo não documenta todos os passos efetuados no mapeamento, acarretando num alto grau de complexidade do modelo traduzido, dificultando outros analistas a entender o que foi feito. Nesse caso, é necessário o conhecimento tácito do responsável pela tradução do modelo para que se possa posteriormente atualizar o modelo mapeado.
- **Verificação e Validação:** Após o modelo estar devidamente traduzido em uma linguagem específica, é necessário analisar dois pontos: (i) o modelo deve ser verificado tanto na sua sintaxe quanto a sua semântica. Na maioria das vezes são utilizados testes com programas computacionais a fim de detectar erros de sintaxe; (ii) o modelo deve ser validado por meio da análise e comparação dos resultados gerados com o sistema real. Segundo Freitas Filho (2001), a qualidade e a

validade de um modelo são medidas pela proximidade entre os resultados obtidos pelo modelo e aqueles originados do sistema real. Como no ambiente real as variáveis de entrada do modelo são do tipo estocástico (aleatórias), torna-se dificultoso avaliar o modelo com variáveis desse tipo. Uma forma de avaliação do modelo é a utilização de variáveis determinísticas. Dessa forma, sabe-se a quantidade de entidades que entram no sistema bem como o tempo em que elas chegam.

As etapas de verificação e validação são extremamente importantes, pois a partir delas é que serão feitos os experimentos do estudo.

Assim, na Figura 3.4 o fluxograma mostra os estágios aos que um modelo pode estar vinculado.

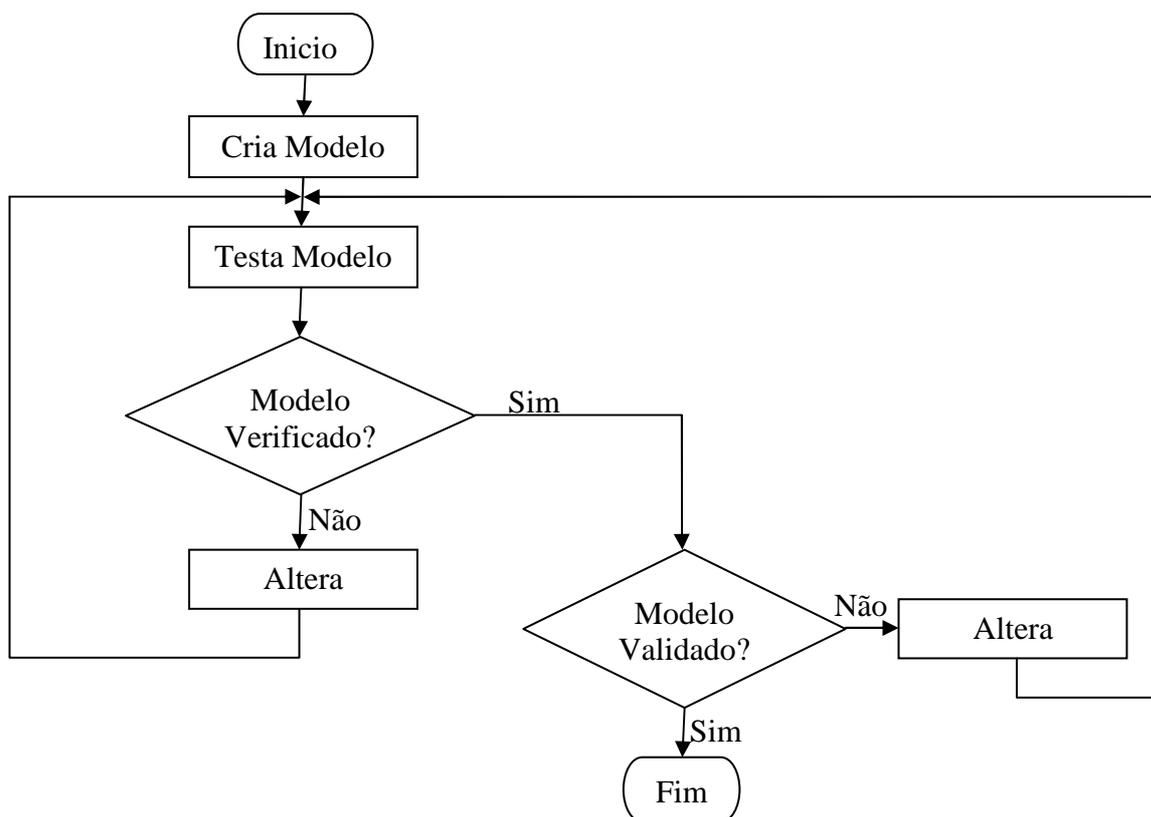


Figura 3.4: Fluxograma das etapas de verificação e validação do modelo computacional.

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2.1.3 Etapa de experimentação

- Projeto Experimental Final: Consiste em elaborar um conjunto de experimentações que retornem informações satisfatórias com o menor número de experimentos

possíveis. Define-se a melhor estratégia de experimentação que traga resultados melhores.

- Experimentação: É a execução do modelo para a obtenção dos resultados e a realização de experimentos pode meio da análise de sensibilidade.
- Interpretação e Análise Estatística dos Resultados: A partir de inferências sobre os resultados alcançados da execução do modelo, será possível analisar os dados e estimar o desempenho do sistema. De acordo com as análises, pode haver a necessidade de várias replicações na execução do modelo a fim de se obter maior precisão estatística dos resultados esperados.

3.2.1.4 Tomada de decisão e conclusão do projeto

- Comparação de Sistemas e Identificação das melhores soluções: Desenvolvidos diversos cenários de modelagem é possível analisar qual o modelo que se adéqua ao problema com maior eficiência, ou, se houver apenas um modelo desenvolvido pela equipe do projeto, pode-se também comparar com outro sistema já existente.
- Documentação: Consiste em detalhar formalmente todos os passos percorridos durante o desenvolvimento do projeto. Isso ajudará na elaboração de novos projetos que poderão utilizar as experiências obtidas no sistema que está sendo desenvolvido, e contribuir para o aperfeiçoamento do sistema, caso haja a necessidade de mudanças no futuro. Por meio da documentação do projeto é possível posteriormente realizar a comparação de sistemas e identificar melhores soluções.
- Apresentação dos Resultados e Implementação: Por fim, apresenta-se uma breve descrição das atividades executadas durante o projeto, bem como os resultados alcançados e sua precisão, a confirmação dos objetivos estabelecidos e medidas que poderiam vir a melhorar o sistema no futuro, se houver.

3.2.2 Análise do ciclo de vida do modelo do sistema de simulação

Qualquer sistema estará sujeito a manutenções. Essas manutenções ocorrem quando se deseja aperfeiçoar o sistema, implantar um novo recurso ou quando há alguma falha de execução. Por esse motivo é importante ressaltar que toda alteração no projeto

seja documentada para facilitar o entendimento dos analistas. O modelo da Figura 3.5 mostra o ciclo de vida de um projeto de sistemas.

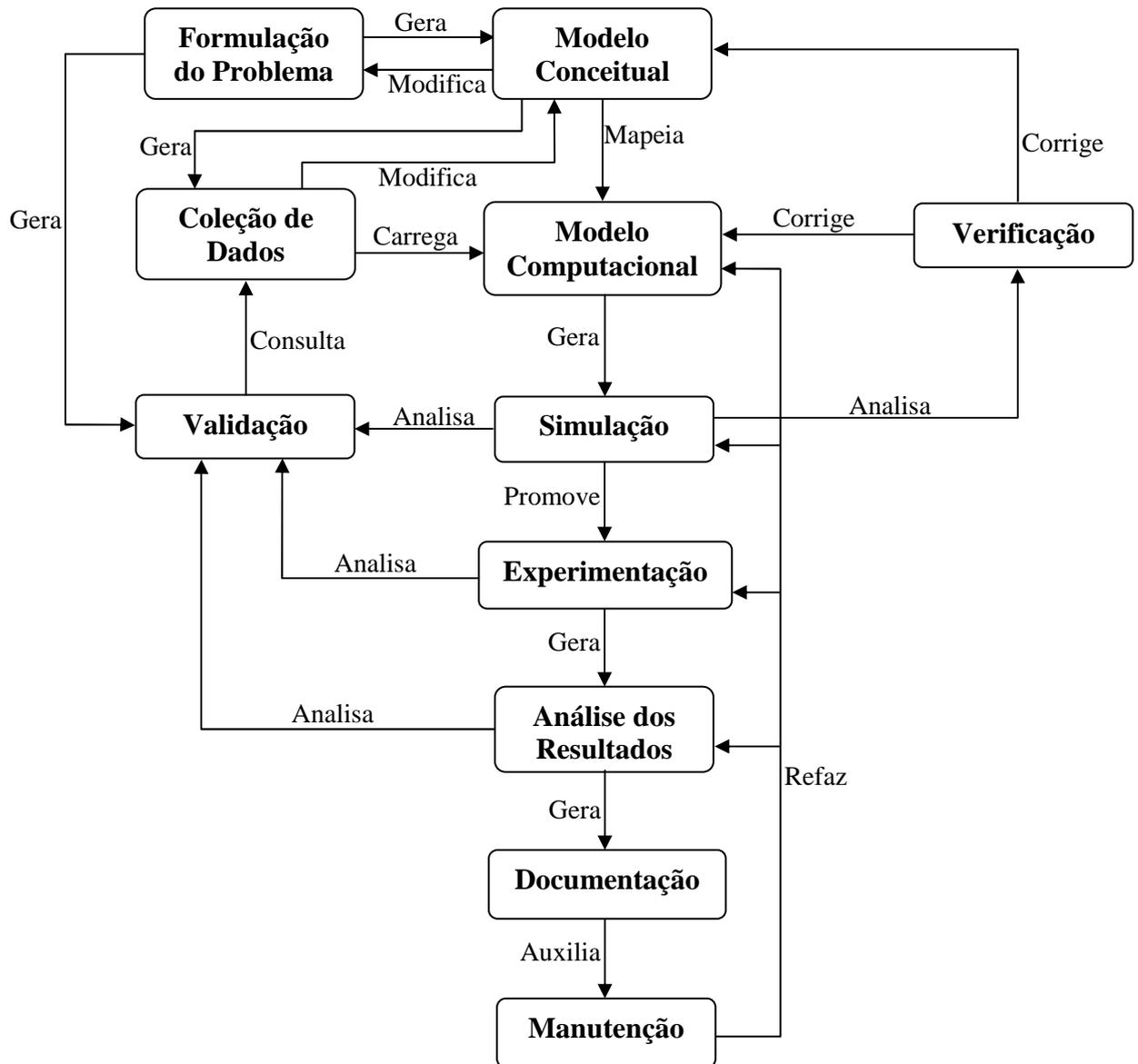


Figura 3.5: Modelo do ciclo de vida de um projeto de sistemas.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 3.5 observa-se que no modelo cada estágio do projeto precisa estar bem definido para que o modelo não possua erros na verificação e posteriormente na validação. Os dados necessários para verificar se o modelo segue a lógica esperada para o sistema são fornecidos no início do ciclo de vida, onde está a formulação do problema. Se houver algum erro de sintaxe na simulação, o mesmo será reportado novamente para a verificação do modelo.

Analogamente, os dados necessários para validar o modelo são definidos na formulação do problema e armazenados em uma coleção de dados para que o modelo conceitual e o modelo específico de domínio possam capturar essas informações. Além disso, no processo de validação do projeto os dados gerados pela simulação, experimentação e análise dos resultados são enviados para serem validados e então armazenados na coleção de dados. É necessário agrupar essas informações em um bloco, pois o sistema comumente sofre alterações devido a alguma necessidade particular. Portanto, sempre que houver manutenção no sistema, essas informações serão atualizadas na coleção de dados.

3.2.3 Metamodelos

Definidos os conceitos de modelo, é possível um melhor entendimento do que seja modelos de modelos ou modelos da linguagem de modelagem ou ainda mais específico, metamodelos.

A palavra “meta” tem origem grega e significa “depois de” ou “além de”. Portanto a junção das palavras meta e modelo dá origem a algo do tipo “depois do modelo”, o que é bastante interessante para a definição de metamodelo. Um metamodelo nada mais é do que um modelo que descreve outro modelo. Ele define a estrutura, a semântica e as restrições para um conjunto de modelos que possuem propriedades comuns. Os metamodelos especificam os conceitos da linguagem de modelagem escolhida pelo analista para criar o modelo do sistema. Na Figura 3.6 tem-se um exemplo de um metamodelo da UML:

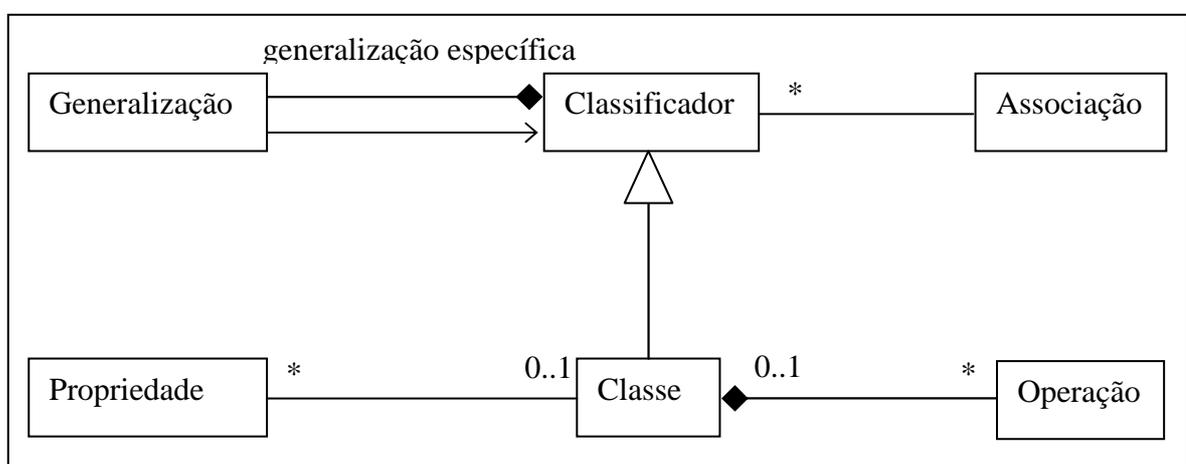


Figura 3.6: Extrato do metamodelo UML (Mellor *et al.*, 2005).

As classes do metamodelo capturam o conceito de Classe, Propriedade, Operação e outros itens que são usados para construir um modelo em uma determinada linguagem de modelagem, nesse caso, modelos UML. Uma linguagem é definida por um metamodelo e uma notação.

Um exemplo observado na UML acontece quando se deseja representar um modelo qualquer, onde um retângulo (notação) é desenhado para denotar um elemento (classe), que possui propriedades (atributos). Para tal, são criadas instâncias de “Classe” para cada elemento, associado com os nomes dos elementos especificados pelo analista e, instâncias de “Propriedade” para cada propriedade que também é associada com os nomes definidos pelo analista. Da mesma forma ocorre quando é criada uma linha para relacionar uma classe com outra. Em todos os aspectos, o que ocorre é a utilização da linguagem de modelagem da UML para capturar o modelo segundo as definições presentes no metamodelo da UML.

3.3 Mapeamento de processos

Segundo Villela (2000) o mapeamento de processos é uma ferramenta gerencial analítica e de comunicação que tem como objetivo ajudar a melhorar os processos existentes ou de implantar uma nova estrutura voltada para processos. Busca entender os processos de negócios existentes ou futuros, a fim de proporcionar uma maior satisfação do cliente e melhor desempenho de negócios.

A sua análise estruturada permite, ainda, a redução de custos no desenvolvimento de produtos e serviços, a redução nas falhas de integração entre sistemas e melhora do desempenho da organização, além de ser uma excelente ferramenta para possibilitar o melhor entendimento dos processos atuais e eliminar ou simplificar aqueles que necessitam de mudanças (HUNT, 1996).

O mapeamento dar-se por meio de blocos lógicos interligados, que seguem uma sequência lógica, como fluxogramas e textos de apoio, onde cada passo é detalhado a fim de auxiliar nos processos de negócio. Porém, o mapeamento de processos teve suas origens em uma variedade de áreas, sendo que, a origem da maioria das técnicas como o diagrama de fluxo, diagrama de cadeia, diagrama de movimento, gráficos de atividades

múltiplas e os gráficos de processo podem ser atribuídas a Taylor (JOHANSSON *et al.*, 1995).

A modelagem de processos permite descobrir os componentes essenciais e sensíveis em que as melhorias farão diferença, pois, a utilização de ferramentas tecnológicas apropriadas permite que o processo seja mudado no espaço ou no tempo, capacitando a organização a operar mudanças rapidamente auxiliadas por modelos simulados em computador e pela engenharia dos processos de negócio (PIDD, 1998).

De acordo com Villela (2000), os processos estão inseridos em diferentes níveis de hierarquia, onde cada um pode ser detalhado da seguinte forma:

- **Macroprocesso:** Processo que envolve mais de uma função na estrutura organizacional, e a sua operação tem um impacto significativo no modo como a organização funciona.
- **Processo:** Conjunto de atividades sequenciais (conectadas) relacionadas e lógicas que tomam um *input* do fornecedor, agregam valor ao produto e entregam um *output* para um cliente.
- **Subprocessos:** Uma parte interrelacionada de forma lógica com outro subprocesso, realizando um objetivo específico em apoio ao macroprocesso e contribui para o objetivo deste.
- **Atividades:** São elementos do processo ou subprocesso. Geralmente são desempenhadas por uma unidade (pessoa ou departamento) para produzir um determinado resultado.
- **Tarefa:** Constitui o micro enfoque do processo, podendo ser um único elemento ou um subconjunto de uma atividade.

3.4 Simulação

Segundo Kelton *et al.* (2002) a simulação refere-se a uma ampla coleção de métodos e aplicações para imitar o comportamento do sistema real, por meio de um computador com um software apropriado. Atualmente é uma das ferramentas mais adotadas no auxílio à tomada de decisão em processos produtivos e para análise da estrutura de sistemas através da modelagem computacional.

A simulação de processos tem evoluído constantemente nas últimas décadas, pois à medida que os avanços das tecnologias de hardware e software crescem, é possível formular modelos mais específicos com maiores detalhes e operações complexas através de representações gráficas relativamente simples e gerar resultados mais consistentes e com menor tempo de resposta.

Um processo é definido como uma ordenação específica de atividades de trabalho através do tempo e do espaço, com um início, um fim e um conjunto de entradas e saídas claramente definidas (DAVENPORT, 2000). De acordo com Harrington (1993), processo define-se como um grupo de tarefas interligadas logicamente, que utilizam os recursos da organização a fim de gerar resultados pontuais, de forma a apoiar os seus objetivos.

Uma alternativa para se analisar processos é através da modelagem do sistema em uma linguagem específica. O modelo deve ser expresso de forma a representar o sistema real para que através dele possam ser estudados o comportamento do sistema e traçar métodos estratégicos de melhoria.

De acordo com Law e Kelton (2000), os modelos de simulação estão divididos em três diferentes dimensões:

- **Estático ou Dinâmico:** um modelo de simulação estático é uma representação de um sistema em um determinado ponto específico, ou pode ser usado para representar um sistema em que o tempo simplesmente não desempenha nenhum papel importante. Por exemplo, modelos de simulação de Monte Carlo. Por outro lado, um modelo de simulação dinâmico representa um sistema que evolui ao longo do tempo, assim como um sistema de transporte em uma fábrica.
- **Determinístico ou Estocástico:** se um modelo de simulação não contém nenhum componente probabilístico, então é chamado determinístico. Nesse tipo de modelo as variáveis de entrada assumem valores exatos, assim, os resultados da simulação serão sempre iguais, independentemente do número de replicações. Os modelos estocásticos permitem que as variáveis de entrada assumam diversos valores dentro de uma distribuição de probabilidades a ser definida pelo modelador. Os resultados gerados pelos modelos estocásticos são diferentes a

cada replicação, em função da natureza aleatória das variáveis de entrada no modelo.

- **Contínuo ou Discreto:** um modelo contínuo caracteriza-se por mudanças do estado das variáveis de forma contínua ao longo do tempo, enquanto que no modelo discreto o estado das variáveis mudam instantaneamente em pontos aleatórios no tempo.

Por meio da simulação realiza-se uma imitação do funcionamento do modelo real, viabilizando a análise do comportamento do fluxo de produção através de alguns dados, tais como recursos necessários para a produção e tempos da produção.

Comumente, trabalhar com o sistema real é dispendioso, pois qualquer falha poderá acarretar em perdas significativas. Nesse ponto a modelagem de sistemas utilizando a simulação tem a finalidade de promover resultados semelhantes ao sistema real sem a necessidade de intervenção das atividades do sistema real, com maior confiabilidade e maior velocidade de resposta em tempo de execução.

Meirelles *et al.* (2008) mostram as principais finalidades da modelagem de processos: uniformização do entendimento da forma de trabalho, gerando integração; análise e melhoria do fluxo de informações; explicitação do conhecimento sobre os processos, armazenando, assim, o know-how organizacional; realização de análises organizacionais e de indicadores (processos, financeiros e outros); realização de simulações, apoiando tomada de decisões; e gestão da organização.

Em geral os modelos de simulação devem conter uma entrada na qual as entidades chegam ao sistema, um ou mais recursos de atendimento e uma saída. A Figura 3.7 ilustra esse conceito.

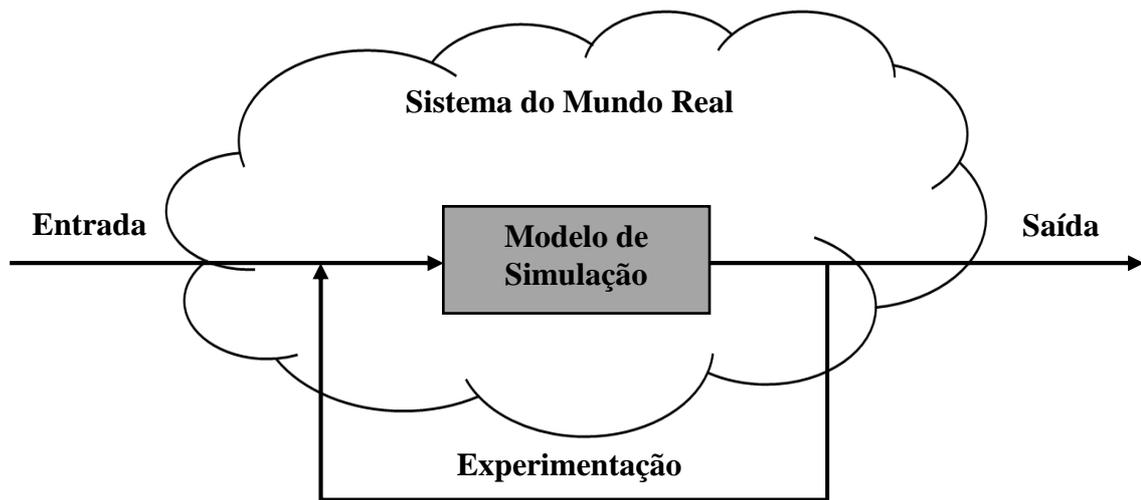


Figura 3.7: Representação esquemática de um modelo de sistema (Freitas Filho, 2001).

Para cada uma das etapas associa-se um tempo médio. Esses tempos são definidos a partir de uma amostra de dados que são posteriormente tratados para verificar seu comportamento (média, desvio padrão e distribuição teórica). A partir da definição dos tempos e do modelo pronto, a próxima etapa é avaliar o desempenho do modelo computacional. Uma das técnicas de medidas de desempenho e avaliação é a teoria das filas. O objetivo dessa técnica é avaliar as medidas de desempenho do sistema: tempo de espera médio, probabilidade de formação de fila, porcentagem de entidades rejeitada pelo sistema, a probabilidade de uma entidade esperar mais do que certo tempo, número médio de entidades na fila, probabilidade de que todos os servidores estejam ociosos, dentre outros.

3.4.1 Evolução da Simulação

Há muito tempo observou-se que é necessário utilizar métodos que auxiliassem os analistas nas tomadas de decisões em seus projetos, pois, atribuir testes intuitivos ao sistema real muitas vezes causava grandes perdas.

Antes do surgimento dos computadores, havia uma solução adotada baseada em um método simples, divulgado logo após a segunda grande guerra, Método de Monte Carlo (MMC). A origem do MMC deve-se a revisão de uma técnica matemática, conhecida desde o século passado, durante o trabalho secreto dos cientistas envolvidos no projeto “*Manhattan*” em Los Alamos, EUA, para o desenvolvimento da bomba atômica dos aliados durante a segunda guerra mundial (FREITAS FILHO, 2001). Esse método

proporcionou a solução de problemas matemáticos probabilísticos através da simulação de um processo estocástico.

Com o advento dos primeiros computadores, no início da década de 50, o conceito do Método de Monte Carlo foi estendido para solução de problemas probabilísticos de caráter mais geral, como é o caso das filas de espera (GAVIRA, 2003). Deu-se então a origem da simulação de Monte Carlo. Na aplicação dessa técnica, os dados são artificialmente gerados empregando-se um gerador de números aleatórios (GNA) e uma distribuição de frequência da variável de interesse.

Nas décadas de 60 e 70 a simulação era excessivamente cara e utilizava ferramentas que geralmente só eram disponíveis em grandes corporações. Era necessária mão de obra especializada para a construção e execução de modelos devido o alto grau de complexidade, exigindo um conhecimento fora dos padrões em que se observava em usuários comuns. O grupo que trabalhava em simulação geralmente era composto por pesquisadores que desenvolviam sistemas grandes e complexos utilizando as linguagens disponíveis na época, tais como o FORTRAN.

Com o desenvolvimento da computação gráfica, nos finais da década de 70, os modelos começaram a incluir uma componente visual, tornando possível visualizar no computador a evolução dos seus vários elementos durante o decorrer da simulação. Essa componente gráfica, além de ter aproximado os modelos ao que acontecia na realidade, permitiu ainda começar a modelar sistemas cada vez mais complexos, como redes de trânsito, sistemas de armazenagem, sistemas ferroviários e outros, podendo o analista visualmente verificar, durante o próprio processo de simulação, os efeitos de determinadas ações levadas a cabo sobre o modelo.

Em meados da década de 80 os computadores foram tornando-se mais rápidos e mais baratos. Nessa época, por exemplo, as linhas de montagens de carros passaram a utilizar a simulação para resolver problemas tais como de segurança e otimização da linha. Nessa mesma época, a simulação começou a ser utilizada em negócios e por estudantes e pesquisadores que descobriram seu potencial.

No final da década de 80 o valor da simulação foi reconhecido por muitas organizações. Tanto, que várias delas fizeram da simulação um requisito para que investimentos grandes pudessem ser aprovados. No entanto, organizações pequenas raramente utilizavam essa técnica.

Nos anos 90 a simulação atingiu um grau de maturidade suficiente para que seja adotada por organizações de variadas áreas e diferentes portes. É utilizada em estágios iniciais de projetos, em animações, pesquisa, entre outros. Com o surgimento de linguagens de Programação Orientadas a Objetos (POO), passou a incluir conceitos de hierarquia de classes, de encapsulamento, de polimorfismo, etc., tornando-se mais fácil estruturar e conceber modelos cada vez mais complexos.

Essa conquista possibilitou-se principalmente ao avanço tecnológico dos softwares voltados para a simulação e fáceis de usar, e pelo avanço do hardware proporcionando maior disponibilidade de computadores mais rápidos e baratos.

A Tabela 3.1 mostra a evolução da simulação desde a década de 50 até os dias atuais.

Tabela 3.1: Evolução da simulação (Adaptado de Gavira (2003))

Anos	Ferramenta	Características do estudo de simulação	Resultados
50 e 60	Linguagens de propósito geral	Aplicação em grandes corporações; Grupos de desenvolvimento de modelos com 6 a 12 pessoas; Geram programas a serem executados em grandes computadores; Grandes investimentos em capital; Aplicáveis a qualquer contexto; Exigem conhecimento profundo da linguagem; Exigem muito tempo de desenvolvimento; Não são totalmente reutilizáveis.	FORTRAN, PASCAL e C
70 e início dos 80	Linguagens de simulação	Utilização em um maior número de corporações; Desenvolvimento e uso dos pacotes de linguagens; Surgem linguagens de simulação baseadas em <i>System Dynamics</i> ; Comandos projetados para tratar lógica de filas e demais fenômenos comuns; Mais amigáveis, mas ainda requerem programador especializado.	SIMSCRIPT, GPSS, GASP IV, DYNAMO, SIMAN e SLAM
80 e início dos 90	Simuladores de alto nível	Introdução do PC e da animação; Presença de guias, menus e caixas de diálogos; Simulação realizada antes do início da produção; Facilidade de uso; Menos flexível que as linguagens de propósito geral e de simulação; Projetados para permitir modelagem rápida; Dispõem de elementos específicos para representar filas, transportadores etc.; Restringem-se a sistemas de certos tipos.	Simfactory e Xcell
Após 90	Pacotes flexíveis de programas de simulação	Melhor animação e facilidade de uso; Fácil integração com outras linguagens de programação; Usada na fase de projeto; Grande uso em serviços; Uso para controle de sistemas reais; Grande integração com outros pacotes (base de dados e processadores de texto); Aprimoramento dos simuladores, o que permite modelagem rápida; Integram a flexibilidade das linguagens de simulação, com a facilidade de uso dos pacotes de simulação.	Witness, Extend, Arena, Stella, Simulink, ProModel for Windows

3.4.2 Vantagens e Desvantagens

A simulação computacional mostrou ser uma ferramenta de grande contribuição no desenvolvimento de sistemas e de auxílio para análise de problemas que não poderiam ser testados sem a ajuda desse mecanismo. Entretanto, existem algumas vantagens e desvantagens citadas por Saliby (1989), Banks *et al* (1996), Pegden *et al* (1995) Law e Kelton (2000) dentre outros. As vantagens observadas por eles são:

- Modelos mais realistas: maior liberdade na construção do modelo de simulação. A simulação não obriga a enquadrar um problema em determinado modelo padrão para que se possa obter uma solução, como ocorre, por exemplo, no caso da programação linear.

- Processo de modelagem evolutivo: inicia-se com um modelo simples e aumenta-se sua complexidade conforme o modelo vai ajustando-se com a realidade, identificando de maneira mais clara as peculiaridades do problema.
- Perguntas do tipo “e se?” (“what if?”): como na maioria dos projetos de simulação, em lugar da busca de uma solução, o objetivo resume-se em tornar mais claras as possíveis consequências por meio da análise de um conjunto de cenários. A partir do modelo original do sistema, pode verificar-se o que aconteceria se as variáveis do modelo fossem alteradas.
- Aplicação a problemas “mal-estruturados”: muitos problemas da vida real referem-se a situações em que dispomos apenas de um conhecimento parcial sobre suas variáveis ou relações. A simulação é uma das poucas ferramentas para o estudo desse tipo de problema.
- Facilidade de comunicação: um modelo de simulação é, em geral, mais fácil de ser compreendido do que soluções analíticas, por exemplo, processo estocástico.
- Soluções rápidas: como a evolução tanto do hardware quanto do software, hoje em dia é possível ter uma solução muitas vezes em poucos segundos. Para o alto nível de competitividade do mercado, esse é um diferencial que a simulação computacional propõe.
- Grande flexibilidade: possibilita a aplicação aos mais variados problemas.
- Aquisição de visão sistêmica: visão do efeito que alterações locais terão sobre o desempenho global de todo o sistema.
- Escolha correta: a simulação permite o teste de muitos aspectos de uma mudança, sem comprometer recursos.
- Compressão e expansão do tempo: para examinar o comportamento do sistema durante meses ou até anos.
- Exploração de possibilidades: uma vez desenvolvido um modelo de simulação válido, pode-se explorar novas políticas, procedimentos operacionais, arranjos físicos ou métodos sem perturbar o sistema real.
- Diagnóstico de problemas: a simulação leva a um melhor entendimento das interações entre as variáveis de sistemas complexos. A visualização e o diagnóstico de problemas são mais eficientes.

- Desenvolvimento de entendimento: estudos de simulação ajudam no entendimento dos componentes do sistema e de como ele realmente opera.
- Visualização de planos: utilizando-se a animação em uma simulação possibilita visualizar a operação de uma organização enquanto a simulação ocorre.
- Construção de consenso: o resultado de uma simulação, submetido a uma série de etapas de modelagem, teste, validação e representação visual, tem maior peso do que a opinião de uma única pessoa.
- Preparação para mudanças e análise de investimentos prudentes: como o custo das mudanças em um sistema é muito grande, a simulação é um investimento válido para analisar suas conseqüências.
- Treinamento de equipes: a equipe e seus membros podem aprender como trabalhar melhor através de erros e acertos realizados na simulação.

As desvantagens dessa técnica também são relacionadas pelos mesmos autores, descritas como:

- Construção de modelos requer conhecimento: para se construir um modelo é preciso que o analista possua conhecimento das técnicas de modelagem e simulação de sistemas. A técnica é aprendida e aperfeiçoada com o tempo e através da experiência.
- Análise errada dos resultados: os resultados da simulação podem ser difíceis de interpretar, pois geralmente as saídas da simulação são variáveis aleatórias.
- Alto custo: a modelagem e a análise da simulação podem ser dispendiosas em termos de recursos financeiros e de tempo.
- Uso inapropriado: pode ser usada inapropriadamente, por exemplo, quando uma solução analítica é factível.
- Os resultados da simulação podem ser de difícil implementação.
- Ferramentas apropriadas: a programação de um modelo de simulação pode tornar-se uma tarefa altamente dispendiosa e desgastante se os recursos computacionais não forem apropriados.

- Tempo de processamento e baixa precisão dos resultados: a baixa precisão dos seus resultados é o que faz da simulação um “último recurso”. Essa imprecisão é geralmente consequência do uso da amostragem.

3.5 O software ARENA

Neste estudo utiliza-se o software ARENA 7.0 na versão profissional. O ARENA é um ambiente gráfico integrado de simulação bastante utilizada na simulação de processos produtivos. Não é necessário escrever linhas de código no software ARENA, pois todo o processo de criação do modelo de simulação é gráfico e visual, de maneira integrada. Contém todos os recursos para modelagem de processos, desenho, animação, análise estatística e análise de resultados. Utilizando *templates* (cartuchos de customização), o software ARENA pode ser transformado facilmente em um simulador, específico para reengenharia, transporte de gás natural, manufatura, etc.

Em uma simulação, é construído um modelo lógico-matemático no formato de fluxograma que representa a dinâmica do sistema em estudo. Esse modelo normalmente incorpora valores para tempos, distâncias, recursos disponíveis.

Ao modelo são anexados dados sobre o sistema. Nesse ponto a simulação se diferencia dos métodos matemáticos, pois não são utilizados valores médios para os parâmetros no modelo, e sim distribuições estatísticas geradas a partir de uma coleção de dados sobre o parâmetro a ser inserido. Somando-se os dados e o modelo lógico-matemático, tem-se uma representação do sistema no computador.

CAPÍTULO 4

ESTUDO DE CASO

Este capítulo apresenta a aplicação da simulação computacional em um sistema, onde se estuda o processo produtivo de cerâmica vermelha em uma das empresas da cidade de Campos dos Goytacazes, no estado do Rio de Janeiro.

De acordo com Soares *et al.* (2005), os estudos exploratórios têm a principal finalidade de desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e idéias a fim de fornecer hipóteses pesquisáveis para estudos posteriores. Esses estudos também fornecem base de conhecimento para a identificação da melhor metodologia a ser implantada.

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.

O problema abordado neste trabalho consiste em identificar os gargalos do sistema e propor melhorias na produção através da simulação computacional.

4.1 Definição do problema

Este trabalho vem propor a simulação computacional de sistemas produtivos como ferramenta de auxílio na tomada de decisão no que se refere à melhoria de sistemas. Para a aplicação deste estudo, decidiu-se analisar o sistema produtivo de cerâmica vermelha em uma das empresas localizadas em Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro. Esse é um setor que necessita de maiores investimentos no estudo do planejamento da produção, pois grande parte das cerâmicas do município fabrica as peças sem nenhum ou quase nenhum planejamento. Por questões de sigilo da empresa, não será divulgado o nome da mesma. Essa empresa foi escolhida porque possui um referencial de qualidade dos seus produtos na região e também um nível de tecnologia e organização satisfatório para se desenvolver o trabalho.

A empresa escolhida para a realização do estudo atualmente produz 12 tipos de produtos, totalizando em média a fabricação de um milhão de peças por mês. No entanto, para fins de pesquisa, foi escolhida uma família de produtos, referentes à produção de 90% das peças fabricadas por mês. Esse percentual de produção é referente aos dados coletados nos meses de agosto e setembro de 2010. Conforme mostra o Gráfico 4.1 a quantidade de peças produzidas se divide da seguinte forma:

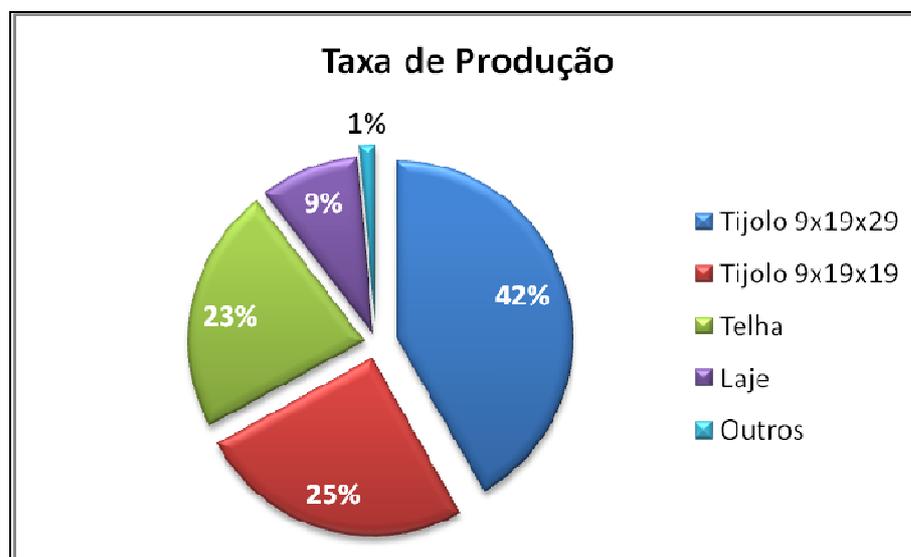


Gráfico 4.1: Percentual de peças produzidas nos meses de agosto e setembro de 2010.

Como mostra o Gráfico 4.1, os produtos que estão inseridos em 90% da produção mensal são o tijolo 9x19x29, o tijolo 9x19x19 e a telha. A produção de telhas está dividida em quatro tipos: telha duplana portuguesa, telha duplana romana, beiral arremate e telha cumeeira. O processo de fabricação e o tempo de processamento das telhas são os mesmos, alterando-se somente a forma das prensas.

Apesar do processo de fabricação de telhas obterem características similares ao processo de fabricação dos tijolos, criou-se um modelo para o processo de fabricação de telhas e outro para o processo de fabricação de tijolos. Na seção 4.3.4 mostram-se as diferenças entre os modelos com maiores detalhes.

4.2 Parâmetros do sistema

Para que o processo possa ser estudado, é preciso conhecer os parâmetros do sistema. Essa etapa busca identificar todas as variáveis componentes do sistema, divididas em variáveis de entrada e variáveis de saída. As variáveis de entrada são aquelas em que se baseiam a coleta de dados. Após a análise e o tratamento dos dados capturados do sistema real, são definidas as variáveis de entrada que serão introduzidas no modelo. Através da execução do modelo computacional, encontram-se as variáveis de saída, fundamentais para a validação do modelo e a comparação entre cenários.

Conforme citado anteriormente nas definições de modelagem no capítulo 3, um modelo para ser bem modelado deve conter apenas informações relevantes ao projeto. As variáveis pertinentes ao estudo são definidas na Tabela 4.1. Na seção 4.3.2 define-se com maiores detalhes a função das máquinas extrusora, de corte e de prensa.

Tabela 4.1: Variáveis de entrada e saída do modelo de simulação.

Variáveis de Entrada	Início e término da produção
	Tempo da extrusora
	Tempo de corte
	Tempo da prensa
	Tempo de retirada da peça da esteira
	Quantidade de peças produzidas por hora
	Quantidade de paradas para manutenção
	Tipo de peças produzidas por dia
	Número de funcionários que intervêm no processo
	Número de peças que sofrem retrabalho
Variáveis de Saída	Número de peças defeituosas
	Quantidade de peças fabricadas no final da produção
	Número de peças produzidas por funcionário
	Taxa de utilização da extrusora
	Taxa de utilização do corte
	Taxa de utilização da prensa
Taxa de utilização dos funcionários	

4.3 Construção do modelo

Através da observação do sistema em estudo, iniciou-se o mapeamento do processo e a construção do modelo conceitual representado por um fluxograma. Esse modelo busca facilitar o entendimento das etapas do processo produtivo da empresa. Em seguida, a partir da coleta e análise dos dados, o modelo foi traduzido em relações lógicas e matemáticas para tomar a forma de modelo computacional.

Nas próximas seções buscam-se detalhar as etapas do desenvolvimento do estudo. O objetivo é construir o modelo do sistema, a fim de analisá-lo por meio da simulação computacional, contribuindo na melhoria do sistema.

4.3.1 Coleta dos dados

A coleta de dados iniciou-se durante a etapa de mapeamento do processo. Realizou-se por meio de entrevistas aos funcionários da empresa, com o preenchimento de questionários e também se disponibilizou um histórico contendo grande parte das informações necessárias para a modelagem.

Os tempos de processamento das máquinas foram cronometrados e comparados com o histórico. Outros dados foram obtidos após entrevistas com alguns funcionários.

Esses dados históricos são anotados em um caderno pelo operador de máquinas e ao final do dia repassado para o setor responsável por toda entrada e saída de produtos da empresa, organizado em outro caderno para prestação de contas. Não há dados disponíveis no formato digital. Essas anotações são organizadas dessa forma e o caderno que fica com o operador de máquinas está sempre rasurado e manchado com a sujeira das máquinas.

Quando a pesquisa de campo iniciou-se, o caderno havia sido trocado um mês antes por outro novo. Foi uma dificuldade achar o caderno antigo, uma vez que o que estava sendo usado não poderia sair da empresa no momento. Após algumas tentativas de procura, encontrou-se o histórico que o operador de máquinas usava. Mesmo com dificuldades para entender os dados devido ao estado do caderno, criaram-se planilhas contendo todos os dados históricos dos meses de agosto e setembro de 2010.

Devido à grande variabilidade dos dados, houve dificuldades na modelagem do sistema. A quantidade de peças produzidas por dia, do mesmo item, com o mesmo tempo de produção, apresentava valores muito diferentes, conforme mostra a Tabela B1 e a Tabela B2 no Apêndice B. Isso se dá por causa das variáveis: qualidade da matéria-prima, falta de treinamento dos funcionários, falta de manutenção nos equipamentos, falta de planejamento da produção e picos constantes de energia.

4.3.2 Modelo conceitual

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 Normey-Rico *et al* (2003) o processo de fabricação de produtos cerâmicos “tradicionais”, entre os quais podem ser incluídos os pavimentos e revestimentos cerâmicos desenvolve-se normalmente em fases sucessivas, começando com a seleção das matérias-primas, que devem formar parte da composição de partida (argilas, caulins, feldspatos, quartzos e carbonatos) prosseguindo para cada fase de refinamento e preparação da matéria-prima. Após a preparação da matéria-prima segue as etapas: (i) conformação; (ii) corte; (iii) prensagem; (iv) secagem; (v) queima; (vi) estoque; (vii) expedição. O fluxograma na Figura 4.1 ilustra essas etapas.

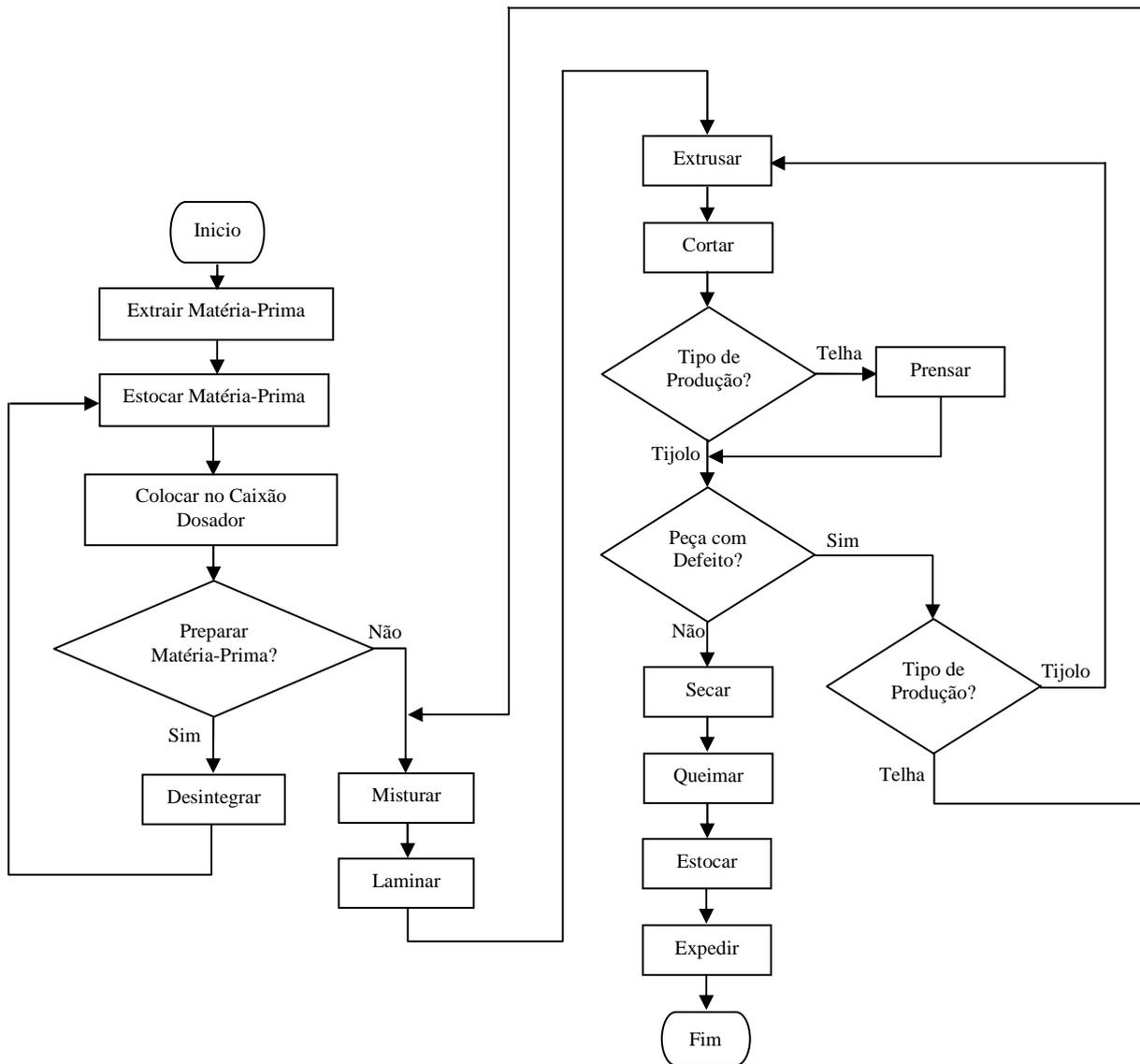


Figura 4.1: Fluxograma do processo produtivo de cerâmica vermelha.

Fonte: Elaborado pelo autor

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

- 1. Extração da matéria-prima:** realiza-se nas jazidas (local que possui uma concentração de argila) por meio de máquinas do tipo retro escavadeira e transportada para a planta por caminhões. A jazida localiza-se ao lado da empresa. A Figura 4.2 mostra a jazida de extração da matéria-prima utilizada;



Figura 4.2: Foto da Jazida.

- 2. Estoque da matéria-prima:** existem dois tipos de estoques. O estoque onde é armazenada toda a matéria-prima extraída das jazidas e o estoque do barro que já passou pelo desintegrador (as definições do desintegrador são mostradas no quarto item). No primeiro caso o estoque encontra-se no pátio da olaria a céu aberto conforme mostra a Figura 4.3. Já no segundo caso o estoque encontra-se em um lugar coberto conforme mostra a Figura 4.4. Para se obter maior qualidade na produção necessita-se que a matéria-prima seja desintegrada e armazenada em lugar coberto por um período de um mês. Na fabricação das peças sempre se utiliza o barro do segundo caso;



Estoque a céu aberto.

Trator utilizado para movimentar a matéria prima.

Figura 4.3: Estoque de matéria-prima bruta.



Figura 4.4: Estoque de matéria-prima trabalhada.

3. **Caixão dosador:** são caixões na qual é colocada a matéria-prima para ser selecionada de acordo com o tipo de produção. Para a fabricação de telhas é necessário um barro mais forte (maior concentração de argila) e de maior qualidade (menos resíduos). Já para a fabricação de tijolos é selecionado um barro mais fraco (menor concentração de argila). A quantidade de barro necessária para a produção também é mensurada. São utilizados 3 caixões dosadores para que não haja mistura do material. A Figura 4.5 mostra a foto do caixão dosador;



Figura 4.5: Foto do Caixão dosador.

4. **Desintegrador:** nessa etapa a umidade deverá variar entre 16% e 25%, para evitar perda de eficiência, ocasionando a não desintegração dos blocos de argila adequadamente. Esse equipamento permite através de movimentos circulares a quebra de torrões e a eliminação de pedregulhos. A Figura 4.6 mostra a imagem desse processo;



Figura 4.6: Foto do Desintegrador.

5. **Misturador ou Homogeneizador:** no misturador a matéria-prima é homogeneizada por meio da adição de água a fim de obter maior uniformização à massa e plasticidade necessária. A massa então percorre por uma esteira até chegar ao Laminador. A Figura 4.7 mostra esse processo;



Figura 4.7: Foto do Misturador.

6. **Laminador:** esse equipamento possui dois cilindros que transforma a massa homogeneizada em lâminas de barro. Nessa etapa busca-se eliminar as bolhas de ar contidas na massa e contribuindo-se para maior adensamento da argila. A Figura 4.8 mostra o processo de laminação;



Figura 4.8: Foto do Laminador.

7. **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 Figura 4.9 mostra a extrusora;



Figura 4.9: Foto do processo de Extrusão.

- 8. Corte:** um fino cabo de aço corta a peça em blocos com diferentes dimensões para o caso dos tijolos. No caso das telhas, são cortadas no formato de bastões compactos por uma espécie de pá. A Figura 4.10 mostra os equipamentos de corte que são utilizados.



Figura 4.10: Foto das máquinas de corte.

- 9. Prensa:** os bastões cortados na etapa anterior seguem em uma esteira até a prensa, onde adquirem o formato de telha. O processo de prensa é automatizado necessitando somente que os bastões sejam inseridos na máquina por um funcionário. Após serem prensadas, as peças são colocadas em uma esteira e então empilhadas em prateleiras onde são transportadas para a secagem. A Figura 4.11 mostra esse processo;

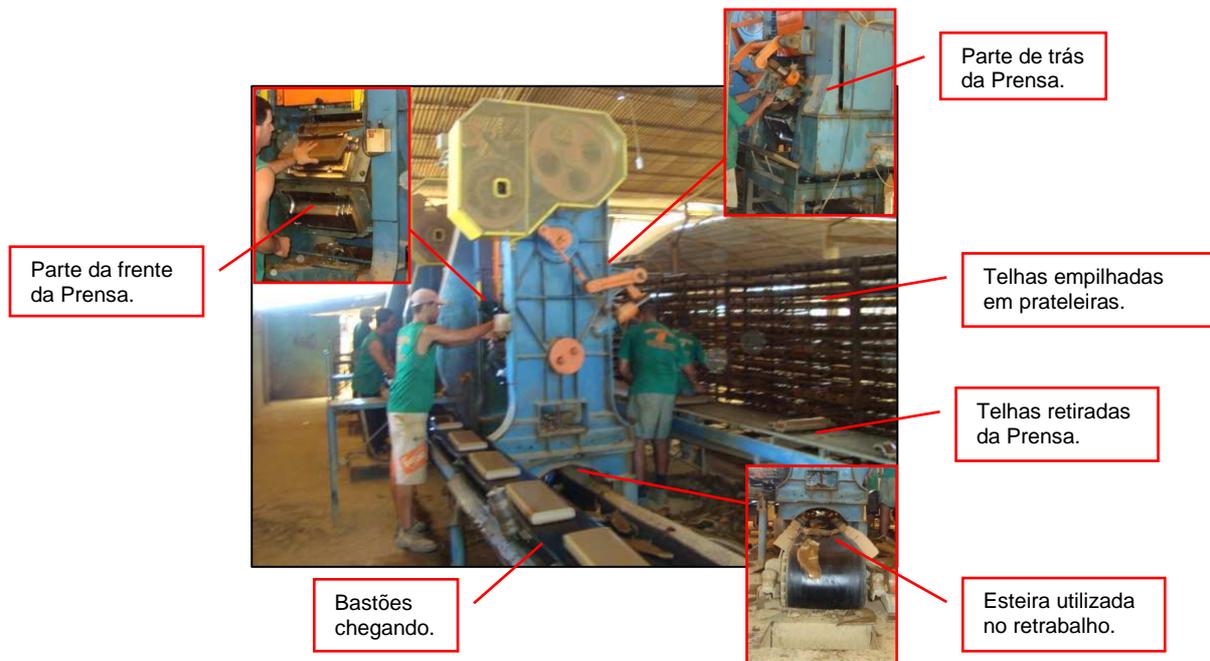


Figura 4.11: Foto do processo de Prensa.

10. Secagem: durante a secagem as peças reduzem o teor de umidade de 20% a 30% para 5%. A secagem pode ser natural (exposição das peças ao ar livre) ou forçada (secadores intermitentes ou contínuos). O tempo de secagem das telhas é de 12 horas. Já o tempo de secagem dos tijolos é de aproximadamente 4 dias. A Figura 4.12 mostra o local de secagem dos tijolos e a Figura 4.13 mostra o local de secagem das telhas;



Figura 4.12: Galpão de secagem dos tijolos.



Figura 4.13: Galpão de secagem das telhas.

11. Queima: peças secas são submetidas aos fornos para adquirirem as características e propriedades desejadas. Os tipos de forno disponíveis são: 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.). O tempo de queima das telhas é de 80 horas e o tempo de queima dos tijolos é de 38 horas. As peças são inspecionadas no momento em que são retiradas dos fornos, entretanto, não existe uma formalidade na inspeção, isto é, as peças são analisadas visualmente, com base na experiência dos funcionários e descartadas caso haja alguma irregularidade. A Figura 4.14 e a Figura 4.15 mostram os fornos utilizados no processo;



Figura 4.14: Forno do tipo Hoffman utilizado na queima de tijolos.



Figura 4.15: Forno utilizado na queima de telhas.

12. Estoque: cada tipo de produto tem um local específico no estoque. As telhas são alocadas em galpões para preservar a qualidade do mesmo. Já os tijolos são colocadas no pátio da planta a céu aberto, pois é um produto que é fabricado em grandes proporções, uma vez que dependendo do período do ano a demanda é maior ou menor. A Figura 4.16 e a Figura 4.17 mostram os estoques;



Figura 4.16: Estoque de tijolo.



Figura 4.17: Estoque de telha.

13. Expedição: realiza-se por meio de caminhões. Os caminhões são posicionados em lugar próprio para serem carregados. Esse local possui um desnível, que permite que a carroceria do caminhão fique no mesmo nível do solo, a fim de facilitar no carregamento. A Figura 4.18 mostra o momento em que um caminhão está sendo abastecido.



Figura 4.18: Caminhão sendo carregado.

As peças são inspecionadas rapidamente em cada etapa pelos próprios funcionários que fazem parte do processo. Apesar do processo de fabricação ser bastante rápido, é importante que as peças sejam bem feitas para evitar a queima de peças defeituosas. Na fabricação de tijolos, as peças que se encontram defeituosas retornam para o processo de extrusão, porém no processo de fabricação de telhas as peças que possuem algum tipo de defeito retornam para o processo de homogeneização.

4.3.3 Análise dos dados

Nesta seção apresenta-se a análise dos dados de entrada de cada processo produtivo em estudo. Mostram-se detalhadamente os tempos das variáveis que foram inseridas no modelo computacional.

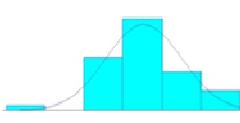
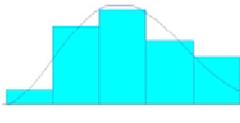
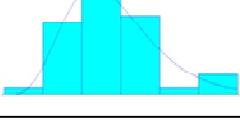
Os dados explanados nesta seção originam-se a partir da abstração das informações coletadas na empresa, onde são ajustadas à distribuição de probabilidade mais próxima (usando o *input analyzer* do software ARENA). Os valores utilizados para gerar os dados nas tabelas desta seção foram retirados da Tabela B1 e a Tabela B2 do

Apêndice B. Devido à grande variação no tempo de produção diária das peças e diferentes tempos de parada, decidiu-se ajustar os tempos calculando-se a média de produção no período de uma hora descontando-se os tempos de parada. Na Tabela 4.2 e na Tabela 4.3 mostram-se os resultados originados referentes à produção de uma hora. Para facilitar a análise dos dados no *input analyzer*, os valores a seguir estão divididos por mil.

Tabela 4.2: Variáveis de entrada do sistema.

Produto	Média	Desvio Padrão	Valor Mínimo	Valor Máximo
Telha	3.53	0.295	2.63	4.12
9x19x19	9.40	0.52	8.42	10.30
9x19x29	6.20	0.41	4.35	7.20

Tabela 4.3: Distribuição probabilística das variáveis de entrada do sistema.

Produto	Distribuição	Expressão	Erro	Histograma
Telha	NORMAL	$NORM(3.53, 0.292)$	0.010858	
9x19x19	WEIBULL	$8.23 + WEIB(1.32, 2.5)$	0.004969	
9x19x29	GAMMA	$4.16 + GAMM(0.177, 4.87)$	0.009546	

A análise desses dados tem como objetivo comparar os valores coletados na empresa com os valores gerados pelo modelo de simulação. Para validar o modelo proposto, necessita-se que haja semelhanças na comparação dos resultados.

Nas próximas seções mostram-se as variáveis de entrada dos processos de fabricação de telha e tijolo. Não se leva em conta a modelagem do processo de preparação da matéria-prima, nem a secagem e nem a queima das peças. O processo de preparação não pode ser calculado, pois o barro passa pelos processos de

desintegração, homogeneização e laminação em pequenos fragmentos, possibilitando o cálculo do processamento somente no processo de extrusão na qual a massa ganha forma de bloco.

Já nos processos de secagem e queima, decidiu-se não modelar pelo fato do tempo necessário para a secagem e queima serem prolongados e já serem determinados. Para melhorar esses processos necessita-se de análise em laboratórios para verificar a qualidade da secagem e queima.

4.3.3.1 Processo de fabricação de telha

Analisando-se o processo de fabricação de telhas em umas das visitas feitas na empresa, verificou-se que o processo possui características estocásticas e determinísticas. Após observações no comportamento do processo, notou-se que em alguns momentos o fluxo de bastões que iam sofrendo o processo de corte aumentava e diminuía constantemente. Ao entrevistar o operador de máquinas, o mesmo relatou que quando as peças sofriam o processo de retrabalho, ao chegar a extrusora essas peças causavam um aceleração em todo processo. Isso acontece devido à massa já estar mais homogeneizada mesmo que seja feito novamente todo o processo de preparação da massa, no caso das telhas.

A extrusora e a máquina de corte trabalham sincronizadas, isto é, quando se aumenta a velocidade da extrusora, a máquina de corte também corta as peças no mesmo ritmo para que não haja diferença no tamanho dos bastões. Segundo o operador de máquinas a quantidade média de peças cortadas por minuto é de 76 com o processo funcionando no ritmo normal, isto é, sem retrabalho. Entretanto, não se tinha a informação de quantas peças são cortadas quando há o processo de retrabalho. Após analisar o processo, verificou-se que sofrendo o processo de retrabalho, a quantidade de peças cortadas por minuto poderia chegar a até 85 peças por minuto.

O processo de prensa das telhas é do tipo determinístico. Cada máquina de prensa tem a capacidade de processar 19 peças por minuto. A Tabela 4.4 mostra os recursos do processo de fabricação de telha que são inseridos no modelo computacional.

Tabela 4.4: Variáveis de entrada do sistema de produção de telha.

Recurso	Qtd. de Recursos	Distribuição	Expressão	Gargalo
Entrada	1	*	CONSTANT (0.75)	
Retrabalho	1	NORMAL	NORM (0.7142, 0.2)	
Extrusora, Corte	1	NORMAL	NORM (0.78925, 0.2)	
Prensa	4	*	CONSTANT (3.157)	
Inspeção	4	NORMAL	NORM(3.42105265 , 0.2) com 7.5% de perda	
Auxiliar da Esteira	5	NORMAL	NORM (4, 0.2)	

Conforme mostra a Tabela 4.4, o gargalo do sistema encontra-se na etapa de prensa. Isso ocorre devido à restrição da capacidade máxima de processamento da prensa. Observa-se também que durante a etapa de inspeção das peças, 7,5% das peças possuem algum tipo de defeito e por isso sofrem retrabalho. O gargalo foi identificado primeiramente através de observações direta no processo de fabricação das peças na empresa e posteriormente comprovado por meio da simulação computacional. A Figura 4.19 mostra parte do relatório de simulação gerado pelo ARENA que identifica o gargalo na etapa de prensa do processo de fabricação de telhas.

prensa1.NumberSeized	970.80	2.2208	969.00	973.00	5
prensa1.ScheduledUtilization	.85098	.00185	.84938	.85265	5
prensa2.NumberSeized	970.60	2.0773	969.00	973.00	5
prensa2.ScheduledUtilization	.85070	.00195	.84891	.85241	5
prensa3.NumberSeized	970.00	2.3225	968.00	972.00	5
prensa3.ScheduledUtilization	.85060	.00201	.84888	.85239	5
prensa4.NumberSeized	970.00	2.3225	968.00	972.00	5
prensa4.ScheduledUtilization	.85043	.00196	.84867	.85216	5
auxiliar1.NumberSeized	790.60	5.5241	785.00	796.00	5
auxiliar1.ScheduledUtilization	.87907	.00558	.87239	.88420	5
auxiliar2.NumberSeized	772.80	3.8665	769.00	776.00	5
auxiliar2.ScheduledUtilization	.85743	.00416	.85250	.86148	5
auxiliar3.NumberSeized	745.40	4.5275	741.00	750.00	5
auxiliar3.ScheduledUtilization	.82886	.00373	.82529	.83307	5
auxiliar4.NumberSeized	691.00	6.2690	685.00	699.00	5
auxiliar4.ScheduledUtilization	.76812	.00663	.76248	.77642	5
auxiliar5.NumberSeized	585.60	4.0798	581.00	590.00	5
auxiliar5.ScheduledUtilization	.64933	.00407	.64490	.65292	5
corte_.NumberSeized	4638.0	21.086	4618.0	4657.0	5
corte_.ScheduledUtilization	.99923	2.5877E-04	.99891	.99940	5
extrusora_.NumberSeized	4640.6	21.006	4621.0	4660.0	5
extrusora_.ScheduledUtilization	.99985	2.2987E-04	.99957	1.0000	5
System.NumberOut	3525.0	15.026	3511.0	3542.0	5

Figura 4.19: Parte do relatório gerado pelo ARENA do processo de fabricação de telhas.

A taxa de utilização dos processos de prensa, corte e extrusão encontra-se na segunda coluna e destacada conforme mostra a Figura 4.19. Todas as prensas possuem a taxa de utilização de 85% e as máquinas de corte e de extrusão possuem uma taxa de utilização de 99%. Isso comprova que quando o número de bastões gerados nos processos de extrusão e corte é menor do que 76 peças por minuto, há uma diminuição na quantidade de peças prensadas, porém quando o número de peças que chegam até as máquinas de prensa aumenta, também aumenta a quantidade de peças que sofrem retrabalho devido a capacidade máxima das máquinas de prensa que é de 19 peças por minuto.

De acordo com observações feitas no sistema real da empresa, essa diminuição da quantidade de peças que são extrusadas e cortadas é devido a qualidade no processo de preparação da matéria-prima que necessita ser melhorada.

4.3.3.2 Processo de fabricação do tijolo 9x19x19

Analisando-se o processo de fabricação do tijolo 9x19x19 real da empresa, buscou-se identificar como o processo se comporta. Verificou-se que o processo possui somente características estocásticas. Diferente do processo de fabricação de telha, a máquina extrusora agora conforma a massa já no formato do tijolo. Em seguida as peças são cortadas sincronizadas no ritmo da extrusora.

Constatou-se também que em alguns momentos o fluxo da produção aumentava e diminuía constantemente. Dessa vez, ao entrevistar o operador de máquinas, o mesmo relatou que quando as peças sofriam o processo de retrabalho, ao chegar a extrusora essas peças causavam um retardamento em todo processo devido à massa estar menos homogeneizada.

No processo de fabricação de telhas a massa é cortada no formato de bastões compactos, já no processo de fabricação de tijolos a massa quando sai da extrusora não está totalmente homogeneizada, pois nesse caso a massa é pressionada em uma boquilha com furos, dando o formato de tijolo. Desse modo, ao sofrer retrabalho as peças precisam ser compactadas novamente, causando atraso no processo.

Segundo o operador de máquinas a quantidade média de peças cortadas por minuto é de 170. Entretanto, após a análise dos dados coletados do sistema real, verificou-se que são fabricadas em média 157 peças por minuto. Também não havia nenhuma informação de quantas peças são cortadas quando há o processo de retrabalho. Após analisar o sistema real, verificou-se que sofrendo o processo de retrabalho, a quantidade de peças cortadas por minuto poderia chegar a até 120 peças por minuto.

Iniciou-se então a adequação dos dados coletados do sistema real com as informações obtidas do operador. Chegou-se aos valores dos recursos do processo de fabricação do tijolo 9x19x19 mostrados na Tabela 4.5 que são inseridos no modelo computacional.

Tabela 4.5: Variáveis de entrada do sistema produção do tijolo 9x19x19.

Recurso	Qtd. de Recursos	Distribuição	Expressão	Gargalo
Entrada	1	*	CONSTANT (0.35)	
Retrabalho	1	NORMAL	NORM (0.5, 0.02)	
Extrusora, Corte	1	NORMAL	NORM (0.38, 0.02)	
Empilhar	1	*	0,2% de perda	
Auxiliar da Esteira	2	NORMAL	NORM (2.4, 0.2) com 0.15% de perda	

Conforme mostra a Tabela 4.5, o gargalo do sistema encontra-se no processo de extrusão e corte dos 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, na etapa de empilhamento dos tijolos e retirada dos tijolos da esteira há uma perda de peças de 0,2% e 0,15% respectivamente. Essas perdas são causadas por pedaços de raiz e pequenas pedras que agarram na extrusora provocando defeito no tijolo. A falta de qualidade no processo de preparação da matéria-prima e manutenção nas máquinas são os principais motivos das perdas.

O gargalo também foi identificado primeiramente através de observações direta no processo de produção real, e posteriormente analisado e comprovado por meio da simulação computacional. A Figura 4.20 mostra parte do relatório de simulação gerado pelo ARENA que identifica o gargalo na etapa de extrusão e corte dos tijolos do processo de fabricação do tijolo 9x19x19.

auxiliar1.NumberSeized	4794.2	10.139	4783.0	4801.0	5
auxiliar1.ScheduledUtilization	.79910	.00151	.79793	.80111	5
auxiliar2.NumberSeized	4607.6	15.446	4592.0	4626.0	5
auxiliar2.ScheduledUtilization	.76703	.00290	.76418	.77010	5
corte_.NumberSeized	9455.8	5.2962	9452.0	9463.0	5
corte_.ScheduledUtilization	.99985	3.8587E-06	.99984	.99985	5
extrusora_.NumberSeized	9457.6	5.4539	9454.0	9465.0	5
extrusora_.ScheduledUtilization	1.0000	2.4022E-06	1.0000	1.0000	5
System.NumberOut	9396.0	16.423	9387.0	9419.0	5

Figura 4.20: Parte do relatório gerado pelo ARENA do processo de fabricação do tijolo 9x19x19.

A taxa de utilização dos processos de corte, extrusão e auxiliares encontra-se na segunda coluna e destacada conforme mostra a Figura 4.20. O auxiliar1 possui uma taxa de 79% de utilização enquanto que o auxiliar2 tem a taxa de utilização de 76%. A máquina de corte tem a taxa de utilização de 99% e a máquina extrusora possui uma taxa de utilização de 100%. Isso comprova que por causa do número de peças defeituosas gerado nos processos de extrusão e corte, a taxa de utilização dos auxiliares mostra-se menor do que a taxa de utilização das máquinas extrusora e corte.

4.3.3.3 Processo de fabricação do tijolo 9x19x29

O processo de fabricação do tijolo 9x19x29 é análogo ao processo de fabricação do tijolo 9x19x19. Possui as mesmas características, alterando-se somente o tempo de execução das tarefas.

Conforme analisado nos processos anteriores, verificaram-se os tempos de processamento de todas as etapas. De acordo com o operador de máquinas, o número médio de peças fabricadas por minuto é de 115 peças por minuto. Entretanto, após a análise dos dados coletados, verificou-se que são fabricadas em média 103 peças por minuto. Também não havia nenhuma informação de quantas peças são cortadas quando há o processo de retrabalho. Após analisar o sistema real, verificou-se que sofrendo o processo de retrabalho, o número de peças cortadas por minuto poderia chegar a até 90 peças por minuto.

Iniciou-se então a adequação dos dados coletados do sistema real com as informações obtidas do operador. Enfim, chegou-se aos valores dos recursos do processo de fabricação do tijolo 9x19x29 mostrados na Tabela 4.6 que são inseridos no modelo computacional.

Tabela 4.6: Variáveis de entrada do sistema produção do tijolo 9x19x29.

Recurso	Qtd. de Recursos	Distribuição	Expressão	Gargalo
Entrada	1	*	CONSTANT (0.5)	
Retrabalho	1	NORMAL	NORM (0.696,0.02)	
Extrusora, Corte	1	NORMAL	NORM (0.576,0.02)	
Empilhar	1	*	0,2% de perda	
Auxiliar da Esteira	2	NORMAL	NORM (3.9, 0.2) com 0.15% de perda	

Conforme o processo de fabricação do tijolo 9x19x19, o gargalo do sistema também se encontra no processo de extrusão e corte dos tijolos. A razão das perdas e do gargalo bem como o percentual das perdas é análoga ao processo de fabricação do tijolo 9x19x19.

O gargalo também foi identificado primeiramente através de observações direta no processo de produção real, e posteriormente analisado e comprovado por meio da simulação computacional. A Figura 4.21 mostra parte do relatório de simulação gerado pelo ARENA que identifica o gargalo na etapa de extrusão e corte dos tijolos do processo de fabricação do tijolo 9x19x29.

auxiliar1.NumberSeized	3112.6	5.2377	3108.0	3119.0	5
auxiliar1.ScheduledUtilization	.84242	.00178	.84071	.84469	5
auxiliar2.NumberSeized	3095.4	9.7199	3085.0	3104.0	5
auxiliar2.ScheduledUtilization	.83775	.00265	.83575	.84028	5
corte_.NumberSeized	6243.8	2.9639	6240.0	6246.0	5
corte_.ScheduledUtilization	.99980	5.1780E-06	.99979	.99980	5
extrusora_.NumberSeized	6245.0	3.2846	6241.0	6248.0	5
extrusora_.ScheduledUtilization	1.0000	3.6359E-06	.99999	1.0000	5
System.NumberOut	6201.0	13.050	6187.0	6213.0	5

Figura 4.21: Parte do relatório gerado pelo ARENA do processo de fabricação do tijolo 9x19x29.

4.3.4 Modelo de simulação

O modelo de simulação desenvolveu-se no software ARENA 7.0 que foi instalado em um notebook convencional com o sistema operacional Windows Vista. A partir da transformação do modelo conceitual em ligações lógicas de simulação e da adição das variáveis de entrada por meio da análise da amostra de dados, criou-se o modelo computacional. O objetivo dessa modelagem é estudar o sistema por meio da simulação, onde se deseja analisar as variáveis de saída e identificar possíveis melhorias no processo.

Apesar dos processos de fabricação do tijolo e da telha apresentar semelhanças nas etapas de produção, desenvolvem-se modelos individuais devido à variação da utilização dos recursos em cada processo. Os recursos possuem características únicas de processamento, conforme apresentado na seção anterior. A criação de modelos individuais facilita a análise de desempenho do processo.

Nas próximas seções mostram-se os modelos elaborados para o projeto. Detalham-se as etapas do processo de cada modelo. A metodologia de modelagem do sistema realizou-se a partir da criação de modelos básicos e evoluindo até se encontrar o modelo final. Os tempos de processamento dos recursos inseridos nos modelos são os mesmos apresentados na seção 4.3.3.

4.3.4.1 Modelo de simulação do processo de fabricação de telhas

A Figura 4.22 mostra o modelo computacional desenvolvido para o processo de fabricação de telhas.

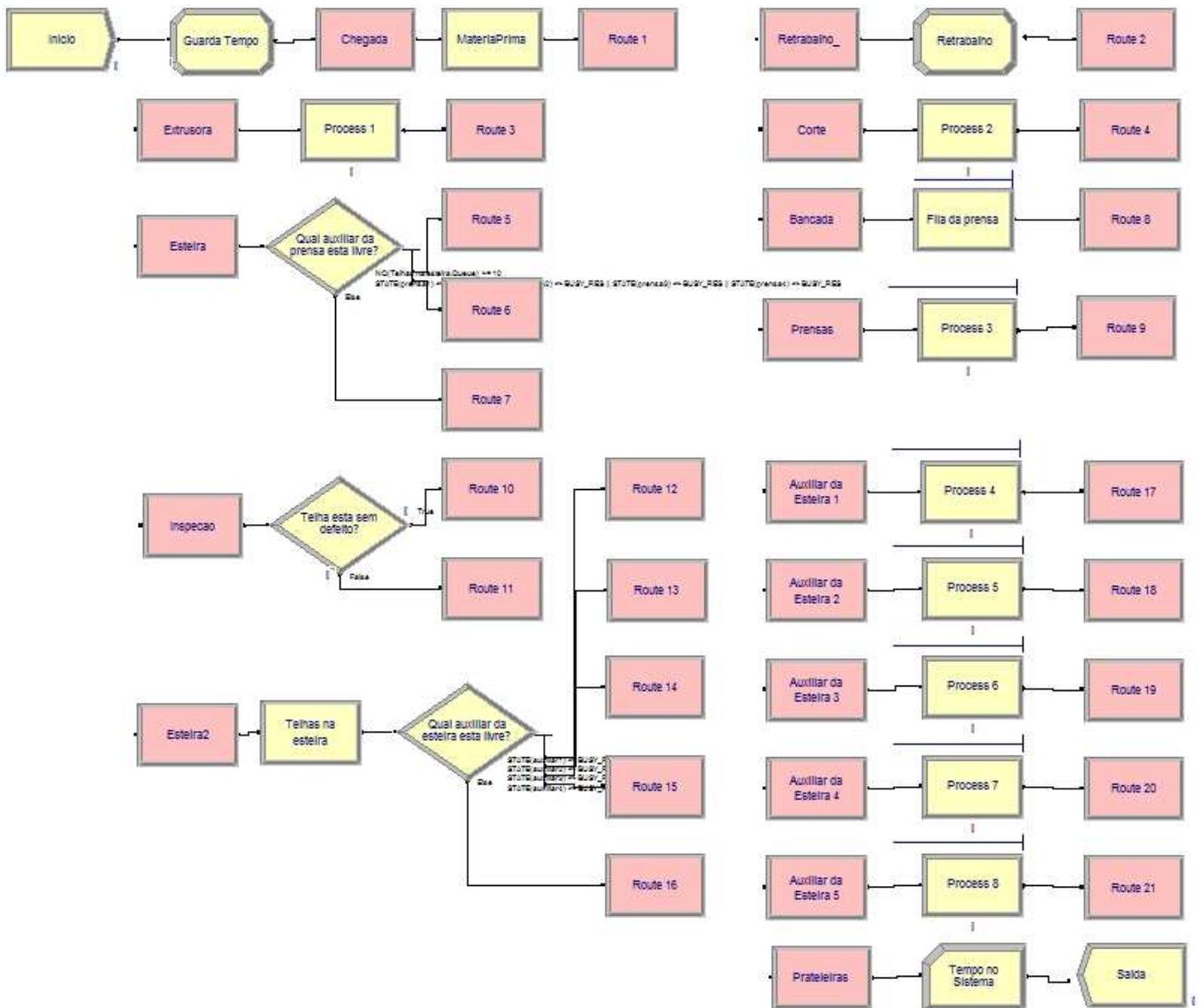


Figura 4.22: Modelo de simulação do processo produtivo de telha desenvolvido no ARENA 7.0.

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 evitar a poluição visual devido à grande quantidade de ligações entre os blocos, onde através da configuração dos roteadores se possibilita a ligação lógica entre os blocos. Assim, as entidades que passam por um roteador são enviadas até uma determinada estação. A Figura 4.23 exemplifica a configuração de um roteador e a Tabela 4.7 mostra as ligações entre os roteadores e estações do modelo.

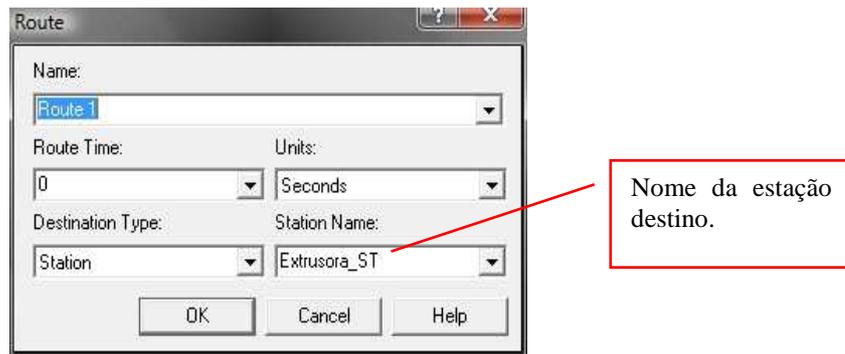


Figura 4.23: Exemplo de configuração de um roteador.

Tabela 4.7: Ligações lógicas do modelo de simulação do processo produtivo de telhas.

Route 1	➔	Extrusora	Route 12	➔	Auxiliar da Esteira 1
Route 2	➔	Chegada	Route 13	➔	Auxiliar da Esteira 2
Route 3	➔	Corte	Route 14	➔	Auxiliar da Esteira 3
Route 4	➔	Esteira	Route 15	➔	Auxiliar da Esteira 4
Route 5	➔	Bancada	Route 16	➔	Auxiliar da Esteira 5
Route 6	➔	Prensas	Route 17		
Route 7	➔	Retrabalho_	Route 18		
Route 8	➔	Esteira	Route 19	➔	Prateleiras
Route 9	➔	Inspecao	Route 20		
Route 10	➔	Esteira2	Route 21		
Route 11	➔	Retrabalho_			

As entidades entram no sistema por meio do bloco denominado de **“Início”**. Em seguida o tempo de chegada de cada entidade é armazenado por meio da criação de um atributo **“TC”** no bloco **“Guarda Tempo”**. Quando a entidade sai do sistema, o tempo alocado em **“TC”** é capturado em outro bloco chamado de **“Tempo no Sistema”** para se encontrar o tempo médio que uma peça demora a ser fabricada. As entidades que percorrem no bloco **“Guarda Tempo”** recebem uma etiqueta chamada de **“telha”** onde é armazenado o tempo de processamento chamado de **“TempoProcesso”**. A Figura 4.24 mostra a configuração desse bloco.

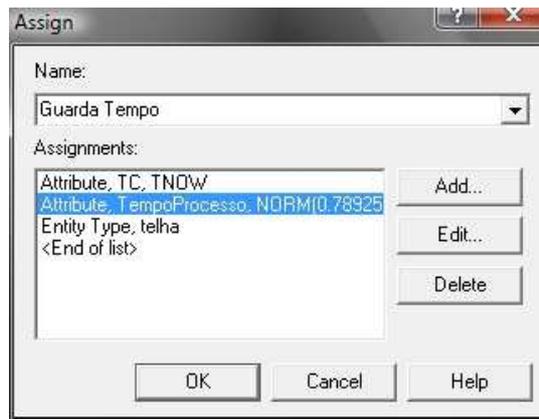


Figura 4.24: Configuração do Bloco “Guarda Tempo”.

Os tempos de processamento são armazenados dessa forma devido ao processo de retrabalho das peças. De acordo com os dados coletados, quando uma peça retorna para receber um novo processo, há uma variação no tempo de processamento. No modelo, quando uma entidade sofre o processo de retrabalho ela passa pela estação “Retrabalho_” seguindo para o bloco “Retrabalho” onde recebe uma nova etiqueta chamada de “telha_ret” e um novo tempo de processo, também com o nome de “TempoProcesso”. Através do bloco “Route 2” envia-se as entidades para a estação “Chegada”. Os recursos utilizam o tempo de processamento de acordo com a etiqueta definida na entidade. A Figura 4.25 mostra a configuração do bloco “Retrabalho”.

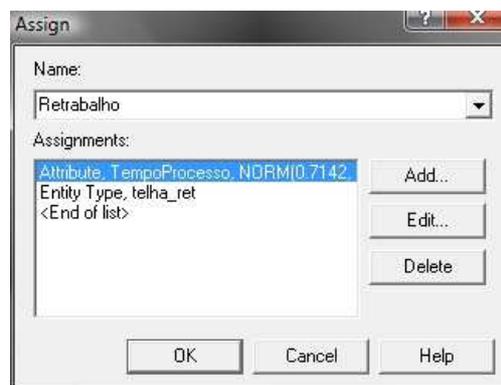


Figura 4.25: Configuração do Bloco “Guarda Tempo”.

O fluxo continua até chegar à estação “Chegada”. Em seguida, as entidades aguardam no bloco “MateriaPrima” até que o recurso da extrusora esteja livre. Como não se considera o processo de preparação da matéria-prima, esse bloco apenas simboliza todo o processo de preparação da massa.

Então, o bloco **“Route 1”** envia as entidades para a estação **“Extrusora”**. As entidades chegam ao bloco **“Process 1”** onde são processadas utilizando o tempo de processamento armazenado nas entidades. Em seguida, por meio do bloco **“Route 3”** envia-se as entidades para a estação **“Corte”**. Da mesma forma, as entidades chegam ao bloco **“Process 2”** na qual são processadas utilizando o tempo de processamento armazenado nas entidades. Como o processo de extrusão da massa e o processo corte são sincronizados, também devem obter os mesmos tempos de processamento. A Figura 4.26 mostra a configuração do bloco **“Process 1”** que também se aplica ao bloco **“Process 2”**.

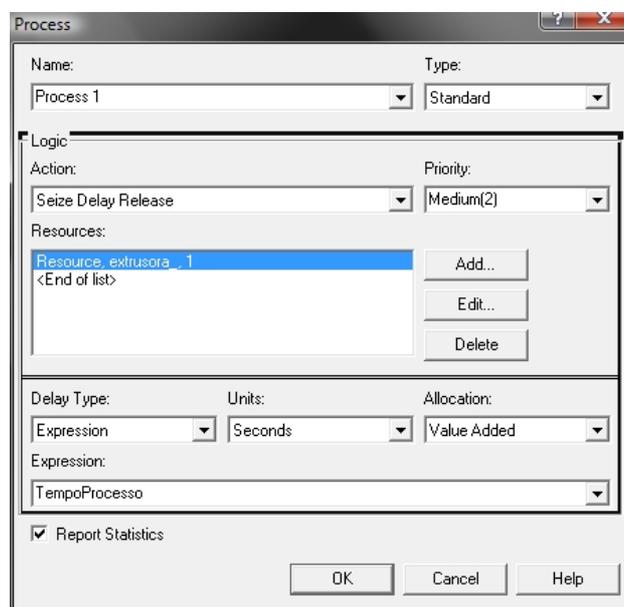


Figura 4.26: Configuração do Bloco “Process 1”.

Após o processo de corte, através do bloco **“Route 4”** envia-se as entidade para a estação **“Esteira”**. Essa etapa simula a chegada das entidades as prensas. Por meio do bloco **“Qual auxiliar da prensa esta livre?”** decide-se em qual das quatro prensas a entidade será processada. Se todas as prensas estiverem alocadas, as entidades são enviadas através do bloco **“Route 7”** para a estação **“Retrabalho_”**. Antes de verificar qual das prensas pode alocar o recurso, se analisa a quantidade de telhas que estão na esteira da saída da prensa no bloco **“Telhas na esteira”**. A Figura 4.27 mostra a configuração do bloco **“Qual auxiliar da prensa esta livre?”**.

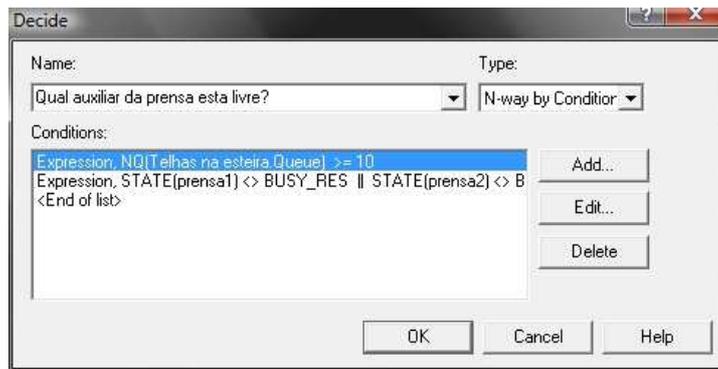


Figura 4.27: Configuração do Bloco “Qual auxiliar da prensa esta livre?”.

Caso o número de telhas seja maior ou igual a 10, as entidades são enviadas através do bloco “**Route 5**” para a estação “**Bancada**”. Nessa etapa busca-se simular o armazenamento das entidades em uma fila por meio do bloco “**Fila da prensa**”, sendo liberadas até que a quantidade de telhas da esteira diminua, onde retornam por meio do bloco “**Route 8**” para a estação “**Esteira**”.

Em seguida, por meio do bloco “**Route 6**” envia-se as entidades para a estação “**Prensas**”. O processo do bloco “**Process 3**” utiliza quatro prensas e, como as prensas possuem tempos de processamento iguais e determinísticos, os recursos são agrupados em um set chamado de “**Máquinas da Prensa**”. A Figura 4.28 mostra a configuração do bloco “**Process 3**”.

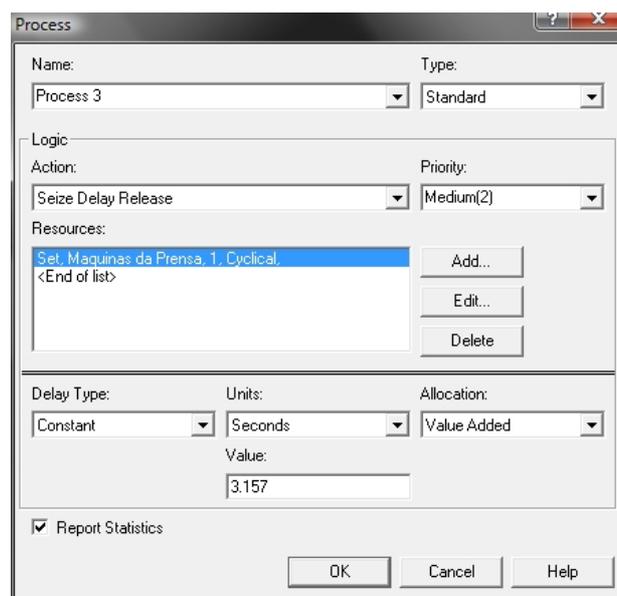


Figura 4.28: Configuração do Bloco “Process 3”.

As entidades seguem para a próxima etapa por meio do bloco **“Route 9”** onde chegam até a estação **“Inspecao”**. Já no bloco **“Telha esta sem defeito?”** busca-se verificar a qualidade das telhas. Caso haja alguma deformidade, as telhas são enviadas para a estação **“Retrabalho”** através do bloco **“Route 11”**, entretanto, se não houver nenhuma deformidade, através do bloco **“Route 10”** envia-se as telhas para a estação **“Esteira2”**.

Em seguida as entidades chegam ao bloco **“Telhas na esteira”** onde se simula a alocação das telhas que são retiradas das prensas. As telhas aguardam nessa esteira até que um dos auxiliares esteja disponível a fim de retirá-las da esteira e empilhá-las nas prateleiras. No processo, utilizam-se cinco auxiliares para empilhar as telhas. O bloco **“Qual auxiliar da esteira esta livre?”** verifica a disponibilidade dos recursos. No momento em que se libera um auxiliar, a primeira telha que está na fila aloca o recurso. Caso o primeiro auxiliar esteja livre, através do bloco **“Route 12”** envia-se as entidades para a estação **“Auxiliar da Esteira 1”** onde são processadas no bloco **“Process 4”**. Em seguida, por meio do bloco **“Route 17”**, envia-se as entidades para a estação **“Prateleiras”**. Da mesma maneira, se o segundo auxiliar estiver livre, através do bloco **“Route 13”**, envia-se as entidades para a estação **“Auxiliar da Esteira 2”**, onde são processadas no bloco **“Process 5”**, seguindo por meio do bloco **“Route 18”** para a estação **“Prateleiras”**. Todos os auxiliares seguem a mesma rotina de seleção. A Figura 4.29 mostra a configuração do bloco **“Qual auxiliar da esteira esta livre?”**.

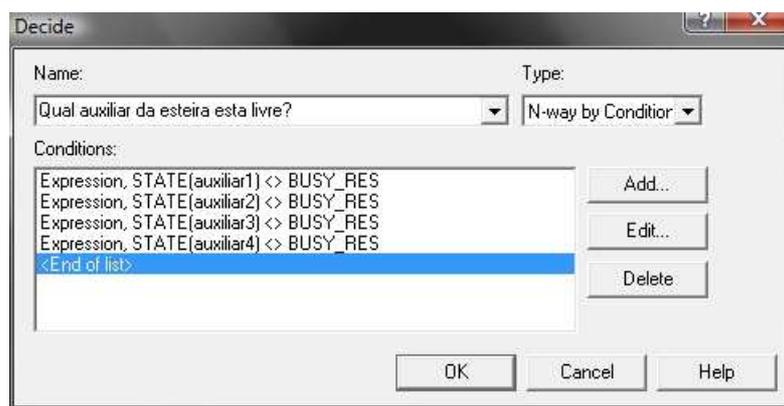


Figura 4.29: Configuração do Bloco “Qual auxiliar da esteira esta livre?”.

Os roteadores **“Route 14”**, **“Route 15”** e **“Route 16”** enviam as entidades para as estações **“Auxiliar da Esteira 3”**, **“Auxiliar da Esteira 4”** e **“Auxiliar da Esteira 5”** respectivamente, onde são processadas nos blocos **“Process 6”**, **“Process 7”** e

“**Process 8**”, seguindo por meio dos blocos “**Route 19**”, “**Route 20**” e “**Route 21**” para a estação “**Prateleiras**”.

Enfim, conforme citado anteriormente, ao passar pelo bloco “**Tempo no Sistema**”, são armazenados os tempos das entidades a fim de obter o tempo médio que cada entidade leva para percorrer todo o processo. Em seguida, a saída do sistema é representada pelo bloco “**Saida**”.

4.3.4.2 Modelo de simulação do processo de fabricação de tijolos

As etapas iniciais do modelo proposto para o sistema de fabricação de tijolos são as mesmas do processo de fabricação de telhas. Desde o bloco “**Início**” até a etapa de corte no bloco “**Process 2**” tem-se a mesma explicação apresentada da seção 4.3.4.1. A partir do bloco “**Route 3**” o modelo segue etapas diferentes. A Figura 4.30 mostra o modelo computacional desenvolvido para o processo de fabricação de tijolos e a Tabela 4.8 mostra as ligações entre os roteadores e estações do modelo.

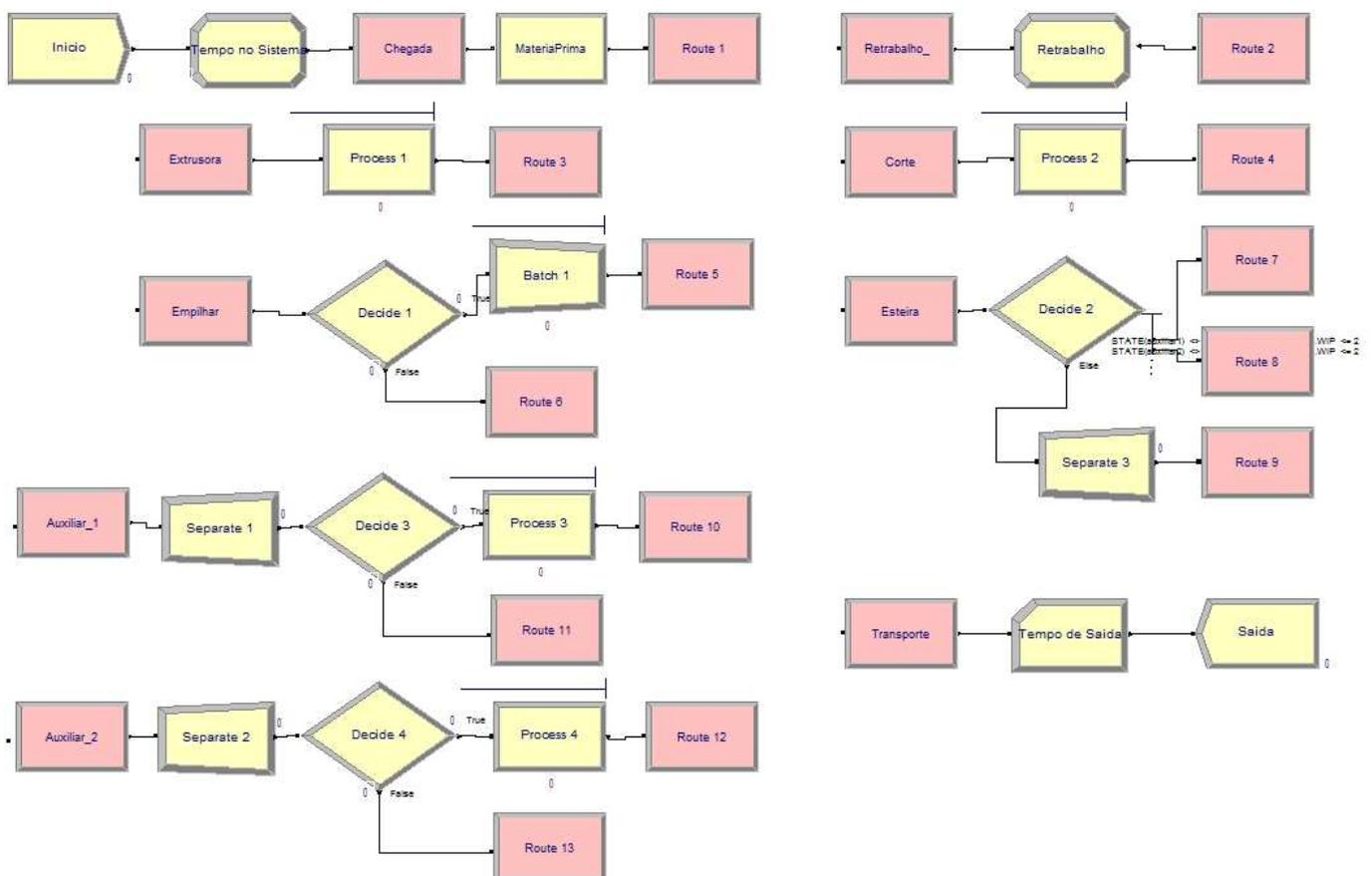
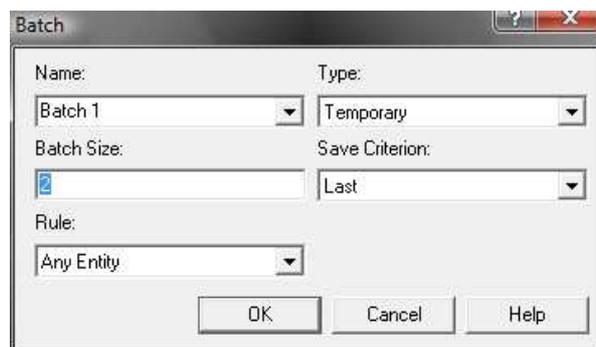


Figura 4.30: Modelo de simulação do processo produtivo de tijolo desenvolvido no ARENA.

Tabela 4.8: Ligações lógicas do modelo de simulação do processo produtivo de tijolos.

Route 1	➔	Extrusora
Route 2	➔	Chegada
Route 3	➔	Corte
Route 4	➔	Empilhar
Route 5	➔	Esteira
Route 6	➔	Retrabalho_
Route 7	➔	Auxiliar_1
Route 8	➔	Auxiliar_2
Route 9	➔	Retrabalho_
Route 10	➔	Transporte
Route 11	➔	Retrabalho_
Route 12	➔	Transporte
Route 13	➔	Retrabalho_

Ao passar pelo bloco **“Route 3”** as entidades são enviadas para a estação **“Empilhar”**. 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”**, passando pelo bloco **“Route 5”**, onde são enviadas para a estação **“Esteira”**. A Figura 4.31 mostra a configuração do bloco **“Batch 1”**. Se houver alguma desconformidade nos tijolos, os mesmos são enviados para a estação **“Retrabalho_”** por meio do bloco **“Route 6”**. Nessa etapa nem sempre se consegue retirar todos os tijolos defeituosos devido à velocidade do processo. Na próxima etapa ainda se faz a inspeção das peças que foram empilhadas.

**Figura 4.31:** Configuração do bloco “Batch 1”.

Em seguida, após passar pelo bloco “Esteira”, verifica-se através do bloco “Decide 2” qual auxiliar da esteira está disponível. Considera-se disponível o auxiliar que estiver com menos de três tijolos alocados. No sistema real, são utilizados cerca de 10 a 12 auxiliares na esteira de acordo com o fluxo da produção, porém somente dois executam o processo de retirada dos tijolos. Enquanto dois estão retirando os tijolos da esteira, outros dois já ficam aguardando a vez do outro lado da esteira. Os restantes geralmente estão levando os tijolos para a secagem. Dessa maneira, sempre há somente dois auxiliares na esteira retirando os tijolos. A Figura 4.32 mostra a configuração do bloco “Decide 2”.

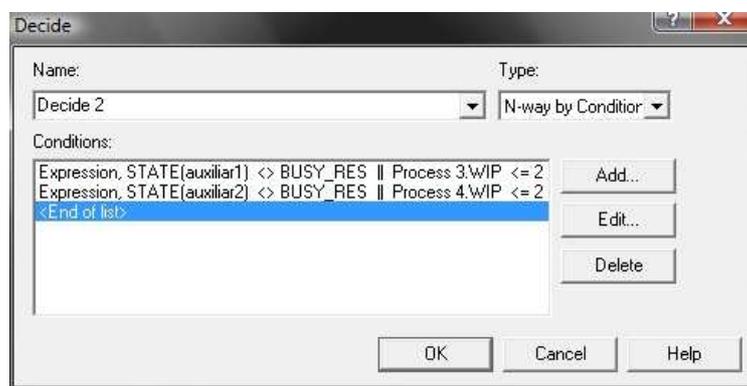


Figura 4.32: Configuração do bloco “Decide 2”.

Se os dois auxiliares estiveram ocupados, os tijolos são separados no bloco “Separate 3” e enviados para a estação “Retrabalho_” através do bloco “Route 9”. Essa separação é feita somente no modelo de simulação, pois quando os tijolos são empilhados caracteriza-se a junção de duas entidades. Para que não haja erro de compilação essas entidades precisam ser separadas novamente.

Caso o primeiro auxiliar esteja disponível, as entidades são enviadas para a estação “Auxiliar_1” através do bloco “Route 7”. Em seguida, separa-se as entidades no bloco “Separate 1” onde são verificadas no bloco “Decide 3” se ainda há alguma peça com defeito. Essa separação é feita antes de analisar a qualidade dos tijolos para que o mesmo seja verificado individualmente. Se houver deformidade, envia-se as entidades para a estação “Retrabalho_” por meio do bloco “Route 11”, caso contrário, os tijolos são processados no bloco “Process 3”, prosseguindo para a estação “Transporte” por meio do bloco “Route 10”. A Figura 4.33 mostra a configuração do bloco “Process 3”.

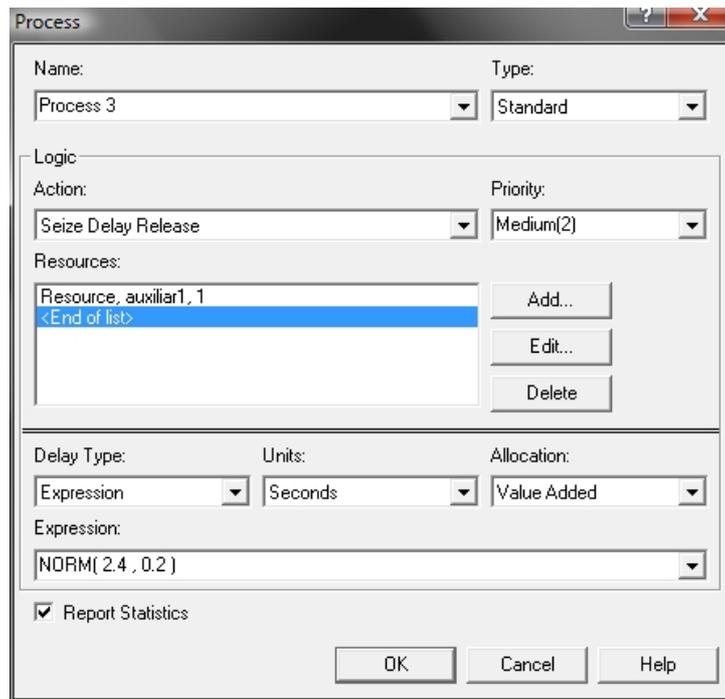


Figura 4.33: Configuração do bloco “Process 3”.

Analogamente, se o segundo auxiliar estiver disponível, envia-se as entidades para a estação “**Auxiliar_2**” através do bloco “**Route 8**”. Da mesma forma separa-se as entidades no bloco “**Separate 2**” onde são verificadas no bloco “**Decide 4**” se ainda há alguma peça com defeito. Caso haja deformidades, as entidades são enviadas para a estação “**Retrabalho_**” por meio do bloco “**Route 13**”, caso contrário, os tijolos são processados no bloco “**Process 4**”, onde seguem para a estação “**Transporte**” por meio do bloco “**Route 12**”.

Por fim, captura-se o tempo médio de permanência das entidades no sistema por meio do bloco “**Tempo de Saida**” seguindo para a saída do sistema no bloco “**Saida**”.

4.4 Validação do modelo

A validação do modelo é uma das etapas mais importantes do projeto, sem ela os experimentos não podem ser aplicados. Busca-se comprovar a veracidade dos resultados alcançados a partir da simulação do processo. A metodologia utilizada para validar o modelo desenvolvido no estudo se dá a partir da comparação dos resultados da simulação com os dados técnicos. Os dados técnicos foram adquiridos por meio de entrevistas aos funcionários responsáveis pelo setor chão de fábrica da empresa. Essas

informações são capturadas ao mesmo tempo em que se mapeia o sistema. A Tabela 4.9 mostra os resultados da simulação dos modelos desenvolvidos.

Tabela 4.9: Validação do modelo de simulação.

Produto	Tempo de Simulação	Qtd. Média Produzida	Qtd. Mínima Produzida	Qtd. Máxima Produzida	Nº de Réplicas
Telha	1 hora	3.525	3.511	3.542	5
	2 horas	7.119	7.103	7.135	
	3 horas	10.715	10.698	10.757	
	4 horas	14.298	14.266	14.353	
	5 horas	17.893	17.862	17.939	
Tijolo 9x19x19	1 hora	9.396	9.387	9.419	
	2 horas	18.801	18.778	18.842	
	3 horas	28.208	28.178	28.264	
	4 horas	37.610	37.588	37.656	
	5 horas	47.017	46.981	47.084	
Tijolo 9x19x29	1 hora	6.201	6.187	6.213	
	2 horas	12.417	12.405	12.425	
	3 horas	18.635	18.621	18.642	
	4 horas	24.848	24.838	24.864	
	5 horas	31.056	31.043	31.074	

Para cada modelo foram simulados os tempos de 1 hora até 5 horas de produção, sendo que cada simulação replicou-se cinco vezes e calculou-se a média das réplicas. Como o tempo serviço no turno da manhã é de 4 horas e no turno da tarde são 5 horas de trabalho, decidiu-se simular a quantidade de horas mostrado na Tabela 4.9. Os dados mostrados na Tabela 4.9 resultam dos relatórios gerados ao final das simulações realizadas no software ARENA 7.0, que também podem ser encontrados no Apêndice B deste trabalho.

Conforme mostrado na seção 4.3.3 na análise dos dados, a empresa produz em média 3.530 telhas por hora, 9.400 tijolos 9x19x19 por hora e 6.200 tijolos 9x19x29 por hora. Observa-se que os valores simulados estão bem próximos dos dados reais.

Ao analisar o conjunto de dados anexados na Tabela B1 no final do trabalho, verifica-se que utilizando o mesmo tempo de produção em alguns dias se produz bastante e em outros se produz menos. Decidiu-se então analisar o desempenho de produção através da média de fabricação de cada peça durante os meses de agosto e setembro de

2010. Desse modo, pode-se dizer que o modelo de simulação desenvolvido representa o sistema real de fabricação de cerâmica vermelha.

A partir da validação do modelo, desenvolve-se um conjunto de cenários e análises no capítulo 5. São analisados os impactos causados pelas modificações no modelo bem como a busca por metodologias que tragam benefícios para o processo de fabricação de cerâmica.

CAPÍTULO 5

SIMULAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nessa etapa do projeto busca-se analisar o sistema por meio da simulação computacional a fim de identificar o gargalo do processo e propor possíveis melhorias no sistema. Essa análise é viabilizada uma vez que o modelo está devidamente verificado na sua sintaxe e semântica, gerando variáveis de saída semelhantes ao sistema real fundamentais para a validação do modelo, e posteriormente a execução de experimentações.

A verificação realizou-se durante o desenvolvimento do modelo. O software ARENA identifica os erros na sequência lógica do modelo, onde se facilita a execução dessa etapa. Conforme mostrado na seção 4.4, a validação do modelo realizou-se por meio da comparação das variáveis de saída do modelo de simulação com os dados reais coletados na empresa. Neste capítulo busca-se realizar experimentações no modelo desenvolvido por meio de análise de sensibilidade e a comparação de cenários.

A análise de sensibilidade tem como objetivo estudar o sistema por meio de alterações em algumas variáveis e identificando os impactos que essas mudanças

acarretaram no processo. Na comparação de cenários estuda-se a melhor estratégia utilizando os recursos disponíveis para se alcançar um objetivo específico.

Para mensurar as receitas financeiras alcançadas pela simulação, utiliza-se o preço de venda de cada produto. Como existem preços diferenciados para cada tipo de cliente, decidiu-se trabalhar com o preço de venda para pessoa física. O preço do milheiro do tijolo 9x19x19 é de R\$230,00 e o preço do tijolo 9x19x29 é de R\$345,00. Já o preço da telha será analisado a partir do preço da telha duplana portuguesa e da telha duplana romana que é de R\$740,00 o milheiro. Não se levam em conta os custos de produção.

5.1 Análise de sensibilidade

Durante o mapeamento do sistema de produção de cerâmica vermelha alguns detalhes foram sendo observados pelos funcionários da empresa. Dentre eles destaca-se a quantidade de manutenções que as máquinas sofriam durante o processo de fabricação de tijolo. Na maioria dos casos as máquinas precisam ser paradas para retirada de pedaços de raízes que agarravam na saída da boquilha na extrusora. Esse tipo de manutenção não ocorre no processo de fabricação de telhas, pois a boquilha processa bastões compactos. Nesse caso, observa-se a saída dos bastões para identificar o aparecimento de raízes.

Na maioria dos casos uma parada demora cerca de dois minutos para se retirar essas raízes da máquina e a quantidade de paradas varia de uma a seis dependendo do tempo de produção. A Tabela 5.1 mostra a quantidade de peças que são perdidas e o quanto se deixa de receber (indicado como *perda*) por dia.

Tabela 5.1: Análise das perdas ocasiona pelo excesso de paradas.

Produto	Qtd. de Paradas	Qtd. Produzida	Perda	Nº de Replicações
Tijolo 9x19x19	1	304,6	R\$ 70,06	5
	2	616,8	R\$ 141,86	
	3	929,4	R\$ 213,76	
	4	1.243,2	R\$ 285,94	
	5	1.556	R\$ 357,88	
	6	1.869,8	R\$ 430,05	
Tijolo 9x19x29	1	198,4	R\$ 68,45	
	2	406	R\$ 140,07	
	3	613,2	R\$ 211,55	
	4	820,8	R\$ 283,18	
	5	1.028	R\$ 354,66	
	6	1.235,4	R\$ 426,21	

O fator que gera maior impacto de perdas é a falta de verificação na qualidade da preparação da matéria-prima. Todo processo anterior a extrusão da massa deve ser observado para que nenhum tipo de pedra ou raiz entre na extrusora. Essas perdas também influenciam na taxa de utilização dos funcionários da esteira que tem uma média de 85% de aproveitamento de acordo com a simulação. Outro fator que pode provocar paradas no processo é através do retrabalho das peças.

De acordo com observações feitas durante a produção, constatou que as peças com defeito ou que não eram retiradas a tempo da esteira pelos auxiliares, iam caindo no chão e depois colocadas na esteira para o retrabalho. Ao entrar em contato com o chão, corre-se um grande risco de agarrar fragmentos de pedra nas peças, ocasionando paradas para manutenção da extrusora.

Verificou-se também que ao sofrer um retrabalho, as peças provocavam um retardo no processo de extrusão e corte. Na fabricação de tijolo, as peças retornam diretamente ao processo de extrusão. Isso provoca lentidão na produção, uma vez que as peças precisam ser novamente homogeneizadas. Portanto, decidiu-se analisar o sistema alterando-se o processo de retrabalho. Ao invés das peças retornarem para o processo de extrusão, seguiriam para a saída do caixão dosador conforme o processo de fabricação de telha.

No modelo desenvolvido essa alteração faz-se configurando todos os roteadores que enviam as entidades para a estação “_Retrabalho”. Nesse caso, ao invés de alterar-se o tempo de processamento das entidades na estação “_Retrabalho”, envia-se as entidades para a estação “Chegada” onde permanece o tempo inicial. A Figura 5.1 exemplifica as alterações que são feitas no modelo.

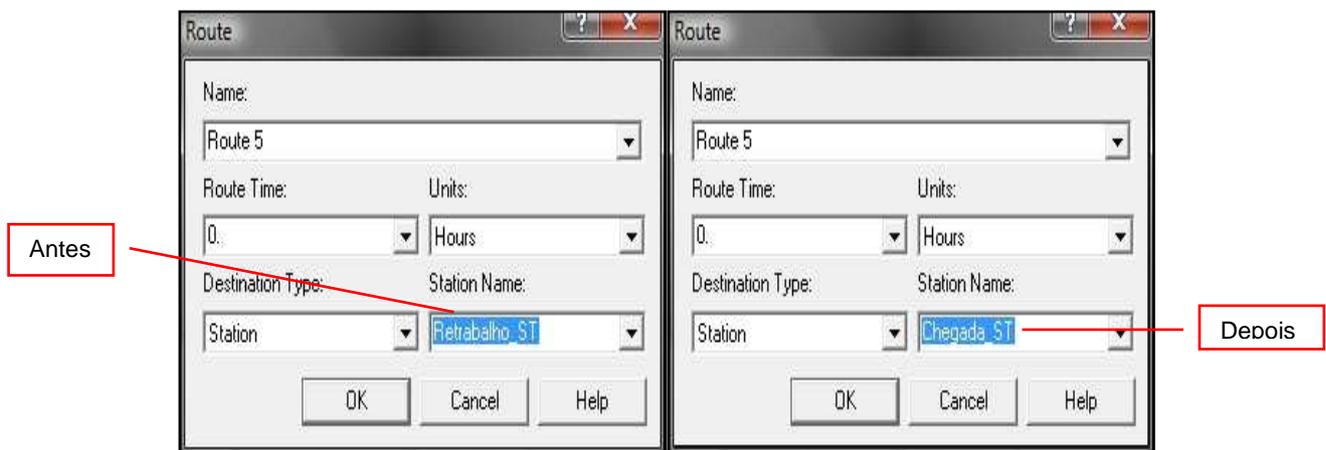


Figura 5.1: Modificação da configuração dos roteadores.

Após essas modificações iniciou-se a comparação das simulações a fim de identificar os impactos que ocorrem no sistema. Tabela 5.2 mostra a análise dos resultados.

Tabela 5.2: Impactos gerados após mudança do modelo.

Produto	Tempo de Simulação	Qtd. Média Produzida (Original)	Qtd. Média Produzida (Modificado)	Ganho	Nº de Réplicas
9x19x19	1 hora	9.396	9.412	R\$ 3,68	5
	2 horas	18.801	18.835	R\$ 7,82	
	3 horas	28.208	28.251	R\$ 9,89	
	4 horas	37.610	37.672	R\$ 14,26	
	5 horas	47.017	47.092	R\$ 17,25	
9x19x29	1 hora	6.201	6.211	R\$ 3,45	
	2 horas	12.417	12.435	R\$ 6,21	
	3 horas	18.635	18.654	R\$ 6,56	
	4 horas	24.848	24.877	R\$ 10,01	
	5 horas	31.056	31.088	R\$ 11,04	

Aparentemente os ganhos obtidos mostram-se pouco significativos, entretanto, os valores apresentados fazem parte da produção de um dia de trabalho. A carga horária de produção diária da empresa é de nove horas de serviço. É importante ressaltar que ao analisar o ganho mensal que essa alteração pode provocar, estima-se que deva chegar a R\$1.000,00.

5.2 Comparação de cenários

Nesta seção busca-se criar e comparar diversos cenários a fim de identificar a melhor política de produção. Os cenários foram desenvolvidos a partir de observações feitas no sistema real e estudados de acordo com a necessidade da empresa.

Ao observar a troca de produção de uma peça para a outra, verificou-se que a troca era feita fazia aleatoriamente, isto é, não existe planejamento da quantidade e do tipo de peça a ser produzida durante a semana. Devido à falta de planejamento operacional, em alguns casos verifica-se a produção de três a quatro tipos de produtos no mesmo dia. Cada vez que se modifica o tipo de produção, em média se gasta entre 15 e 20 minutos na troca.

Decidiu-se então criar por meio da simulação computacional políticas de planejamento da produção que aumentassem a quantidade de peças produzida e diminuísse os tipos de peças produzidos no mesmo dia. Na Tabela 5.3 é comparada a produção real da segunda semana de agosto de 2010 retirada da amostra dos dados com a produção simulada computacionalmente. Nota-se que em alguns dias a simulação apresenta valores maiores e outros menores do que a amostra de dados. A produção total simulada da semana também se encontra menor do que os dados amostrais, porém isso varia de acordo com a escolha dos dados. A simulação poderia apresentar valores maiores dependendo da escolha da amostra. Para a realização do estudo faz-se a comparação entre os cenários a partir dos valores obtidos via simulação.

Tabela 5.3: Extrato referente à produção da segunda semana de agosto da empresa.

Produto	Dia/Mês	Início da Produção	Término da Produção	Tempo de Produção	Qtd. Produzida (Real)	Qtd. Produzida (Simulado)	Tempo de Troca de Produção
9x19x29	09/ago	07:00	09:00	120min.	11.200	12.417	15min.
9x19x19	09/ago	09:15	11:05	89min.	12.960	13.967	
Telha	09/ago	12:03	15:58	235min.	13.860	13.999	
Telha	10/ago	07:00	08:40	100min.	6.720	5.926	35min.
9x19x19	10/ago	09:00	14:00	232min.	38.016	36.417	
9x19x29	10/ago	14:15	17:00	163min.	18.080	16.892	
9x19x29	11/ago	07:00	08:57	117min.	12.800	12.123	18min.
9x19x19	11/ago	09:15	11:15	118min.	20.160	18.521	
Telha	11/ago	12:15	16:50	275min.	15.540	16.391	
9x19x19	12/ago	07:00	09:00	113min.	17.280	17.734	30min.
9x19x29	12/ago	09:15	14:00	225min.	24.000	23.322	
Telha	12/ago	14:15	16:45	150min.	9.660	8.926	
9x19x29	13/ago	07:00	09:00	118min.	12.800	12.228	15min.
Telha	13/ago	09:15	10:50	95min.	5.880	5.622	
9x19x29	13/ago	12:00	17:00	300min.	30.400	31.088	
9x19x29	14/ago	07:05	11:15	241min.	24.000	24.980	0
Total				2.691min.	273.356	270.553	113min.

Os tempos de manutenção da máquina já estão descontados nos tempos de produção, o que se pode verificar detalhadamente na Tabela B1 no final do trabalho. É possível observar também que o tempo mínimo para se mudar de um processo para o outro demora em média 15 minutos. O pior caso mostra que no mesmo dia obteve o tempo de troca de 35 minutos. A Tabela 5.4 mostra a quantidade de peças produzidas na semana e o número de vezes que o produto foi fabricado.

Tabela 5.4: Quantidade de peças produzidas na semana.

	Telha	9x19x29	9x19x19	Total	Valor Arrecadado
Utilização do Processo	5	7	4	16	—
Qtd. Produzida (Real)	51.660	133.280	88.416	273.356	R\$ 104.545,68
Qtd. Produzida (Simulado)	50.864	133.050	86.639	270.553	R\$ 103.468,58

Utilizam-se os valores referentes à quantidade produzida via simulação mostrada na Tabela 5.4 para a comparação entre cenários. Não se leva em conta apenas o aumento da produção total, mas também o equilíbrio entre a quantidade de peças fabricadas. O objetivo é aumentar a produção mantendo a porcentagem de fabricação de cada peça conforme mostra o Gráfico 5.1.

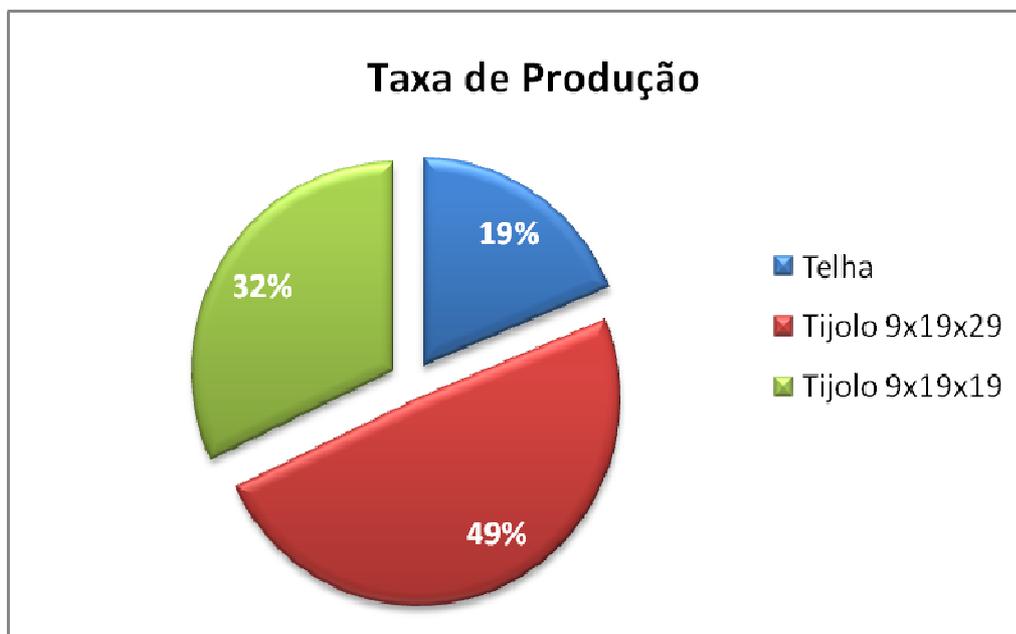


Gráfico 5.1: Percentual da produção simulado.

A seguir, nas próximas seções, fazem-se comparações entre os cenários. Não são apresentadas todas as possíveis combinações devido ao grande número de cenários. As peças são produzidas no turno da manhã, onde ocorre uma pausa para o almoço e retornam no turno da tarde, salvo o sábado que só trabalha-se no período da manhã.

Portanto, desenvolveu-se a comparação de trinta cenários dividido da seguinte maneira: dez cenários com a produção de um tipo de peça por dia, dez cenários com a produção de dois tipos de peças por dia e dez cenários com a produção mista, isto é, possibilitando fabricar um ou dois tipos de peças por dia.

5.2.1 Fabricação de um tipo de peça por dia

Nesta seção busca-se melhorar o planejamento da produção por meio do desenvolvimento e simulação de dez cenários onde se analisa a fabricação de apenas um tipo de peça por dia no período de uma semana. A Tabela 5.5 mostra os resultados do primeiro cenário.

Tabela 5.5: Primeiro cenário com a produção de um tipo de peça por dia.

Produto	Dia/Mês	Início da Produção	Término da Produção	Tempo de Produção	Qtd. Produzida	Valor Arrecadado
9x19x29	09/ago	07:00	11:05	224min.	23.218	R\$ 8.010,21
9x19x29	09/ago	12:03	15:58	235min.	24.358	R\$ 8.403,51
9x19x19	10/ago	07:00	11:00	232min.	36.417	R\$ 8.375,91
9x19x19	10/ago	12:00	17:00	298min.	46.778	R\$ 10.758,94
Telha	11/ago	07:00	11:15	253min.	15.073	R\$ 11.154,02
Telha	11/ago	12:15	16:50	275min.	16.391	R\$ 12.129,34
9x19x29	12/ago	07:00	11:00	233min.	24.151	R\$ 8.332,10
9x19x29	12/ago	12:00	16:45	285min.	29.536	R\$ 10.189,92
9x19x19	13/ago	07:00	10:50	228min.	35.788	R\$ 8.231,24
9x19x19	13/ago	12:00	17:00	300min.	47.092	R\$ 10.831,16
Telha	14/ago	07:05	11:15	241min.	14.358	R\$ 10.624,92
Total				2.804min.	313.160	R\$ 107.041,27

De acordo com a simulação desse primeiro cenário, foram produzidas 313.160 peças com a arrecadação de R\$ 107.041,27 sendo que 45.822 ou 15% das peças são destinados a produção de telhas, 101.263 ou 32% referem-se à produção do tijolo 9x19x29 e 166.075 ou 53% das peças produzidas referem-se à produção do tijolo 9x19x19. Os valores arrecadados são R\$ 33.908,28 para a telha, R\$ 34.935,74 para o tijolo 9x19x29 e R\$38.197,25 para o tijolo 9x19x19.

Apesar do valor arrecadado e o total de peças produzidas no primeiro cenário terem aumentado em relação ao total produzido pela empresa, conforme já mencionado não se busca somente aumentar a produção, mas manter as proporções de 19% de telhas, 49% do tijolo 9x19x29 e 32% do tijolo 9x19x19, o que não ocorre nessa primeira comparação.

A partir do primeiro cenário modifica-se a ordem da produção onde se tem a configuração do segundo cenário conforme mostra a Tabela 5.6 a seguir.

Tabela 5.6: Segundo cenário com a produção de um tipo de peça por dia.

Produto	Dia/Mês	Início da Produção	Término da Produção	Tempo de Produção	Qtd. Produzida	Valor Arrecadado
9x19x19	09/ago	07:00	11:05	224min.	35.160	R\$ 8.086,80
9x19x19	09/ago	12:03	15:58	235min.	36.890	R\$ 8.484,70
9x19x29	10/ago	07:00	11:00	232min.	24.048	R\$ 8.296,56
9x19x29	10/ago	12:00	17:00	298min.	30.881	R\$ 10.653,95
Telha	11/ago	07:00	11:15	253min.	15.073	R\$ 11.154,02
Telha	11/ago	12:15	16:50	275min.	16.391	R\$ 12.129,34
9x19x19	12/ago	07:00	11:00	233min.	36.575	R\$ 8.412,25
9x19x19	12/ago	12:00	16:45	285min.	44.736	R\$ 10.289,28
9x19x29	13/ago	07:00	10:50	228min.	23.632	R\$ 8.153,04
9x19x29	13/ago	12:00	17:00	300min.	31.088	R\$ 10.725,36
Telha	14/ago	07:05	11:15	241min.	14.358	R\$ 10.624,92
Total				2.804min.	308.832	R\$ 107.010,22

No segundo cenário, a simulação mostra que foram produzidas 308.832 peças com a arrecadação de R\$107.010,22 sendo que 45.822 ou 15% das peças são destinados a produção de telhas, 109.649 ou 35% referem-se à produção do tijolo 9x19x29 e 153.361 ou 50% das peças produzidas referem-se à produção do tijolo 9x19x19. Os valores arrecadados são R\$33.908,28 para a telha, R\$37.828,91 para o tijolo 9x19x29 e R\$35.273,03 para o tijolo 9x19x19.

Observa-se que em relação ao primeiro cenário houve uma diminuição no total de peças produzidas e no valor arrecadado, porém o percentual de produção de cada item encontra-se um pouco mais próximo do valor esperado ainda que o segundo cenário não corresponda ao planejamento da produção que se deseja alcançar.

Desse modo, a partir do segundo cenário modifica-se a ordem da produção onde se apresenta a configuração do terceiro cenário conforme mostra a Tabela 5.7 a seguir.

Tabela 5.7: Terceiro cenário com a produção de um tipo de peça por dia.

Produto	Dia/Mês	Início da Produção	Término da Produção	Tempo de Produção	Qtd. Produzida	Valor Arrecadado
Telha	09/ago	07:00	11:05	224min.	13.340	R\$ 9.871,60
Telha	09/ago	12:03	15:58	235min.	13.999	R\$ 10.359,26
9x19x29	10/ago	07:00	11:00	232min.	24.048	R\$ 8.296,56
9x19x29	10/ago	12:00	17:00	298min.	30.881	R\$ 10.653,95
9x19x19	11/ago	07:00	11:15	253min.	39.711	R\$ 9.133,53
9x19x19	11/ago	12:15	16:50	275min.	43.167	R\$ 9.928,41
Telha	12/ago	07:00	11:00	233min.	13.878	R\$ 10.269,72
Telha	12/ago	12:00	16:45	285min.	16.990	R\$ 12.572,60
9x19x29	13/ago	07:00	10:50	228min.	23.632	R\$ 8.153,04
9x19x29	13/ago	12:00	17:00	300min.	31.088	R\$ 10.725,36
9x19x19	14/ago	07:05	11:15	241min.	37.829	R\$ 8.700,67
Total				2.804min.	288.563	R\$ 108.664,70

No terceiro cenário, a simulação mostra que foram produzidas 288.563 peças com a arrecadação de R\$108.664,70 sendo que 58.207 ou 20% das peças são destinados a produção de telhas, 109.649 ou 38% referem-se à produção do tijolo 9x19x29 e 120.707 ou 42% das peças produzidas referem-se à produção do tijolo 9x19x19. Os valores arrecadados são R\$43.073,18 para a telha, R\$37.828,91 para o tijolo 9x19x29 e R\$27.762,61 para o tijolo 9x19x19.

Comparando-se os resultados obtidos com o segundo cenário nota-se que houve uma diminuição no total de peças produzidas e um aumento no valor arrecadado, entretanto o percentual de produção de cada item ainda encontra-se diferente do valor esperado. Embora o valor arrecadado se mostre alto, o terceiro cenário não corresponde ao planejamento da produção que se deseja alcançar.

Desse modo, a partir do terceiro cenário modifica-se a ordem da produção onde se apresenta a configuração do quarto cenário conforme mostra a Tabela 5.8 a seguir.

Tabela 5.8: Quarto cenário com a produção de um tipo de peça por dia.

Produto	Dia/Mês	Início da Produção	Término da Produção	Tempo de Produção	Qtd. Produzida	Valor Arrecadado
Telha	09/ago	07:00	11:05	224min.	13.340	R\$ 9.871,60
Telha	09/ago	12:03	15:58	235min.	13.999	R\$ 10.359,26
9x19x19	10/ago	07:00	11:00	232min.	36.417	R\$ 8.375,91
9x19x19	10/ago	12:00	17:00	298min.	46.778	R\$ 10.758,94
9x19x29	11/ago	07:00	11:15	253min.	26.222	R\$ 9.046,59
9x19x29	11/ago	12:15	16:50	275min.	28.501	R\$ 9.832,85
Telha	12/ago	07:00	11:00	233min.	13.878	R\$ 10.269,72
Telha	12/ago	12:00	16:45	285min.	16.990	R\$ 12.572,60
9x19x19	13/ago	07:00	10:50	228min.	35.788	R\$ 8.231,24
9x19x19	13/ago	12:00	17:00	300min.	47.092	R\$ 10.831,16
9x19x29	14/ago	07:05	11:15	241min.	24.980	R\$ 8.618,10
Total				2.804min.	303.985	R\$ 108.767,97

Já o quarto cenário mostra que a partir da simulação gerou-se 303.985 peças com a arrecadação de R\$108.767,97 sendo que 58.207 ou 19% das peças são destinados a produção de telhas, 79.703 ou 26% referem-se à produção do tijolo 9x19x29 e 166.075 ou 55% das peças produzidas referem-se à produção do tijolo 9x19x19. Os valores arrecadados são R\$43.073,18 para a telha, R\$27.497,54 para o tijolo 9x19x29 e R\$38.197,25 para o tijolo 9x19x19.

Em relação ao terceiro cenário nota-se que houve um aumento tanto no total de peças produzidas quanto no valor arrecadado, entretanto o único item que mostra o percentual de produção desejado é a telha. Já os dois tipos de tijolos apresentam-se fora do percentual esperado.

Portanto, a partir do quarto cenário modifica-se a ordem da produção onde se apresenta a configuração do quinto cenário conforme mostra a Tabela 5.9 a seguir.

Tabela 5.9. Quinto cenário com a produção de um tipo de peça por dia.

Produto	Dia/Mês	Início da Produção	Término da Produção	Tempo de Produção	Qtd. Produzida	Valor Arrecadado
9x19x19	09/ago	07:00	11:05	224min.	35.160	R\$ 8.086,80
9x19x19	09/ago	12:03	15:58	235min.	36.890	R\$ 8.484,70
9x19x19	10/ago	07:00	11:00	232min.	36.417	R\$ 8.375,91
9x19x19	10/ago	12:00	17:00	298min.	46.778	R\$ 10.758,94
9x19x29	11/ago	07:00	11:15	253min.	26.222	R\$ 9.046,59
9x19x29	11/ago	12:15	16:50	275min.	28.501	R\$ 9.832,85
9x19x29	12/ago	07:00	11:00	233min.	24.151	R\$ 8.332,10
9x19x29	12/ago	12:00	16:45	285min.	29.536	R\$ 10.189,92
Telha	13/ago	07:00	10:50	228min.	13.579	R\$ 10.048,46
Telha	13/ago	12:00	17:00	300min.	17.893	R\$ 13.240,82
Telha	14/ago	07:05	11:15	241min.	14.358	R\$ 10.624,92
Total				2.804min.	309.485	R\$ 107.022,00

O quinto cenário mostra que a partir da simulação a produção total gerou 309.485 peças com a arrecadação de R\$107.022,00 sendo que 45.830 ou 15% das peças são destinados a produção de telhas, 108.410 ou 35% referem-se à produção do tijolo 9x19x29 e 155.245 ou 50% das peças produzidas referem-se à produção do tijolo 9x19x19. Os valores arrecadados são R\$33.914,20 para a telha, R\$37.401,45 para o tijolo 9x19x29 e R\$35.706,35 para o tijolo 9x19x19.

Ao se comparar os resultados do quinto cenário com o quarto cenário nota-se que houve um aumento no total de peças produzidas e a diminuição do valor arrecadado, entretanto o percentual de produção de cada peça ainda mostra-se fora do esperado.

Portanto, a partir do quinto cenário novamente modifica-se a ordem da produção onde se tem a configuração do sexto cenário conforme mostra a Tabela 5.10 a seguir.

Tabela 5.10: Sexto cenário com a produção de um tipo de peça por dia.

Produto	Dia/Mês	Início da Produção	Término da Produção	Tempo de Produção	Qtd. Produzida	Valor Arrecadado
9x19x29	09/ago	07:00	11:05	224min.	23.218	R\$ 8.010,21
9x19x29	09/ago	12:03	15:58	235min.	24.358	R\$ 8.403,51
9x19x29	10/ago	07:00	11:00	232min.	24.048	R\$ 8.296,56
9x19x29	10/ago	12:00	17:00	298min.	30.881	R\$ 10.653,95
9x19x19	11/ago	07:00	11:15	253min.	39.711	R\$ 9.133,53
9x19x19	11/ago	12:15	16:50	275min.	43.167	R\$ 9.928,41
9x19x19	12/ago	07:00	11:00	233min.	36.575	R\$ 8.412,25
9x19x19	12/ago	12:00	16:45	285min.	44.736	R\$ 10.289,28
Telha	13/ago	07:00	10:50	228min.	13.579	R\$ 10.048,46
Telha	13/ago	12:00	17:00	300min.	17.893	R\$ 13.240,82
Telha	14/ago	07:05	11:15	241min.	14.358	R\$ 10.624,92
Total				2.804min.	312.524	R\$ 107.041,90

Após a simulação do sexto cenário, os resultados mostram que produção total é de 312.524 peças com a arrecadação de R\$107.041,90 sendo que 45.830 ou 15% das peças são destinados a produção de telhas, 102.505 ou 33% referem-se à produção do tijolo 9x19x29 e 164.189 ou 52% das peças produzidas referem-se à produção do tijolo 9x19x19. Os valores arrecadados são R\$33.914,20 para a telha, R\$35.364,23 para o tijolo 9x19x29 e R\$37.763,47 para o tijolo 9x19x19.

Ao se comparar os resultados do sexto cenário com o quinto cenário nota-se que houve um aumento no total de peças produzidas e um leve aumento no valor arrecado, entretanto o percentual de produção de cada peça ainda mostra-se fora do esperado.

Portanto modifica-se a ordem da produção do sexto cenário a fim de gerar o sétimo cenário. A Tabela 5.11 mostra os resultados alcançados após a simulação.

Tabela 5.11: Sétimo cenário com a produção de um tipo de peça por dia.

Produto	Dia/Mês	Início da Produção	Término da Produção	Tempo de Produção	Qtd. Produzida	Valor Arrecadado
9x19x19	09/ago	07:00	11:05	224min.	35.160	R\$ 8.086,80
9x19x19	09/ago	12:03	15:58	235min.	36.890	R\$ 8.484,70
9x19x19	10/ago	07:00	11:00	232min.	36.417	R\$ 8.375,91
9x19x19	10/ago	12:00	17:00	298min.	46.778	R\$ 10.758,94
Telha	11/ago	07:00	11:15	253min.	15.073	R\$ 11.154,02
Telha	11/ago	12:15	16:50	275min.	16.391	R\$ 12.129,34
Telha	12/ago	07:00	11:00	233min.	13.878	R\$ 10.269,72
Telha	12/ago	12:00	16:45	285min.	16.990	R\$ 12.572,60
9x19x29	13/ago	07:00	10:50	228min.	23.632	R\$ 8.153,04
9x19x29	13/ago	12:00	17:00	300min.	31.088	R\$ 10.725,36
9x19x29	14/ago	07:05	11:15	241min.	24.980	R\$ 8.618,10
Total				2.804min.	297.277	R\$ 109.328,53

A partir da simulação do sétimo cenário, os resultados mostram que produção total é de 297.277 peças com a arrecadação de R\$109.328,53 sendo que 62.332 ou 21% das peças são destinados a produção de telhas, 79.700 ou 27% referem-se à produção do tijolo 9x19x29 e 155.245 ou 52% das peças produzidas referem-se à produção do tijolo 9x19x19. Os valores arrecadados são R\$46.125,68 para a telha, R\$27.496,50 para o tijolo 9x19x29 e R\$35.706,35 para o tijolo 9x19x19.

Comparando-se os resultados do sétimo cenário com o sexto cenário verifica-se que há uma diminuição no total de peças produzidas e um aumento no valor arrecado, entretanto o percentual de produção de cada peça ainda mostra-se fora do esperado.

Dessa forma modifica-se a ordem da produção do sétimo cenário a fim de gerar o oitavo cenário. A Tabela 5.12 mostra os resultados alcançados após a simulação.

Tabela 5.12: Oitavo cenário com a produção de um tipo de peça por dia.

Produto	Dia/Mês	Início da Produção	Término da Produção	Tempo de Produção	Qtd. Produzida	Valor Arrecadado
9x19x29	09/ago	07:00	11:05	224min.	23.218	R\$ 8.010,21
9x19x29	09/ago	12:03	15:58	235min.	24.358	R\$ 8.403,51
9x19x19	10/ago	07:00	11:00	232min.	36.417	R\$ 8.375,91
9x19x19	10/ago	12:00	17:00	298min.	46.778	R\$ 10.758,94
Telha	11/ago	07:00	11:15	253min.	15.073	R\$ 11.154,02
Telha	11/ago	12:15	16:50	275min.	16.391	R\$ 12.129,34
Telha	12/ago	07:00	11:00	233min.	13.878	R\$ 10.269,72
Telha	12/ago	12:00	16:45	285min.	16.990	R\$ 12.572,60
9x19x29	13/ago	07:00	10:50	228min.	23.632	R\$ 8.153,04
9x19x29	13/ago	12:00	17:00	300min.	31.088	R\$ 10.725,36
9x19x29	14/ago	07:05	11:15	241min.	24.980	R\$ 8.618,10
Total				2.804min.	272.803	R\$ 109.170,75

Verifica-se que os resultados do oitavo cenário adquirido a partir da simulação mostram que produção total é de 272.803 peças com a arrecadação de R\$109.170,75 sendo que 62.332 ou 23% das peças são destinados a produção de telhas, 127.276 ou 47% referem-se à produção do tijolo 9x19x29 e 83.195 ou 30% das peças produzidas referem-se à produção do tijolo 9x19x19. Os valores arrecadados são R\$46.125,68 para a telha, R\$43.910,22 para o tijolo 9x19x29 e R\$19.134,85 para o tijolo 9x19x19.

Ao se comparar os resultados do oitavo cenário com o sétimo cenário verifica-se que há uma diminuição representativa no total de peças produzidas, porém o valor arrecadado sofre uma leve diminuição. Os resultados do oitavo cenário apresentam o percentual de produção bem próximos do esperado, entretanto necessita-se que a produção de tijolos seja um pouco maior.

Para isso cria-se o nono cenário alterando-se a ordem da produção do oitavo cenário a fim de obter melhores resultados. A Tabela 5.13 mostra os resultados do nono cenário após a simulação.

Tabela 5.13: Nono cenário com a produção de um tipo de peça por dia.

Produto	Dia/Mês	Início da Produção	Término da Produção	Tempo de Produção	Qtd. Produzida	Valor Arrecadado
9x19x29	09/ago	07:00	11:05	224min.	23.218	R\$ 8.010,21
9x19x29	09/ago	12:03	15:58	235min.	24.358	R\$ 8.403,51
Telha	10/ago	07:00	11:00	232min.	13.818	R\$ 10.225,32
Telha	10/ago	12:00	17:00	298min.	17.772	R\$ 13.151,28
9x19x19	11/ago	07:00	11:15	253min.	39.711	R\$ 9.133,53
9x19x19	11/ago	12:15	16:50	275min.	43.167	R\$ 9.928,41
Telha	12/ago	07:00	11:00	233min.	13.878	R\$ 10.269,72
Telha	12/ago	12:00	16:45	285min.	16.990	R\$ 12.572,60
9x19x29	13/ago	07:00	10:50	228min.	23.632	R\$ 8.153,04
9x19x29	13/ago	12:00	17:00	300min.	31.088	R\$ 10.725,36
9x19x29	14/ago	07:05	11:15	241min.	24.980	R\$ 8.618,10
Total				2.804min.	272.612	R\$ 109.191,08

De acordo com a simulação, os resultados apontam que foram produzidas um total de 272.612 peças com a arrecadação de R\$109.191,08 sendo que 62.458 ou 23% das peças são destinados a produção de telhas, 127.276 ou 47% referem-se à produção do tijolo 9x19x29 e 82.878 ou 30% das peças produzidas referem-se à produção do tijolo 9x19x19. Os valores arrecadados são R\$46.218,92 para a telha, R\$43.910,22 para o tijolo 9x19x29 e R\$19.061,94 para o tijolo 9x19x19.

Ao se comparar os resultados do nono cenário com o oitavo cenário verifica-se que houve poucas alterações no total de peças produzidas e no valor arrecadado. As modificações propostas nesse novo cenário não provocaram impacto no percentual de produção adquirido anteriormente no oitavo cenário. Assim, ainda não se tem os resultados desejados para a produção.

Logo, cria-se o décimo cenário alterando-se a ordem da produção do nono cenário. A Tabela 5.14 mostra os resultados do nono cenário após a simulação.

Tabela 5.14: Décimo cenário com a produção de um tipo de peça por dia.

Produto	Dia/Mês	Início da Produção	Término da Produção	Tempo de Produção	Qtd. Produzida	Valor Arrecadado
Telha	09/ago	07:00	11:05	224min.	13.340	R\$ 9.871,60
Telha	09/ago	12:03	15:58	235min.	13.999	R\$ 10.359,26
9x19x19	10/ago	07:00	11:00	232min.	36.417	R\$ 8.375,91
9x19x19	10/ago	12:00	17:00	298min.	46.778	R\$ 10.758,94
9x19x29	11/ago	07:00	11:15	253min.	26.222	R\$ 9.046,59
9x19x29	11/ago	12:15	16:50	275min.	28.501	R\$ 9.832,85
Telha	12/ago	07:00	11:00	233min.	13.878	R\$ 10.269,72
Telha	12/ago	12:00	16:45	285min.	16.990	R\$ 12.572,60
9x19x29	13/ago	07:00	10:50	228min.	23.632	R\$ 8.153,04
9x19x29	13/ago	12:00	17:00	300min.	31.088	R\$ 10.725,36
9x19x29	14/ago	07:05	11:15	241min.	24.980	R\$ 8.618,10
Total				2.804min.	275.825	R\$ 108.583,97

Analisando-se os resultados da simulação do décimo cenário, verifica-se a geração de 275.825 peças com a arrecadação de R\$108.583,97 sendo que 58.207 ou 21% das peças são destinados a produção de telhas, 134.423 ou 49% referem-se à produção do tijolo 9x19x29 e 83.195 ou 30% das peças produzidas referem-se à produção do tijolo 9x19x19. Os valores arrecadados são R\$43.073,18 para a telha, R\$46.375,94 para o tijolo 9x19x29 e R\$19.134,85 para o tijolo 9x19x19.

Comparando-se os resultados do décimo cenário com o nono cenário observa-se que o total de peças produzido aumentou, porém o valor arrecadado diminuiu. Nota-se que o percentual de produção do tijolo 9x19x29 encontra-se exatamente no intervalo esperado, entretanto o percentual de produção de telha mostra-se um pouco acima e o percentual de produção do tijolo 9x19x19 se apresenta um pouco abaixo do objetivo.

A proposta de fabricação de um tipo de peça por dia mostra-se ineficaz. Em todos os cenários nenhum deles obteve o percentual de produção pretendido. Alguns cenários apresentaram valores aproximados, porém ainda não é o suficiente para se mostrar uma melhoria no planejamento da produção. Verifica-se que para se obter a produção de 32% do tijolo 9x19x19, necessita-se que o mesmo seja fabricado somente no período da tarde

onde se tem maior tempo de produção, a menos que se diminua o tempo de parada por meio de melhorias no processo de preparação da matéria-prima.

5.2.2 Fabricação de dois tipos de peças por dia

Após a análise da produção de um tipo de peça por dia, nesta seção se propõe aprimorar o planejamento da produção por meio da comparação de dez cenários onde se analisa a fabricação de dois tipos de peças por dia no período de uma semana. A Tabela 5.15 mostra os resultados do primeiro cenário desenvolvido.

Tabela 5.15: Primeiro cenário com a produção de dois tipos de peças por dia.

Produto	Dia/Mês	Início da Produção	Término da Produção	Tempo de Produção	Qtd. Produzida	Valor Arrecadado
Telha	09/ago	07:00	11:05	224min.	13.340	R\$ 9.871,60
9x19x19	09/ago	12:03	15:58	235min.	36.890	R\$ 8.484,70
Telha	10/ago	07:00	11:00	232min.	13.818	R\$ 10.225,32
9x19x29	10/ago	12:00	17:00	298min.	30.881	R\$ 10.653,95
Telha	11/ago	07:00	11:15	253min.	15.073	R\$ 11.154,02
9x19x19	11/ago	12:15	16:50	275min.	43.167	R\$ 9.928,41
Telha	12/ago	07:00	11:00	233min.	13.878	R\$ 10.269,72
9x19x29	12/ago	12:00	16:45	285min.	29.536	R\$ 10.189,92
9x19x29	13/ago	07:00	10:50	228min.	23.632	R\$ 8.153,04
9x19x19	13/ago	12:00	17:00	300min.	47.092	R\$ 10.831,16
9x19x29	14/ago	07:05	11:15	241min.	24.980	R\$ 8.618,10
Total				2.804min.	292.287	R\$ 108.379,94

De acordo com a simulação desse primeiro cenário, foram produzidas 292.287 peças com a arrecadação de R\$ 108.379,94 sendo que 56.109 ou 19% das peças são destinados a produção de telhas, 109.029 ou 37% referem-se à produção do tijolo 9x19x29 e 127.149 ou 44% das peças produzidas referem-se à produção do tijolo 9x19x19. Os valores arrecadados são R\$ 41.520,66 para a telha, R\$ 37.615,01 para o tijolo 9x19x29 e R\$29.244,27 para o tijolo 9x19x19.

Ao se comparar o primeiro cenário com o décimo cenário da seção anterior que apresenta maior proximidade dos valores esperados, verifica-se que o valor arrecadado encontra-se um pouco abaixo, porém há um aumento no total de peças produzidas. Nota-

se também que os percentuais de produção dos dois tijolos se afastaram dos valores que se deseja alcançar.

Dessa forma, a partir do primeiro cenário modifica-se a ordem da produção onde se tem a configuração do segundo cenário conforme mostra a Tabela 5.16 a seguir.

Tabela 5.16: Segundo cenário com a produção de dois tipos de peças por dia.

Produto	Dia/Mês	Início da Produção	Término da Produção	Tempo de Produção	Qtd. Produzida	Valor Arrecadado
Telha	09/ago	07:00	11:05	224min.	13.340	R\$ 9.871,60
9x19x29	09/ago	12:03	15:58	235min.	24.358	R\$ 8.403,51
Telha	10/ago	07:00	11:00	232min.	13.818	R\$ 10.225,32
9x19x19	10/ago	12:00	17:00	298min.	46.778	R\$ 10.758,94
Telha	11/ago	07:00	11:15	253min.	15.073	R\$ 11.154,02
9x19x29	11/ago	12:15	16:50	275min.	28.501	R\$ 9.832,85
Telha	12/ago	07:00	11:00	233min.	13.878	R\$ 10.269,72
9x19x19	12/ago	12:00	16:45	285min.	44.736	R\$ 10.289,28
9x19x29	13/ago	07:00	10:50	228min.	23.632	R\$ 8.153,04
9x19x19	13/ago	12:00	17:00	300min.	47.092	R\$ 10.831,16
9x19x29	14/ago	07:05	11:15	241min.	24.980	R\$ 8.618,10
Total				2.804min.	296.186	R\$ 108.407,54

No segundo cenário, a simulação mostra que foram produzidas 296.186 peças com a arrecadação de R\$108.407,54 sendo que 56.109 ou 19% das peças são destinados a produção de telhas, 101.471 ou 34% referem-se à produção do tijolo 9x19x29 e 138.606 ou 47% das peças produzidas referem-se à produção do tijolo 9x19x19. Os valores arrecadados são R\$41.520,66 para a telha, R\$35.007,50 para o tijolo 9x19x29 e R\$31.879,38 para o tijolo 9x19x19.

Observa-se que em relação ao primeiro cenário houve um aumento tanto na quantidade de peças produzidas quanto no valor arrecadado, porém o percentual de produção de cada item encontra-se um pouco mais longe do valor esperado.

Nesse ponto do estudo, percebe-se que para se obter o planejamento da produção que melhor atenda as necessidades da empresa, necessita-se que seja realizado durante a semana exatamente duas vezes o processo de fabricação do tijolo 9x19x19. Portanto, nos próximos cenários se busca verificar o comportamento da produção utilizando essa configuração.

A partir do segundo cenário modifica-se a ordem da produção onde se apresenta a configuração do terceiro cenário conforme mostra a Tabela 5.17 a seguir.

Tabela 5.17: Terceiro cenário com a produção de dois tipos de peças por dia.

Produto	Dia/Mês	Início da Produção	Término da Produção	Tempo de Produção	Qtd. Produzida	Valor Arrecadado
Telha	09/ago	07:00	11:05	224min.	13.340	R\$ 9.871,60
9x19x29	09/ago	12:03	15:58	235min.	24.358	R\$ 8.403,51
Telha	10/ago	07:00	11:00	232min.	13.818	R\$ 10.225,32
9x19x29	10/ago	12:00	17:00	298min.	30.881	R\$ 10.653,95
Telha	11/ago	07:00	11:15	253min.	15.073	R\$ 11.154,02
9x19x29	11/ago	12:15	16:50	275min.	28.501	R\$ 9.832,85
Telha	12/ago	07:00	11:00	233min.	13.878	R\$ 10.269,72
9x19x19	12/ago	12:00	16:45	285min.	44.736	R\$ 10.289,28
9x19x19	13/ago	07:00	10:50	228min.	35.788	R\$ 8.231,24
9x19x29	13/ago	12:00	17:00	300min.	31.088	R\$ 10.725,36
9x19x29	14/ago	07:05	11:15	241min.	24.980	R\$ 8.618,10
Total				2.804min.	276.441	R\$ 108.274,94

No terceiro cenário, a simulação mostra que foram produzidas 276.441 peças com a arrecadação de R\$108.274,94 sendo que 56.109 ou 20% das peças são destinados a produção de telhas, 139.808 ou 51% referem-se à produção do tijolo 9x19x29 e 80.524 ou 29% das peças produzidas referem-se à produção do tijolo 9x19x19. Os valores arrecadados são R\$41.520,66 para a telha, R\$48.233,76 para o tijolo 9x19x29 e R\$18.520,52 para o tijolo 9x19x19.

Ao se comparar os resultados obtidos com o segundo cenário nota-se que houve uma diminuição significativa no total de peças produzidas e uma leve diminuição no valor

arrecadado, entretanto o percentual de produção de cada item aproximou-se um pouco mais do esperado.

Desse modo, modifica-se a ordem de produção do terceiro cenário onde se apresenta a configuração do quarto cenário conforme mostra a Tabela 5.18 a seguir.

Tabela 5.18: Quarto cenário com a produção de dois tipos de peças por dia.

Produto	Dia/Mês	Início da Produção	Término da Produção	Tempo de Produção	Qtd. Produzida	Valor Arrecadado
Telha	09/ago	07:00	11:05	224min.	13.340	R\$ 9.871,60
9x19x29	09/ago	12:03	15:58	235min.	24.358	R\$ 8.403,51
Telha	10/ago	07:00	11:00	232min.	13.818	R\$ 10.225,32
9x19x29	10/ago	12:00	17:00	298min.	30.881	R\$ 10.653,95
Telha	11/ago	07:00	11:15	253min.	15.073	R\$ 11.154,02
9x19x29	11/ago	12:15	16:50	275min.	28.501	R\$ 9.832,85
Telha	12/ago	07:00	11:00	233min.	13.878	R\$ 10.269,72
9x19x19	12/ago	12:00	16:45	285min.	44.736	R\$ 10.289,28
9x19x29	13/ago	07:00	10:50	228min.	23.632	R\$ 8.153,04
9x19x19	13/ago	12:00	17:00	300min.	47.092	R\$ 10.831,16
9x19x29	14/ago	07:05	11:15	241min.	24.980	R\$ 8.618,10
Total				2.804min.	280.289	R\$ 108.302,54

Já o quarto cenário mostra que a partir da simulação gerou-se 280.289 peças com a arrecadação de R\$108.302,54 sendo que 56.109 ou 20% das peças são destinados a produção de telhas, 132.352 ou 47% referem-se à produção do tijolo 9x19x29 e 91.828 ou 33% das peças produzidas referem-se à produção do tijolo 9x19x19. Os valores arrecadados são R\$41.520,66 para a telha, R\$45.661,44 para o tijolo 9x19x29 e R\$21.120,44 para o tijolo 9x19x19.

Em relação ao terceiro cenário nota-se que houve um aumento tanto no total de peças produzidas quanto no valor arrecadado e, os resultados apontam uma maior proximidade no percentual de produção desejado.

Portanto, a partir do quarto cenário modifica-se a ordem da produção onde se apresenta a configuração do quinto cenário conforme mostra a Tabela 5.19 a seguir.

Tabela 5.19: Quinto cenário com a produção de dois tipos de peças por dia.

Produto	Dia/Mês	Início da Produção	Término da Produção	Tempo de Produção	Qtd. Produzida	Valor Arrecadado
Telha	09/ago	07:00	11:05	224min.	13.340	R\$ 9.871,60
9x19x29	09/ago	12:03	15:58	235min.	24.358	R\$ 8.403,51
Telha	10/ago	07:00	11:00	232min.	13.818	R\$ 10.225,32
9x19x29	10/ago	12:00	17:00	298min.	30.881	R\$ 10.653,95
Telha	11/ago	07:00	11:15	253min.	15.073	R\$ 11.154,02
9x19x19	11/ago	12:15	16:50	275min.	43.167	R\$ 9.928,41
Telha	12/ago	07:00	11:00	233min.	13.878	R\$ 10.269,72
9x19x29	12/ago	12:00	16:45	285min.	29.536	R\$ 10.189,92
9x19x29	13/ago	07:00	10:50	228min.	23.632	R\$ 8.153,04
9x19x19	13/ago	12:00	17:00	300min.	47.092	R\$ 10.831,16
9x19x29	14/ago	07:05	11:15	241min.	24.980	R\$ 8.618,10
Total				2.804min.	279.755	R\$ 108.298,75

O quinto cenário mostra que a partir da simulação da produção se gerou 279.755 peças com a arrecadação de R\$108.298,75 sendo que 56.109 ou 20% das peças são destinados a produção de telhas, 133.387 ou 48% referem-se à produção do tijolo 9x19x29 e 90.259 ou 32% das peças produzidas referem-se à produção do tijolo 9x19x19. Os valores arrecadados são R\$41.520,66 para a telha, R\$46.018,52 para o tijolo 9x19x29 e R\$20.759,57 para o tijolo 9x19x19.

Ao se comparar os resultados do quinto cenário com o quarto cenário nota-se que houve uma pequena diminuição tanto no total de peças produzidas quanto no valor arrecadado, entretanto o percentual de produção de telha está apenas 1% a mais do desejado e o percentual de produção do tijolo 9x19x29 está 1% a menos do valor esperado, isto é, deduz-se que se diminuir a produção de telhas e aumentar a produção do tijolo 9x19x29 serão encontrados o percentual de produção desejado. Embora o objetivo ainda não tenha sido alcançado, a produção total e o valor arrecadado dos três

produtos mostram-se acima da produção planejada pela empresa conforme mostrado na seção 5.2.

Portanto, a partir do quinto cenário novamente modifica-se a ordem da produção onde se apresenta a configuração do sexto cenário conforme mostra a Tabela 5.20 a seguir.

Tabela 5.20: Sexto cenário com a produção de dois tipos de peças por dia.

Produto	Dia/Mês	Início da Produção	Término da Produção	Tempo de Produção	Qtd. Produzida	Valor Arrecadado
Telha	09/ago	07:00	11:05	224min.	13.340	R\$ 9.871,60
9x19x29	09/ago	12:03	15:58	235min.	24.358	R\$ 8.403,51
Telha	10/ago	07:00	11:00	232min.	13.818	R\$ 10.225,32
9x19x29	10/ago	12:00	17:00	298min.	30.881	R\$ 10.653,95
9x19x29	11/ago	07:00	11:15	253min.	26.222	R\$ 9.046,59
9x19x19	11/ago	12:15	16:50	275min.	43.167	R\$ 9.928,41
Telha	12/ago	07:00	11:00	233min.	13.878	R\$ 10.269,72
9x19x29	12/ago	12:00	16:45	285min.	29.536	R\$ 10.189,92
Telha	13/ago	07:00	10:50	228min.	13.579	R\$ 10.048,46
9x19x19	13/ago	12:00	17:00	300min.	47.092	R\$ 10.831,16
9x19x29	14/ago	07:05	11:15	241min.	24.980	R\$ 8.618,10
Total				2.804min.	280.851	R\$ 108.086,74

Após a simulação do sexto cenário, os resultados mostram que produção total é de 208.851 peças com a arrecadação de R\$108.086,74 sendo que 54.615 ou 20% das peças são destinados a produção de telhas, 135.977 ou 48% referem-se à produção do tijolo 9x19x29 e 90.259 ou 32% das peças produzidas referem-se à produção do tijolo 9x19x19. Os valores arrecadados são R\$40.415,10 para a telha, R\$46.912,07 para o tijolo 9x19x29 e R\$20.759,57 para o tijolo 9x19x19.

Ao se comparar os resultados do sexto cenário com o quinto cenário nota-se que houve um aumento no total de peças produzidas, porém o valor arrecadado sofreu uma pequena diminuição. Mesmo diminuindo a produção de telhas e aumentando a produção do tijolo 9x19x29 o percentual de produção de cada peça permaneceu igual ao percentual

do quinto cenário. Isso mostra que também se necessita diminuir a produção do tijolo 9x19x19.

Portanto modifica-se a ordem da produção do sexto cenário a fim de gerar o sétimo cenário. A Tabela 5.21 mostra os resultados alcançados após a simulação.

Tabela 5.21: Sétimo cenário com a produção de dois tipos de peças por dia.

Produto	Dia/Mês	Início da Produção	Término da Produção	Tempo de Produção	Qtd. Produzida	Valor Arrecadado
Telha	09/ago	07:00	11:05	224min.	13.340	R\$ 9.871,60
9x19x29	09/ago	12:03	15:58	235min.	24.358	R\$ 8.403,51
Telha	10/ago	07:00	11:00	232min.	13.818	R\$ 10.225,32
9x19x19	10/ago	12:00	17:00	298min.	46.778	R\$ 10.758,94
9x19x29	11/ago	07:00	11:15	253min.	26.222	R\$ 9.046,59
9x19x19	11/ago	12:15	16:50	275min.	43.167	R\$ 9.928,41
Telha	12/ago	07:00	11:00	233min.	13.878	R\$ 10.269,72
9x19x29	12/ago	12:00	16:45	285min.	29.536	R\$ 10.189,92
Telha	13/ago	07:00	10:50	228min.	13.579	R\$ 10.048,46
9x19x29	13/ago	12:00	17:00	300min.	31.088	R\$ 10.725,36
9x19x29	14/ago	07:05	11:15	241min.	24.980	R\$ 8.618,10
Total				2.804min.	280.744	R\$ 108.085,93

A partir da simulação do sétimo cenário, os resultados mostram que produção total é de 280.744 peças com a arrecadação de R\$108.085,93 sendo que 54.615 ou 19% das peças são destinados a produção de telhas, 136.184 ou 49% referem-se à produção do tijolo 9x19x29 e 89.945 ou 32% das peças produzidas referem-se à produção do tijolo 9x19x19. Os valores arrecadados são R\$40.415,10 para a telha, R\$46.983,48 para o tijolo 9x19x29 e R\$20.687,35 para o tijolo 9x19x19.

Comparando-se os resultados do sétimo cenário com o sexto cenário verifica-se que há uma pequena diminuição tanto no total de peças produzidas quanto no valor arrecado, entretanto o percentual de produção de cada peça encontra-se exatamente no valor esperado. Como este cenário é o único que correspondeu aos requisitos do estudo, os próximos cenários serão comparados a partir dele.

Dessa forma modifica-se a ordem da produção do sétimo cenário a fim de gerar o oitavo cenário. A Tabela 5.22 mostra os resultados alcançados após a simulação.

Tabela 5.22: Oitavo cenário com a produção de dois tipos de peças por dia.

Produto	Dia/Mês	Início da Produção	Término da Produção	Tempo de Produção	Qtd. Produzida	Valor Arrecadado
Telha	09/ago	07:00	11:05	224min.	13.340	R\$ 9.871,60
9x19x29	09/ago	12:03	15:58	235min.	24.358	R\$ 8.403,51
Telha	10/ago	07:00	11:00	232min.	13.818	R\$ 10.225,32
9x19x29	10/ago	12:00	17:00	298min.	30.881	R\$ 10.653,95
9x19x29	11/ago	07:00	11:15	253min.	26.222	R\$ 9.046,59
9x19x19	11/ago	12:15	16:50	275min.	43.167	R\$ 9.928,41
Telha	12/ago	07:00	11:00	233min.	13.878	R\$ 10.269,72
9x19x19	12/ago	12:00	16:45	285min.	44.736	R\$ 10.289,28
Telha	13/ago	07:00	10:50	228min.	13.579	R\$ 10.048,46
9x19x29	13/ago	12:00	17:00	300min.	31.088	R\$ 10.725,36
9x19x29	14/ago	07:05	11:15	241min.	24.980	R\$ 8.618,10
Total				2.804min.	280.047	R\$ 108.080,30

Os resultados do oitavo cenário mostram que a produção total é de 280.047 peças com a arrecadação de R\$108.080,30 sendo que 54.615 ou 20% das peças são destinados a produção de telhas, 137.529 ou 49% referem-se à produção do tijolo 9x19x29 e 87.903 ou 31% das peças produzidas referem-se à produção do tijolo 9x19x19. Os valores arrecadados são R\$40.415,10 para a telha, R\$47.447,51 para o tijolo 9x19x29 e R\$20.217,69 para o tijolo 9x19x19.

Ao se comparar os resultados do oitavo cenário com o sétimo cenário verifica-se que há uma diminuição tanto no total de peças produzidas quanto no valor arrecadado. Os resultados mostram também que houve uma pequena alteração no percentual de produção de telhas e do tijolo 9x19x19. Embora não tenha sido muito grande, essa alteração acabou afastando o percentual de produção do esperado.

A fim de se encontrar outro planejamento da produção melhor, cria-se o nono cenário alterando-se a ordem da produção do sétimo cenário com o intuito de se obter

melhores resultados. A Tabela 5.23 mostra os resultados do nono cenário após a simulação.

Tabela 5.23: Nono cenário com a produção de dois tipos de peças por dia.

Produto	Dia/Mês	Início da Produção	Término da Produção	Tempo de Produção	Qtd. Produzida	Valor Arrecadado
Telha	09/ago	07:00	11:05	224min.	13.340	R\$ 9.871,60
9x19x29	09/ago	12:03	15:58	235min.	24.358	R\$ 8.403,51
9x19x29	10/ago	07:00	11:00	232min.	24.048	R\$ 8.296,56
Telha	10/ago	12:00	17:00	298min.	17.772	R\$ 13.151,28
9x19x29	11/ago	07:00	11:15	253min.	26.222	R\$ 9.046,59
9x19x19	11/ago	12:15	16:50	275min.	43.167	R\$ 9.928,41
Telha	12/ago	07:00	11:00	233min.	13.878	R\$ 10.269,72
9x19x19	12/ago	12:00	16:45	285min.	44.736	R\$ 10.289,28
Telha	13/ago	07:00	10:50	228min.	13.579	R\$ 10.048,46
9x19x29	13/ago	12:00	17:00	300min.	31.088	R\$ 10.725,36
9x19x29	14/ago	07:05	11:15	241min.	24.980	R\$ 8.618,10
Total				2.804min.	277.168	R\$ 108.648,87

De acordo com a simulação, os resultados apontam que foram produzidas um total de 277.168 peças com a arrecadação de R\$108.648,87 sendo que 58.569 ou 21% das peças são destinados a produção de telhas, 130.696 ou 47% referem-se à produção do tijolo 9x19x29 e 87.903 ou 32% das peças produzidas referem-se à produção do tijolo 9x19x19. Os valores arrecadados são R\$43.341,06 para a telha, R\$45.090,12 para o tijolo 9x19x29 e R\$20.217,69 para o tijolo 9x19x19.

Ao se comparar os resultados do nono cenário com o sétimo cenário verifica-se que houve uma queda no total de peças produzidas e um aumento no valor arrecadado. As modificações propostas nesse novo cenário provocaram um aumento no percentual de produção de telhas e uma diminuição no percentual de produção do tijolo 9x19x29. Assim, ainda não se tem resultados melhores aos apresentados no sétimo cenário.

Logo, cria-se o décimo e último cenário com a fabricação de dois tipos peças por dia alterando-se a ordem da produção do sétimo cenário. A Tabela 5.24 mostra os resultados do nono cenário após a simulação.

Tabela 5.24: Décimo cenário com a produção de dois tipos de peças por dia.

Produto	Dia/Mês	Início da Produção	Término da Produção	Tempo de Produção	Qtd. Produzida	Valor Arrecadado
Telha	09/ago	07:00	11:05	224min.	13.340	R\$ 9.871,60
9x19x29	09/ago	12:03	15:58	235min.	24.358	R\$ 8.403,51
9x19x29	10/ago	07:00	11:00	232min.	24.048	R\$ 8.296,56
Telha	10/ago	12:00	17:00	298min.	17.772	R\$ 13.151,28
9x19x29	11/ago	07:00	11:15	253min.	26.222	R\$ 9.046,59
9x19x19	11/ago	12:15	16:50	275min.	43.167	R\$ 9.928,41
9x19x19	12/ago	07:00	11:00	233min.	36.575	R\$ 8.412,25
Telha	12/ago	12:00	16:45	285min.	16.990	R\$ 12.572,60
Telha	13/ago	07:00	10:50	228min.	13.579	R\$ 10.048,46
9x19x29	13/ago	12:00	17:00	300min.	31.088	R\$ 10.725,36
9x19x29	14/ago	07:05	11:15	241min.	24.980	R\$ 8.618,10
Total				2.804min.	272.119	R\$ 109.074,72

Ao se analisar o resultado da simulação do décimo cenário, verifica-se a geração de 272.119 peças com a arrecadação de R\$109.074,72 sendo que 61.681 ou 23% das peças são destinados a produção de telhas, 130.696 ou 48% referem-se à produção do tijolo 9x19x29 e 79.742 ou 29% das peças produzidas referem-se à produção do tijolo 9x19x19. Os valores arrecadados são R\$45.643,94 para a telha, R\$45.090,12 para o tijolo 9x19x29 e R\$18.340,66 para o tijolo 9x19x19.

Comparando-se os resultados do décimo cenário com o sétimo cenário observa-se que o total de peças produzido diminuiu, porém o valor arrecadado aumentou. Nota-se também que o percentual de produção de telhas aumentou e o percentual de produção dos dois tipos de tijolos diminuiu. Isso mostra que a configuração da produção do décimo cenário não satisfaz ao planejamento da produção que se deseja alcançar.

A proposta de fabricação de dois tipos de peças por dia mostrou ser bastante eficaz. Apesar de somente o sétimo cenário ter correspondido ao planejamento da produção de 19% de telhas, 49% do tijolo 9x19x29 e 32% do tijolo 9x19x19, verifica-se que o quarto, quinto, sexto e oitavo cenário estão próximos ao valor esperado. Estes cenários possuem as seguintes características em comum: a produção de telha quatro vezes na semana somente no período da manhã, com a produção do tijolo 9x19x19 apenas dois dias no período da tarde e a produção do tijolo 9x19x29 cinco vezes na semana predominando a fabricação no período na tarde.

Como há uma grande variação no tempo de produção devido à quantidade de paradas para manutenção, não se descarta as configurações da produção dos cenários semelhantes ao sétimo cenário.

5.2.3 Fabricação de um ou dois tipos de peças por dia

Após a análise da produção de dois tipos de peças por dia, iniciou-se a comparação de mais dez cenários onde se analisa a fabricação de um ou dois tipos de peças por dia, isto é, se simula a produção de um tipo de peça por dia ou dois tipos de peças por dia na mesma semana. A Tabela 5.25 mostra os resultados do primeiro cenário desenvolvido.

Tabela 5.25: Primeiro cenário com a produção de um ou dois tipos de peças por dia.

Produto	Dia/Mês	Início da Produção	Término da Produção	Tempo de Produção	Qtd. Produzida	Valor Arrecadado
9x19x29	09/ago	07:00	11:05	224min.	23.218	R\$ 8.010,21
9x19x29	09/ago	12:03	15:58	235min.	24.358	R\$ 8.403,51
Telha	10/ago	07:00	11:00	232min.	13.818	R\$ 10.225,32
9x19x19	10/ago	12:00	17:00	298min.	46.778	R\$ 10.758,94
9x19x29	11/ago	07:00	11:15	253min.	26.222	R\$ 9.046,59
9x19x19	11/ago	12:15	16:50	275min.	43.167	R\$ 9.928,41
Telha	12/ago	07:00	11:00	233min.	13.878	R\$ 10.269,72
Telha	12/ago	12:00	16:45	285min.	16.990	R\$ 12.572,60
9x19x29	13/ago	07:00	10:50	228min.	23.632	R\$ 8.153,04
9x19x29	13/ago	12:00	17:00	300min.	31.088	R\$ 10.725,36
Telha	14/ago	07:05	11:15	241min.	14.358	R\$ 10.624,92
Total				2.804min.	277.507	R\$ 108.718,62

De acordo com a simulação desse primeiro cenário, foram produzidas 277.507 peças com a arrecadação de R\$ 108.718,62 sendo que 59.044 ou 21% das peças são destinados a produção de telhas, 128.518 ou 46% referem-se à produção do tijolo 9x19x29 e 89.945 ou 33% das peças produzidas referem-se à produção do tijolo 9x19x19. Os valores arrecadados são R\$43.692,56 para a telha, R\$44.338,71 para o tijolo 9x19x29 e R\$20.687,35 para o tijolo 9x19x19.

Ao se comparar o primeiro cenário com o sétimo cenário da seção anterior que apresenta o planejamento da produção desejado, verifica-se que o valor arrecadado encontra-se um pouco acima, porém há uma diminuição no total de peças produzidas. Nota-se também que os percentuais de produção de todos os produtos se afastaram dos valores que se deseja alcançar.

Dessa forma, a partir do primeiro cenário modifica-se a ordem da produção onde se tem a configuração do segundo cenário conforme mostra a Tabela 5.26 a seguir.

Tabela 5.26: Segundo cenário com a produção de um ou dois tipos de peças por dia.

Produto	Dia/Mês	Início da Produção	Término da Produção	Tempo de Produção	Qtd. Produzida	Valor Arrecadado
Telha	09/ago	07:00	11:05	224min.	13.340	R\$ 9.871,60
Telha	09/ago	12:03	15:58	235min.	13.999	R\$ 10.359,26
Telha	10/ago	07:00	11:00	232min.	13.818	R\$ 10.225,32
9x19x19	10/ago	12:00	17:00	298min.	46.778	R\$ 10.758,94
9x19x29	11/ago	07:00	11:15	253min.	26.222	R\$ 9.046,59
9x19x19	11/ago	12:15	16:50	275min.	43.167	R\$ 9.928,41
9x19x29	12/ago	07:00	11:00	233min.	24.151	R\$ 8.332,10
Telha	12/ago	12:00	16:45	285min.	16.990	R\$ 12.572,60
9x19x29	13/ago	07:00	10:50	228min.	23.632	R\$ 8.153,04
9x19x29	13/ago	12:00	17:00	300min.	31.088	R\$ 10.725,36
9x19x29	14/ago	07:05	11:15	241min.	24.980	R\$ 8.618,10
Total				2.804min.	278.165	R\$ 108.591,32

No segundo cenário, a simulação mostra que foram produzidas 278.165 peças com a arrecadação de R\$108.591,32 sendo que 58.147 ou 21% das peças são destinados a produção de telhas, 130.073 ou 47% referem-se à produção do tijolo 9x19x29 e 89.945 ou

32% das peças produzidas referem-se à produção do tijolo 9x19x19. Os valores arrecadados são R\$43.028,78 para a telha, R\$44.875,19 para o tijolo 9x19x29 e R\$20.687,35 para o tijolo 9x19x19.

Observa-se que em relação ao primeiro cenário houve um aumento no total de peças produzidas e uma leve diminuição no valor arrecadado, porém o percentual de produção de cada item encontra-se um pouco mais próximo do valor esperado.

A partir do segundo cenário modifica-se a ordem da produção onde se apresenta a configuração do terceiro cenário conforme mostra a Tabela 5.27 a seguir.

Tabela 5.27: Terceiro cenário com a produção de um ou dois tipos de peças por dia.

Produto	Dia/Mês	Início da Produção	Término da Produção	Tempo de Produção	Qtd. Produzida	Valor Arrecadado
9x19x29	09/ago	07:00	11:05	224min.	23.218	R\$ 8.010,21
Telha	09/ago	12:03	15:58	235min.	13.999	R\$ 10.359,26
Telha	10/ago	07:00	11:00	232min.	13.818	R\$ 10.225,32
9x19x29	10/ago	12:00	17:00	298min.	30.881	R\$ 10.653,95
9x19x19	11/ago	07:00	11:15	253min.	39.711	R\$ 9.133,53
9x19x19	11/ago	12:15	16:50	275min.	43.167	R\$ 9.928,41
9x19x29	12/ago	07:00	11:00	233min.	24.151	R\$ 8.332,10
Telha	12/ago	12:00	16:45	285min.	16.990	R\$ 12.572,60
9x19x29	13/ago	07:00	10:50	228min.	23.632	R\$ 8.153,04
9x19x29	13/ago	12:00	17:00	300min.	31.088	R\$ 10.725,36
Telha	14/ago	07:05	11:15	241min.	14.358	R\$ 10.624,92
Total				2.804min.	275.013	R\$ 108.718,69

No terceiro cenário, a simulação mostra que foram produzidas 275.013 peças com a arrecadação de R\$108.718,69 sendo que 59.165 ou 22% das peças são destinados a produção de telhas, 132.970 ou 48% referem-se à produção do tijolo 9x19x29 e 82.878 ou 30% das peças produzidas referem-se à produção do tijolo 9x19x19. Os valores arrecadados são R\$43.782,10 para a telha, R\$45.874,65 para o tijolo 9x19x29 e R\$19.061,94 para o tijolo 9x19x19.

Ao se comparar os resultados obtidos com o segundo cenário nota-se que houve uma diminuição significativa no total de peças produzidas, entretanto houve um aumento

no valor arrecadado. O percentual de produção de cada item também se manteve bem próximo do esperado.

Desse modo, modifica-se a ordem de produção do terceiro cenário onde se apresenta a configuração do quarto cenário conforme mostra a Tabela 5.28 a seguir.

Tabela 5.28: Quarto cenário com a produção de um ou dois tipos de peças por dia.

Produto	Dia/Mês	Início da Produção	Término da Produção	Tempo de Produção	Qtd. Produzida	Valor Arrecadado
9x19x29	09/ago	07:00	11:05	224min.	23.218	R\$ 8.010,21
Telha	09/ago	12:03	15:58	235min.	13.999	R\$ 10.359,26
Telha	10/ago	07:00	11:00	232min.	13.818	R\$ 10.225,32
9x19x19	10/ago	12:00	17:00	298min.	46.778	R\$ 10.758,94
9x19x29	11/ago	07:00	11:15	253min.	26.222	R\$ 9.046,59
9x19x19	11/ago	12:15	16:50	275min.	43.167	R\$ 9.928,41
Telha	12/ago	07:00	11:00	233min.	13.878	R\$ 10.269,72
Telha	12/ago	12:00	16:45	285min.	16.990	R\$ 12.572,60
9x19x29	13/ago	07:00	10:50	228min.	23.632	R\$ 8.153,04
9x19x29	13/ago	12:00	17:00	300min.	31.088	R\$ 10.725,36
9x19x29	14/ago	07:05	11:15	241min.	24.980	R\$ 8.618,10
Total				2.804min.	277.770	R\$ 108.667,55

Já o quarto cenário mostra que a partir da simulação gerou-se 277.770 peças com a arrecadação de R\$108.667,55 sendo que 58.685 ou 21% das peças são destinados a produção de telhas, 129.140 ou 47% referem-se à produção do tijolo 9x19x29 e 89.945 ou 32% das peças produzidas referem-se à produção do tijolo 9x19x19. Os valores arrecadados são R\$43.426,90 para a telha, R\$44.553,30 para o tijolo 9x19x29 e R\$20.687,35 para o tijolo 9x19x19.

Em relação ao terceiro cenário nota-se que houve um aumento no total de peças produzidas e uma pequena diminuição no valor arrecadado. Os resultados deste cenário apontam uma maior proximidade no percentual de produção desejado.

Portanto, a partir do quarto cenário modifica-se a ordem da produção onde se apresenta a configuração do quinto cenário conforme mostra a Tabela 5.29 a seguir.

Tabela 5.29: Quinto cenário com a produção de um ou dois tipos de peças por dia.

Produto	Dia/Mês	Início da Produção	Término da Produção	Tempo de Produção	Qtd. Produzida	Valor Arrecadado
Telha	09/ago	07:00	11:05	224min.	13.340	R\$ 9.871,60
Telha	09/ago	12:03	15:58	235min.	13.999	R\$ 10.359,26
Telha	10/ago	07:00	11:00	232min.	13.818	R\$ 10.225,32
9x19x19	10/ago	12:00	17:00	298min.	46.778	R\$ 10.758,94
9x19x29	11/ago	07:00	11:15	253min.	26.222	R\$ 9.046,59
9x19x19	11/ago	12:15	16:50	275min.	43.167	R\$ 9.928,41
9x19x29	12/ago	07:00	11:00	233min.	24.151	R\$ 8.332,10
9x19x29	12/ago	12:00	16:45	285min.	29.536	R\$ 10.189,92
9x19x29	13/ago	07:00	10:50	228min.	23.632	R\$ 8.153,04
9x19x29	13/ago	12:00	17:00	300min.	31.088	R\$ 10.725,36
Telha	14/ago	07:05	11:15	241min.	14.358	R\$ 10.624,92
Total				2.804min.	280.089	R\$ 108.215,46

O quinto cenário mostra que a partir da simulação da produção se gerou 280.089 peças com a arrecadação de R\$108.215,46 sendo que 55.515 ou 20% das peças são destinados a produção de telhas, 134.629 ou 48% referem-se à produção do tijolo 9x19x29 e 89.945 ou 32% das peças produzidas referem-se à produção do tijolo 9x19x19. Os valores arrecadados são R\$41.081,10 para a telha, R\$46.447,01 para o tijolo 9x19x29 e R\$20.687,35 para o tijolo 9x19x19.

Ao se comparar os resultados do quinto cenário com o quarto cenário nota-se que houve um aumento no total de peças produzidas enquanto que o valor arrecadado diminuiu, entretanto o percentual de produção de telha está apenas 1% a mais do desejado e o percentual de produção do tijolo 9x19x29 está 1% a menos do valor esperado. Embora o objetivo ainda não tenha sido alcançado, a produção total e o valor arrecadado dos três produtos já se mostram acima da produção planejada pela empresa.

Portanto, a partir do quinto cenário novamente modifica-se a ordem da produção onde se apresenta a configuração do sexto cenário conforme mostra a Tabela 5.30 a seguir.

Tabela 5.30: Sexto cenário com a produção de um ou dois tipos de peças por dia.

Produto	Dia/Mês	Início da Produção	Término da Produção	Tempo de Produção	Qtd. Produzida	Valor Arrecadado
Telha	09/ago	07:00	11:05	224min.	13.340	R\$ 9.871,60
Telha	09/ago	12:03	15:58	235min.	13.999	R\$ 10.359,26
Telha	10/ago	07:00	11:00	232min.	13.818	R\$ 10.225,32
9x19x19	10/ago	12:00	17:00	298min.	46.778	R\$ 10.758,94
9x19x29	11/ago	07:00	11:15	253min.	26.222	R\$ 9.046,59
9x19x19	11/ago	12:15	16:50	275min.	43.167	R\$ 9.928,41
9x19x29	12/ago	07:00	11:00	233min.	24.151	R\$ 8.332,10
9x19x29	12/ago	12:00	16:45	285min.	29.536	R\$ 10.189,92
Telha	13/ago	07:00	10:50	228min.	13.579	R\$ 10.048,46
9x19x29	13/ago	12:00	17:00	300min.	31.088	R\$ 10.725,36
9x19x29	14/ago	07:05	11:15	241min.	24.980	R\$ 8.618,10
Total				2.804min.	280.658	R\$ 108.104,06

Após a simulação do sexto cenário, os resultados mostram que produção total é de 180.658 peças com a arrecadação de R\$108.104,06 sendo que 54.736 ou 20% das peças são destinados a produção de telhas, 135.977 ou 48% referem-se à produção do tijolo 9x19x29 e 89.945 ou 32% das peças produzidas referem-se à produção do tijolo 9x19x19. Os valores arrecadados são R\$40.504,64 para a telha, R\$46.912,07 para o tijolo 9x19x29 e R\$20.687,35 para o tijolo 9x19x19.

Ao se comparar os resultados do sexto cenário com o quinto cenário nota-se que houve um aumento no total de peças produzidas, porém o valor arrecadado sofreu uma pequena diminuição. A taxa de produção de cada peça ainda permanece muito próxima do valor esperado.

A configuração do sexto cenário é bem parecida com a configuração do sétimo cenário mostrado na seção anterior onde se produz dois tipos de peças na semana. A diferença entre um cenário e outro está troca da produção de telha do dia 9 de agosto no turno da tarde pela fabricação do tijolo 9x19x29 no dia 12 de agosto no turno da manhã. O tempo de produção variou somente dois minutos, mas foi o suficiente para se obter o percentual desejado.

Portanto, a fim de encontrar um planejamento que satisfaça as condições impostas, modifica-se a ordem da produção do sexto cenário a fim de gerar o sétimo cenário. A Tabela 5.31 mostra os resultados alcançados após a simulação.

Tabela 5.31: Sétimo cenário com a produção de um ou dois tipos de peças por dia.

Produto	Dia/Mês	Início da Produção	Término da Produção	Tempo de Produção	Qtd. Produzida	Valor Arrecadado
Telha	09/ago	07:00	11:05	224min.	13.340	R\$ 9.871,60
9x19x29	09/ago	12:03	15:58	235min.	24.358	R\$ 8.403,51
Telha	10/ago	07:00	11:00	232min.	13.818	R\$ 10.225,32
9x19x19	10/ago	12:00	17:00	298min.	46.778	R\$ 10.758,94
9x19x29	11/ago	07:00	11:15	253min.	26.222	R\$ 9.046,59
9x19x19	11/ago	12:15	16:50	275min.	43.167	R\$ 9.928,41
9x19x29	12/ago	07:00	11:00	233min.	24.151	R\$ 8.332,10
9x19x29	12/ago	12:00	16:45	285min.	29.536	R\$ 10.189,92
Telha	13/ago	07:00	10:50	228min.	13.579	R\$ 10.048,46
9x19x29	13/ago	12:00	17:00	300min.	31.088	R\$ 10.725,36
Telha	14/ago	07:05	11:15	241min.	14.358	R\$ 10.624,92
Total				2.804min.	280.395	R\$ 108.155,13

A partir da simulação do sétimo cenário, os resultados mostram que a produção total é de 280.395 peças com a arrecadação de R\$108.155,13 sendo que 55.095 ou 20% das peças são destinados a produção de telhas, 135.355 ou 48% referem-se à produção do tijolo 9x19x29 e 89.945 ou 32% das peças produzidas referem-se à produção do tijolo 9x19x19. Os valores arrecadados são R\$40.770,30 para a telha, R\$46.697,48 para o tijolo 9x19x29 e R\$20.687,35 para o tijolo 9x19x19.

Comparando-se os resultados do sétimo cenário com o sexto cenário verifica-se que há uma pequena diminuição no total de peças produzidas enquanto que o valor arrecadado aumentou. A taxa de produção de cada peça não se alterou embora se tenha modificado o total produzido e o valor arrecadado.

Dessa forma modifica-se a ordem da produção do sétimo cenário a fim de gerar o oitavo cenário. A Tabela 5.32 mostra os resultados alcançados após a simulação.

Tabela 5.32: Oitavo cenário com a produção de um ou dois tipos de peças por dia.

Produto	Dia/Mês	Início da Produção	Término da Produção	Tempo de Produção	Qtd. Produzida	Valor Arrecadado
Telha	09/ago	07:00	11:05	224min.	13.340	R\$ 9.871,60
9x19x29	09/ago	12:03	15:58	235min.	24.358	R\$ 8.403,51
Telha	10/ago	07:00	11:00	232min.	13.818	R\$ 10.225,32
9x19x19	10/ago	12:00	17:00	298min.	46.778	R\$ 10.758,94
9x19x29	11/ago	07:00	11:15	253min.	26.222	R\$ 9.046,59
Telha	11/ago	12:15	16:50	275min.	16.391	R\$ 12.129,34
9x19x29	12/ago	07:00	11:00	233min.	24.151	R\$ 8.332,10
9x19x29	12/ago	12:00	16:45	285min.	29.536	R\$ 10.189,92
Telha	13/ago	07:00	10:50	228min.	13.579	R\$ 10.048,46
9x19x29	13/ago	12:00	17:00	300min.	31.088	R\$ 10.725,36
9x19x19	14/ago	07:05	11:15	241min.	37.829	R\$ 8.700,67
Total				2.804min.	277.090	R\$ 108.431,81

Os resultados do oitavo cenário mostram que a produção total é de 277.090 peças com a arrecadação de R\$108.431,81 sendo que 57.128 ou 21% das peças são destinados a produção de telhas, 135.335 ou 49% referem-se à produção do tijolo 9x19x29 e 84.607 ou 30% das peças produzidas referem-se à produção do tijolo 9x19x19. Os valores arrecadados são R\$42.274,72 para a telha, R\$46.697,48 para o tijolo 9x19x29 e R\$19.459,61 para o tijolo 9x19x19.

Ao se comparar os resultados do oitavo cenário com o sétimo cenário verifica-se que há uma diminuição no total de peças produzidas embora o valor arrecadado tenha aumentado. Os resultados mostram também que houve uma alteração no percentual de produção. A configuração desse cenário não mostra-se eficaz uma vez que a produção do tijolo 9x19x19 encontra-se abaixo da produção da empresa. Embora não tenha sido muito grande, essa alteração invalidou o planejamento da produção mostrado na Tabela 5.32.

Portanto, cria-se o nono cenário alterando-se a ordem da produção do oitavo cenário com o intuito de se obter melhores resultados. A Tabela 5.33 mostra os resultados do nono cenário após a simulação.

Tabela 5.33: Nono cenário com a produção de um ou dois tipos de peças por dia.

Produto	Dia/Mês	Início da Produção	Término da Produção	Tempo de Produção	Qtd. Produzida	Valor Arrecadado
Telha	09/ago	07:00	11:05	224min.	13.340	R\$ 9.871,60
9x19x29	09/ago	12:03	15:58	235min.	24.358	R\$ 8.403,51
Telha	10/ago	07:00	11:00	232min.	13.818	R\$ 10.225,32
9x19x19	10/ago	12:00	17:00	298min.	46.778	R\$ 10.758,94
9x19x19	11/ago	07:00	11:15	253min.	39.711	R\$ 9.133,53
Telha	11/ago	12:15	16:50	275min.	16.391	R\$ 12.129,34
9x19x29	12/ago	07:00	11:00	233min.	24.151	R\$ 8.332,10
9x19x29	12/ago	12:00	16:45	285min.	29.536	R\$ 10.189,92
Telha	13/ago	07:00	10:50	228min.	13.579	R\$ 10.048,46
9x19x29	13/ago	12:00	17:00	300min.	31.088	R\$ 10.725,36
9x19x29	14/ago	07:05	11:15	241min.	24.980	R\$ 8.618,10
Total				2.804min.	277.730	R\$ 108.436,18

De acordo com a simulação, os resultados apontam que foram produzidas um total de 277.730 peças com a arrecadação de R\$108.436,18 sendo que 57.128 ou 21% das peças são destinados a produção de telhas, 134.113 ou 48% referem-se à produção do tijolo 9x19x29 e 86.489 ou 31% das peças produzidas referem-se à produção do tijolo 9x19x19. Os valores arrecadados são R\$42.274,72 para a telha, R\$46.268,99 para o tijolo 9x19x29 e R\$19.892,47 para o tijolo 9x19x19.

Ao se comparar os resultados do nono cenário com o oitavo cenário verifica-se que houve um aumento tanto no total de peças produzidas quanto no valor arrecadado. As modificações propostas nesse novo cenário também reduziram a produção do tijolo 9x19x19 abaixo da quantidade produzida pela empresa, mostrando que não é um bom planejamento estratégico.

Logo, cria-se o décimo e último cenário alterando-se a ordem da produção do nono cenário. A Tabela 5.34 mostra os resultados do nono cenário após a simulação.

Tabela 5.34: Décimo cenário com a produção de um ou dois tipos de peças por dia.

Produto	Dia/Mês	Início da Produção	Término da Produção	Tempo de Produção	Qtd. Produzida	Valor Arrecadado
Telha	09/ago	07:00	11:05	224min.	13.340	R\$ 9.871,60
9x19x29	09/ago	12:03	15:58	235min.	24.358	R\$ 8.403,51
Telha	10/ago	07:00	11:00	232min.	13.818	R\$ 10.225,32
9x19x19	10/ago	12:00	17:00	298min.	46.778	R\$ 10.758,94
Telha	11/ago	07:00	11:15	253min.	15.073	R\$ 11.154,02
9x19x19	11/ago	12:15	16:50	275min.	43.167	R\$ 9.928,41
9x19x29	12/ago	07:00	11:00	233min.	24.151	R\$ 8.332,10
9x19x29	12/ago	12:00	16:45	285min.	29.536	R\$ 10.189,92
Telha	13/ago	07:00	10:50	228min.	13.579	R\$ 10.048,46
9x19x29	13/ago	12:00	17:00	300min.	31.088	R\$ 10.725,36
9x19x29	14/ago	07:05	11:15	241min.	24.980	R\$ 8.618,10
Total				2.804min.	279.868	R\$ 108.255,74

Ao se analisar o resultado da simulação do décimo cenário, verifica-se a geração de 279.868 peças com a arrecadação de R\$108.255,74 sendo que 55.810 ou 20% das peças são destinados a produção de telhas, 134.113 ou 48% referem-se à produção do tijolo 9x19x29 e 89.945 ou 32% das peças produzidas referem-se à produção do tijolo 9x19x19. Os valores arrecadados são R\$41.299,40 para a telha, R\$46.268,99 para o tijolo 9x19x29 e R\$20.687,35 para o tijolo 9x19x19.

Comparando-se os resultados do décimo cenário com o nono cenário observa-se que o total de peças produzida aumentou, porém o valor arrecadado diminuiu. Nota-se também que o percentual de produção do tijolo 9x19x19 que se apresentava baixo agora já se mostra acima da quantidade produzida pela empresa.

Apesar de nenhum dos cenários apresentados nesta seção tenham alcançado a taxa de produção de 19% de telhas, 49% do tijolo 9x19x29 e 32% do tijolo 9x19x19, não se descarta a proposta de fabricação de um ou dois tipos de peças por dia uma vez que os resultados mostraram-se bem próximos do esperado. Os cenários que apresentam resultados satisfatórios são o quinto, sexto, sétimo e décimo cenário. Dentre esses, o sexto cenário foi o que produziu maior quantidade de peças e o décimo cenário foi o que gerou maior valor arrecadado.

5.3 Análise dos resultados

Nesta seção é mostrada a análise dos resultados obtidos por meio das melhorias feitas no processo de produtivo e também através da identificação do melhor planejamento operacional. A seção 5.1 mostrou por meio da simulação que a cada interrupção do processo de fabricação de tijolos a fim de efetuar uma manutenção perde-se em média R\$70,00. Verificou-se através de algumas visitas na empresa que essas paradas são ocasionadas pela entrada de pequenas raízes ou fragmentos de pedra que agarram no processo de extrusão da massa. Isso se dá devido a qualidade de preparação da matéria-prima. Esse problema não necessita de soluções computacionais para que seja solucionado, isto é, pode ser resolvido por meio de triagens feita por funcionários em todo processo de preparação da massa a fim de retirar todas as impurezas que não tenham sido eliminadas pelas máquinas.

Outra solução de melhoria do processo de fabricação de tijolos encontrada por meio da simulação computacional explanada na seção 5.1 foi a alteração no processo de retrabalho das peças. Verificou-se que ao modificar esse processo a empresa terá um ganho mensal de até R\$1.000,00. Analisando-se o sistema real verifica-se que a razão das peças saírem com defeito também se dá principalmente pela qualidade de preparação da massa.

Após as modificações no modelo do sistema de fabricação de tijolos, verificou-se também que a empresa não possui um planejamento da produção adequado. Por meio da simulação computacional buscou-se identificar a melhor alternativa do planejamento das operações através da comparação de cenários. Assim, a Tabela 5.35 mostra os resultados alcançados após o estudo.

Tabela 5.35: Análise dos resultados do planejamento da produção semanal.

Produto	Qtd. Produzida (antes)	Utilização do Processo (antes)	Qtd. Produzida (depois)	Utilização do Processo (depois)	Ganho
Telha	50.864	5	54.615	4	R\$ 2.775,74
9x19x29	133.050	7	136.184	5	R\$ 1.081,23
9x19x19	86.639	4	89.945	2	R\$ 760,38
TOTAL:	270.553	16	280.744	11	R\$ 4.617,35

A análise dos cenários teve como objetivo aumentar a produção de peças mantendo a taxa de fabricação retirada da amostra de dados referentes à segunda semana de agosto de 2010 que é de 19% de telhas, 49% do tijolo 9x19x29 e 32% do tijolo 9x19x19. O cenário que mostrou o melhor planejamento operacional foi com a fabricação de duas peças por dia apresentado no sétimo cenário. Entretanto, durante a comparação entre os cenários verificou-se que outros cenários também obtiveram resultados satisfatórios, podendo ser utilizado no planejamento da produção.

Observa-se que embora a utilização dos processos na semana tenha diminuído, a quantidade de peças produzida aumentou 3,767%. Esse aumento da produção é devido ao melhor aproveitamento do tempo de trabalho, isto é, ao invés de se alterar o processo de fabricação de um tipo de produto para outro durante o turno, faz-se a troca entre um turno e outro.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES

6.1 Considerações finais

Em meio a competitividade as empresas do setor cerâmico buscam cada vez mais oferecer ao mercado consumidor produtos de qualidade e com menor tempo de resposta. Devido à grande exigência do mercado, as empresas são impulsionadas a investir em tecnologias mais sofisticadas que aumentem a produção, porém nem todas as empresas podem realizar a aquisição desses equipamentos.

Uma das maneiras de se aumentar a produtividade é através da análise do sistema produtivo onde se busca identificar os pontos que estão gerando perda no processo da produção.

Neste trabalho foi analisado o sistema produtivo de cerâmica vermelha por meio da modelagem e simulação computacional. Comprovou-se que a simulação é uma excelente ferramenta de auxílio na tomada de decisão. Através da simulação podem-se verificar falhas no processo de fabricação das peças e no planejamento operacional.

Os resultados obtidos no estudo se validam por meio da comparação da amostra de dados reais coletados na empresa com os resultados dos relatórios gerados pelo ARENA 7.0 alcançados pela simulação. No Apêndice B são mostrados os resumos dos relatórios da simulação dos processos de fabricação de telhas e tijolos.

Embora se tenha alcançado os objetivos propostos neste estudo, não se desenvolveu um modelo gráfico animado devido às restrições na versão do software ARENA utilizado no trabalho. Inicialmente desenvolveu-se um modelo gráfico animado, porém verificou-se que a animação não correspondia com as expectativas do trabalho.

Este trabalho não pode ser desenvolvido na versão estudante do ARENA por causa da quantidade de entidades que são geradas pelo sistema de produção. A versão utilizada neste trabalho é mais antiga, porém os resultados alcançados no estudo não se alteraram mesmo utilizando essa versão, embora tenha causado inicialmente algumas dificuldades na modelagem do processo.

6.2 Contribuições

O presente trabalho contribuiu para o avanço da pesquisa no setor de cerâmica vermelha onde mostra-se atualmente dependente de metodologias que a impulsionem no mercado competitivo. O objetivo da pesquisa foi de motivar novas pesquisas utilizando métodos computacionais, mostrando que é possível melhorar processos produtivos por meio da análise de sistemas e da simulação computacional, utilizando tecnologias avançadas que fornecem suporte adequado sem a preocupação de gerar perdas na produção.

Durante a realização do estudo verificou-se que algumas das propostas vêm sendo implantadas pela empresa, como é o caso da melhoria da qualidade do processo de preparação da matéria-prima. Essa melhoria não é observada por meio da simulação, isto é, somente através da realização de manutenções diárias nas máquinas e maior empenho na realização das tarefas é possível melhorar a qualidade da massa.

O operador de máquinas relatou que através da limpeza da esteira que alimenta a máquina extrusora, já houve uma queda na quantidade de peças defeituosas. Por meio da conscientização dos funcionários, percebe-se também que houve um aumento da produção. Não se tem dados disponíveis que comprovem essa melhoria, pois o histórico

que contém essas anotações não pode sair da empresa enquanto o caderno com os dados não for trocado por um mais novo. De acordo com o operador de máquinas nota-se que desde o início do estudo até o agora houve aumento da produtividade.

6.3 Trabalhos futuros

Como sugestões de trabalhos futuros podem-se propor:

- A criação de um metamodelo do processo de fabricação de cerâmica. Embora se utilizem algumas etapas diferentes, a criação de um metamodelo facilitaria a modelagem de qualquer sistema relacionado ao setor cerâmico. Essa proposta se realiza por meio de um mapeamento das empresas do setor cerâmico a fim de desenvolver um macro modelo de simulação;
- A comparação dos resultados alcançados via simulação com soluções analíticas;
- Simular a substituição dos maquinários por tecnologias automatizadas, analisando-se o custo benefício geradas pelas modificações;
- Simular a quantidade mínima de estoque necessária para suprir a demanda. Essa análise se realiza por meio do estudo da demanda onde se identifica o comportamento da demanda a partir de dados históricos associados a um tipo de distribuição de probabilidade. Na empresa em questão não há um controle de estoque adequado. Decide-se produzir de acordo com a necessidade. Essa abordagem permite o controle do estoque através da demanda.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABC. (1979) *Anuário brasileiro de cerâmica*. São Paulo, p. 53.
- ABC. (2011) *Informações técnicas*. Disponível em: <<http://www.abceram.org.br/asp/abc_57.asp>>. Acesso em: 04 Jan..
- ACERTUBOS. (2011) *A história da cerâmica*. Disponível em: <<<http://www.acertubos.com.br/hist.htm>>>. Acesso em: 05 Jan..
- ANICER. (2011) *Dados oficiais da indústria cerâmica*. Disponível em: <<<http://www.anicer.com.br/>>>. Acesso em: 04 Jan..
- ÁVILA, D.R. (2006) *Modelagem de processos organizacionais utilizando a matriz de estrutura baseada em atividades* In: XXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP.
- BANKS, J.; CARSON II, J.S. & NELSON, B.L. (1996) *Discrete-event system simulation*. 2. ed., New Jersey: Prentice Hall.
- BARBOSA, C. M.; BROCHADO, M. R. & PITHON, A. J. C. (2008) *Redes de Empresas: Proposta de Modelo de Central de Massas para o Pólo Ceramista de Itaboraí – RJ*. In: XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP.
- BRUSTOLIN, J.R. & SILVA, E.M. (2007) *Simulação do Processo de Congelamento em uma Unidade Produtora de Aves* In: XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP.
- BUFFA, E.S. (1972) *Administração da Produção*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos.
- DAVENPORT, T.H. (2000) *Mission critical: realizing the promise of enterprise systems*. 1. ed., Boston: Harvard Business School Press.
- FOGLIATTI, M.C & MATTOS, N.M.C (2007) *Teoria de Filas*. Ed. Interciência. Rio de Janeiro.
- FREITAS FILHO, P.J. (2001) *Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas*. Ed. Visual Books. Florianópolis, SC.
- GAVIRA, M.O. (2003) *Simulação Computacional como uma Ferramenta de Aquisição de Conhecimento*. Dissertação de mestrado em Engenharia de Produção. São Carlos, USP, SP.
- HARRINGTON, J. (1993) *Aperfeiçoando Processos Empresariais*. São Paulo: Makron Books.
- HILLIER, F.S. & LIEBERMAN, G.J. (2001) *Introductions to Operations Research*. 7. ed., New York: McGraw-Hill.
- HUNT, V. D. (1996) *Process mapping: how to Reengineer your Business Processes*. New York: John Wiley & Sons.
- IBEMEC. (2010) *Diagnóstico da Indústria de Cerâmica Vermelha no Estado do Rio de Janeiro*. Pesquisa publicada no site da ANICER. Disponível em: <<[http://www.anicer.com.br/arquivos/pesquisa/diagnostico_relatorio%20 final.doc](http://www.anicer.com.br/arquivos/pesquisa/diagnostico_relatorio%20final.doc)>>. Acesso em: 10 nov..
- JOHANSSON, H. J.; MCHUGH, P.; PEDLEBURY, A. J. & WHELER III, W. A. (1995) *Processos de Negócios*. São Paulo, Pioneira.
- JUNG, C.F.; ARANDA, M.H. & CATEN, C.S.T. (2009) *Una Propuesta de Método para Identificar las Características Lineales y Sistémicas en Modelos de Desarrollo de Productos*. In: XV International Conference on Industrial Engineeringan OperationsManagement – ICIEOM.
- KELTON, W. D.; SADOWSKI, R. P. & SADOWSKI, D. A. (2002) *Simulation with Arena*. 2. ed., New York: McGraw-Hill.

- KENDALL, D. G. (1953) *Stochastic Processes Occurring in the Theory of Queues and their Analysis by the Method of the Imbedded Markov chains*. Ann. Math. Statist. v. 24, p. 338-354.
- LAW, A.M. & KELTON, W.D. (2000) *Simulation Modeling and Analysis*. 3. ed., New York: McGraw-Hill.
- NORMEY-RICO, J.E.; MÜLLER, J.F. & BRISTOL, V.M. (2003) *Controle de Temperatura de Secadores de Revestimentos Cerâmicos Alimentados com Gás Natural*. 2º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo & Gás. Rio de Janeiro.
- MEDINA, A.C. & CHWIF, L. (2006) *Modelagem e Simulação de Eventos Discretos*. Capítulo 2, Versão 0.2.
- MEIRELLES, A.; PAZ, C.; BOTELHO, I.; PAVÃO, S. & FERRAZ, P. (2008) *Aplicação de uma Metodologia de Modelagem de Processos de Controle de Qualidade: um Estudo em uma Empresa do Setor Farmacêutico*. In: XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP.
- MEIRELLES, A.F.; MEIRELLES, L.A.; BARBASTEFANO, R.G. & FLEXA, R.C. (2009) *Simulação e Layout - Um Estudo de Caso*. In: XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP.
- MELLOR, S.J.; SCOTT, K.; UHL, A. & WEISE, D. (2005) *MDA Destilada: Princípios de Arquitetura Orientada por Modelos*. Ed. Ciência Moderna. Rio de Janeiro.
- PEDGEN, C. D.; SHANNON, R.E. & SADOWSKI, R.P. (1995) *Introduction to Simulation Using SIMAN*. 2. ed., New York: McGraw-Hill.
- PIDD, M. (1998) *Modelagem Empresarial: Ferramentas para Tomada de Decisão*. Porto Alegre: Artes Médicas.
- PITHON, A. J. C.; BROCHADO, M. R. & BARBOSA, C. M. (2006) *Rede de Empresas: Proposta de Modelo Organizacional do Setor de Cerâmica Vermelha de Campos dos Goytacazes*. In: XIII Simpósio de Engenharia de Produção - SIMPEP.
- SALIBY, E. (1989) *Repensando a simulação: a amostragem descritiva*. São Paulo: Atlas.
- SANTOS, C.S. (2003) *A indústria cerâmica em Barra Bonita (SP) e suas relações com a Usina Hidrelétrica de Bariri: panorama e perspectiva*. Dissertação de Mestrado em Geociências – Campinas-SP. Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas – Unicamp.
- SEBRAE. (2008) *Estudo de Mercado SEBRAE/ESPM – Cerâmica Vermelha*. Série Mercado.
- SILVA, C.E.S.; OLIVEIRA, E.S.; SILVA, S.F.; SALGADO, E.G. & MELLO, C.H.P. (2007) *Contribuição da Análise do Valor na Simulação da Manufatura*. In: XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP.
- SILVESTRE, B.S. (2001) *Uma Análise Competitiva do Setor Ceramista de Campos dos Goytacazes*. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção – Campos dos Goytacazes-RJ. Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF. 109p..
- SOARES, M.A.; LEAL, E.A. & SOUSA, E.G. (2005) *Métodos de Custeio Utilizados pelas Indústrias Cerâmicas: Estudo de Multicasos no Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba*. In: IX Congresso Internacional de Custos - Florianópolis.
- SOUZA, S.D.C. (2003) *Uma Abordagem Evolucionária da Dinâmica Competitiva em Arranjos Produtivos Locais*. Tese de Doutorado em Engenharia de Produção – Campos dos Goytacazes-RJ. Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF. 342p..
- TOSO, E.A.V.; SILVA, J.E.A.R.; SANTOS, S.U.C.O.; MARIN, M.C. & FUJII, F.Y. (2009) *Planejamento de Mão-de-Obra: Análise do Trade-Off entre Turnos de Trabalho Adicionais e a Utilização de Horas Extras*. In: XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP.

VIEIRA, C.M.F. (2001) *Caracterização de Argilas de Campos dos Goytacazes Visando à Fabricação de Revestimento Cerâmico Semiporoso*. Tese de Doutorado em Engenharia de Materiais – Campos dos Goytacazes – RJ. Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF. 118p.

VILLELA, C. S. S. (2000) *Mapeamento do Processo como Ferramenta de Reestruturação e Aprendizagem Organizacional*. Dissertação de Mestrado. UFSC. Santa Catarina.

APÊNDICE A

TEORIA DAS FILAS

De acordo com Gavira (2003), a Teoria das Filas é uma técnica da Pesquisa Operacional (PO) que utiliza conceitos de processos estocásticos e de matemática aplicada para analisar o fenômeno de formação de filas e suas características. Essa teoria se desenvolveu a fim de resolver problemas de congestionamento e dimensionamento de instalações.

Segundo Fogliatti e Mattos (2007), um sistema com filas é qualquer processo aonde os usuários provenientes de uma determinada população, chegam para receber um serviço na qual aguardam e saem do sistema assim que o serviço é concluído. O sistema com filas é observado em qualquer atividade na qual envolva uma demanda de clientes superior à capacidade de atendimento do sistema. A Figura A.1 mostra um modelo de sistemas com filas.

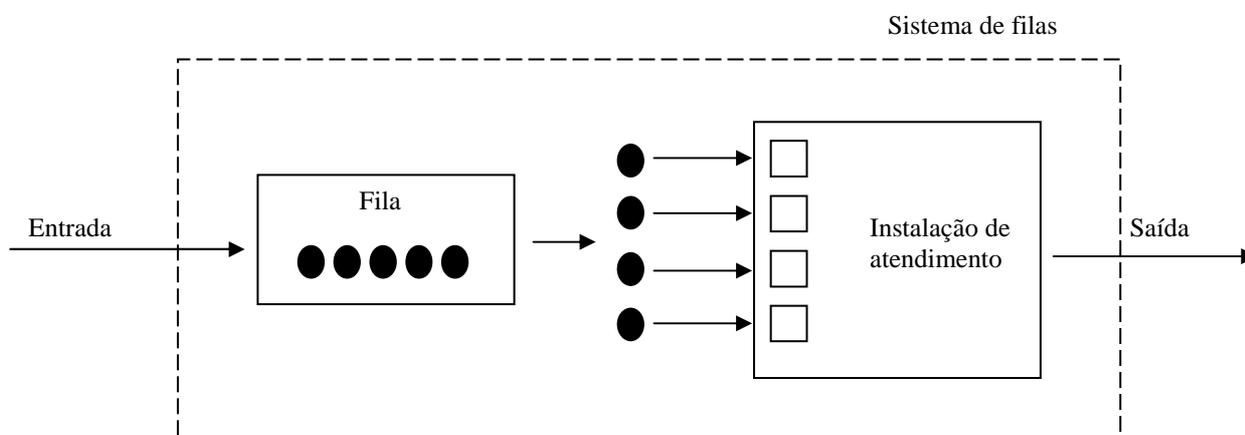


Figura A.1: Exemplo de um modelo de sistemas com filas (Adaptado de Hillier e Lieberman, 2004).

Um sistema com filas possui as seguintes características:

- **Cliente ou Entidade** – os indivíduos que chegam ao sistema a fim de obter algum tipo de recurso. Podem ser representados por pessoas, veículos, pacotes de dados de uma rede, objetos, dentre outros. Os clientes podem chegar individualmente ou em grupos (lotes). Em alguns casos, a entidade é um objeto estático na qual o

sistema é quem se move a fim de fornecer um recurso. Por exemplo, uma farmácia que trabalha com entrega a domicílio.

- **Fila** – formada por entidades que estão aguardando o recurso ser liberado.
- **Disciplina de Atendimento** – após o recurso ser liberado uma nova entidade deverá ser processada, caso haja uma fila. Portanto, é preciso determinar o próximo cliente que irá alocar o recurso por meio de uma disciplina de atendimento. As disciplinas mais conhecidas são: (i) FIFO (primeiro a chegar é o primeiro a ser atendido); (ii) LIFO (último a chegar é o primeiro a ser atendido); (iii) RR (existe um tempo pré determinado de atendimento e caso a entidade não tenha completado o processo ela poderá retornar para fila e prosseguir com o processo em outro momento); (iv) LIFO preemptivo (último a chegar pode interromper o serviço e alocar o recurso); (v) PRI (é estabelecida prioridade para as entidades); (vi) SIRO (atendimento aleatório (*random*));
- **Atendimento ou Processo** – é o instante na qual a entidade se processa. As entidades podem ser atendidas utilizando um servidor, finitos servidores ou infinitos servidores (*self service*). Segundo Hillier e Lieberman (2004) um atendente não precisa necessariamente ser um único indivíduo, ele pode ser um grupo de pessoas, por exemplo, uma equipe de manutenção que combina forças para realizar simultaneamente o serviço exigido para um cliente.
- **Capacidade do Sistema** – é a quantidade máxima de entidades que podem estar no sistema, sendo a capacidade finita ou infinita. A capacidade finita é entendida como um espaço físico limitado, por exemplo, uma fila de banco, já a capacidade infinita é definida como um espaço suficientemente grande ao ponto de nunca exceder sua capacidade, por exemplo, navios que aguardam para ser abastecidos em um portuário.

Um sistema de filas pode ocorrer em diversos cenários. O mais comum é observado quando há somente uma fila de espera na qual os clientes são atendidos por um único servidor. Para sistemas de linhas de montagem, como por exemplo, fábricas de computadores, fábricas de automóveis e outros, comumente encontram-se um sistema com múltiplas etapas de processamento das entidades. A Figura A.2 mostra os casos mais comuns de atendimento.

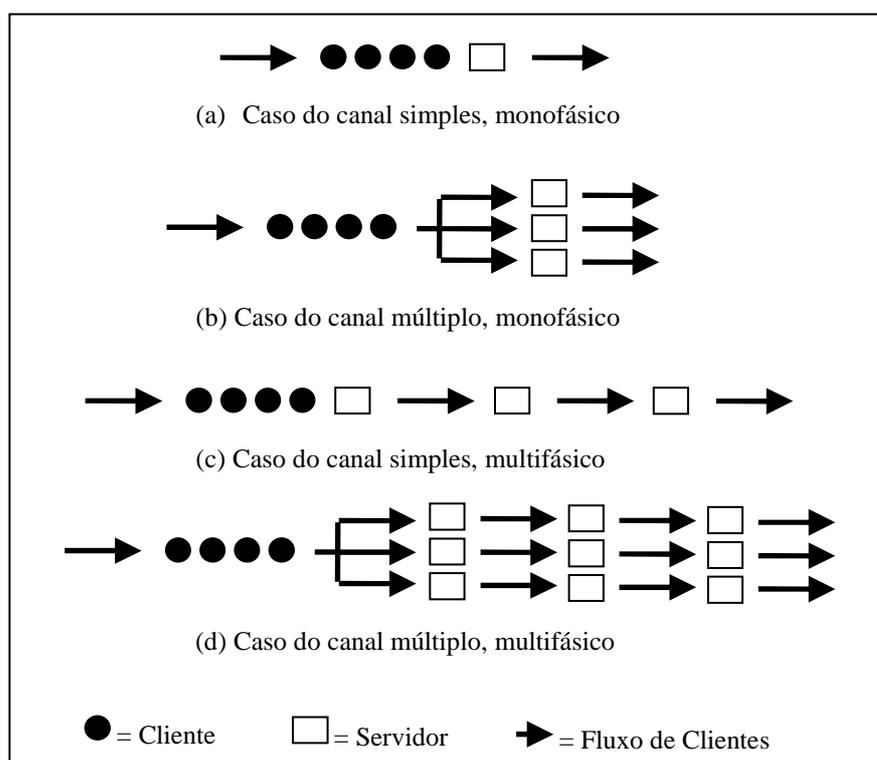


Figura A.2: Modelos de sistema de fila mais comuns (BUFFA, 1972).

Os processos de chegada e atendimento são especificados de acordo com o comportamento do fluxo de chegada e de atendimento das entidades ao sistema. Se forem conhecidos o número de chegadas e os instantes de tempo em que elas acontecem, esse processo é denominado determinístico (Fogliatti e Mattos, 2007). Se não for possível conhecer esses valores, o processo é denominado estocástico (aleatório).

O processo estocástico no sistema de filas caracteriza-se por uma distribuição de probabilidade definida pela taxa média de chegada (λ) ou a taxa média de atendimento (μ), por meio da coleta e análise dos dados. Um processo estocástico é uma família/seqüência de variáveis aleatórias $X(t)$ que descreve a evolução de alguma característica X do processo sob a análise ao longo do tempo $t \in U$ (onde U é um conjunto de números inteiros não negativos) (Fogliatti e Mattos, 2007).

Segundo Hillier e Lieberman (2004) a hipótese comum é que os clientes chegam de acordo com um processo de Poisson, isto é, o número de clientes que chegam até dado momento tem uma distribuição de Poisson. O mesmo ocorre com o processo de atendimento. Para se obter o tipo de comportamento do sistema é preciso coletar os dados (amostra), criar uma tabela de freqüências e aplicar inferências por meio de testes de aderência sobre o histograma desenvolvido de acordo com a tabela de freqüências.

Neste trabalho, usa-se o *Input Analyzer* do ARENA para determinar a distribuição respectiva. A seguir mostram-se diferentes distribuições de probabilidade a que um processo pode estar ligado (MEDINA E CHWIF, 2006):

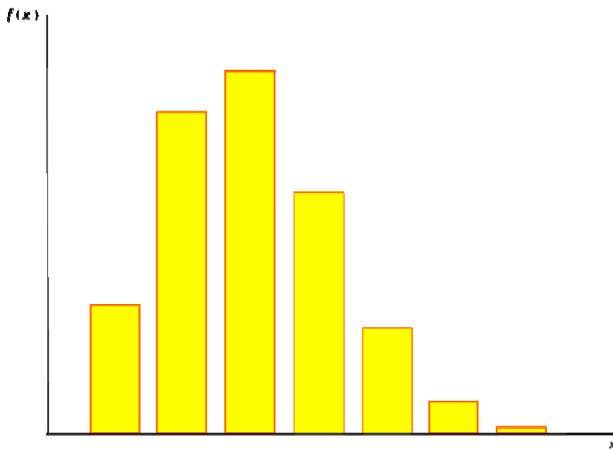


Figura A.3: Distribuição Binomial.

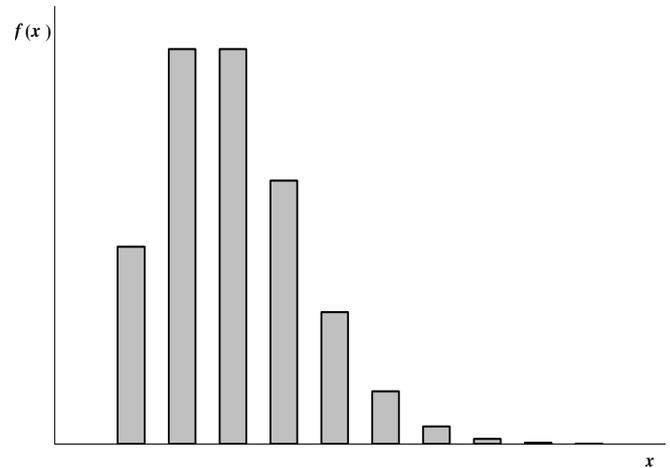


Figura A.4: Distribuição Poisson.

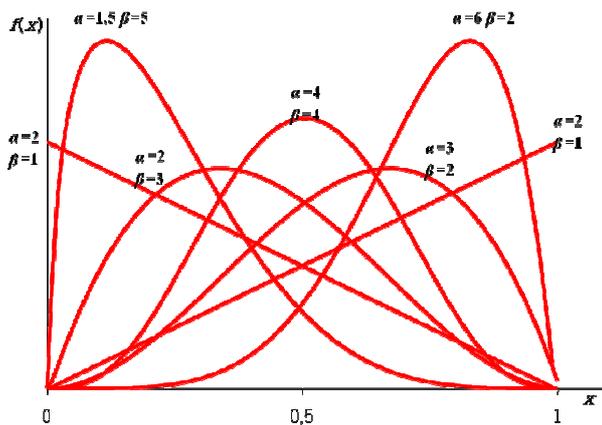


Figura A.5: Distribuição Beta

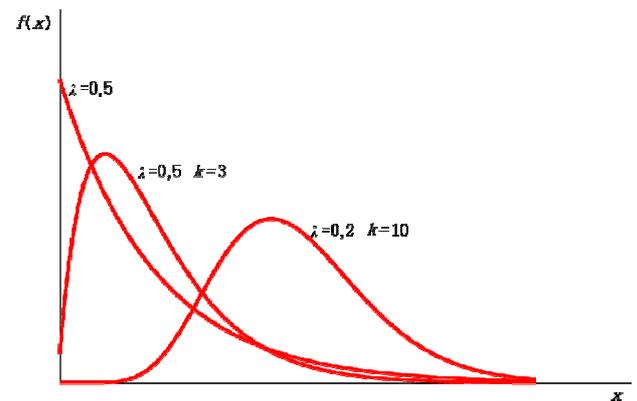


Figura A.6: Distribuição Erlang

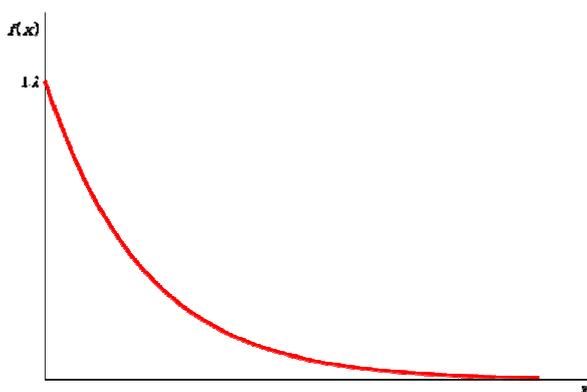


Figura A.7: Distribuição Exponencial

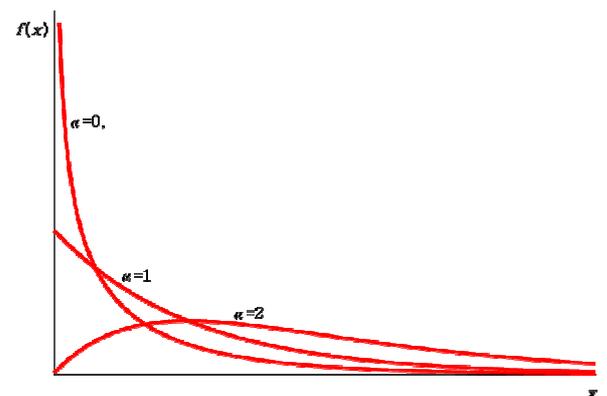


Figura A.8: Distribuição Gama

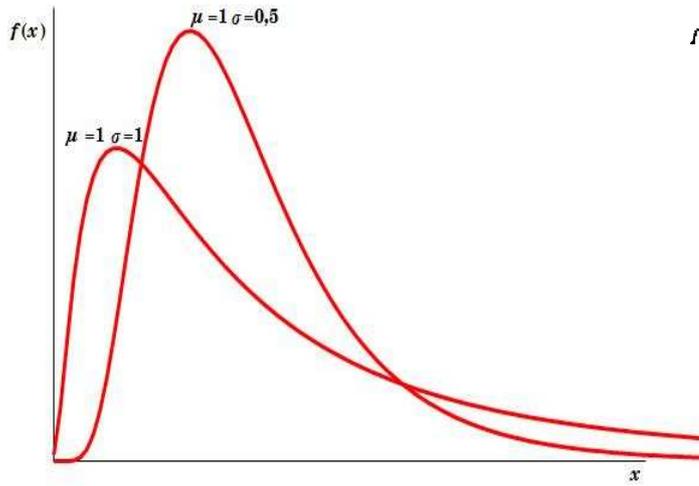


Figura A.9: Distribuição Lognormal

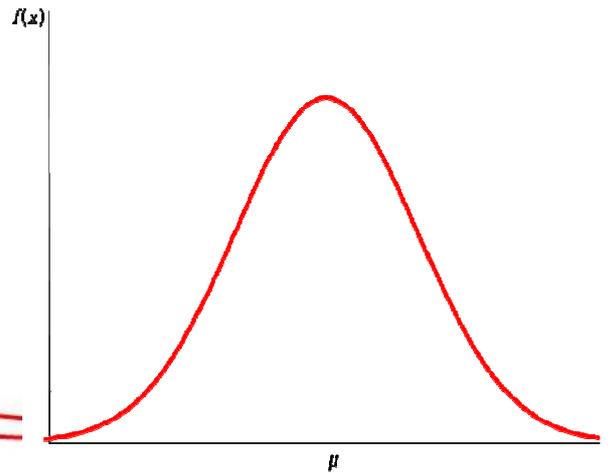


Figura A.10: Distribuição Normal

Normal

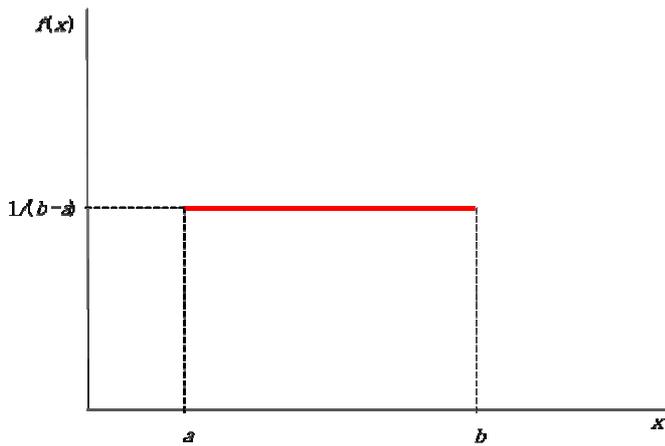


Figura A.11: Distribuição Uniforme

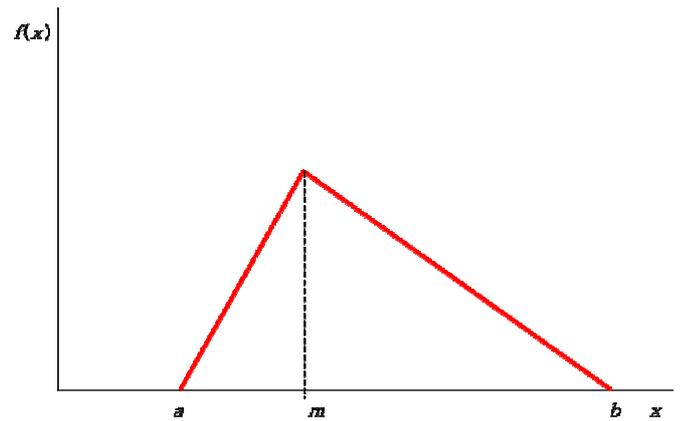


Figura A.12: Distribuição Triangular

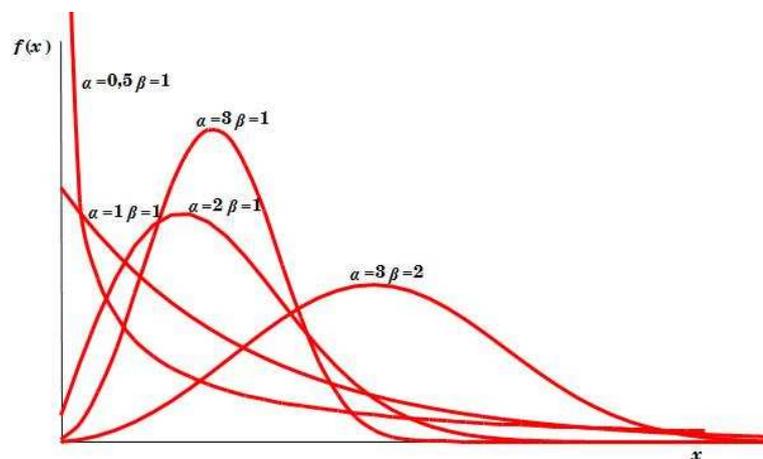


Figura A.13: Distribuição Weibull

De acordo com Kendall (1953), a forma utilizada para organizar o comportamento do sistema de filas é representada por A / S / m / B / D, onde:

A: distribuição de tempo entre chegadas sucessivas;

S: distribuição de tempo de atendimento;

m: número de canais de atendimento em paralelo;

B: capacidade do sistema;

D: disciplina de atendimento.

Dentre as distribuições teóricas listadas acima, as mais comuns no processo de A e S são (FOGLIATTI e MATTOS, 2007):

D: distribuição determinística ou degenerada (tempos contantes);

M: distribuição exponencial (*Memoryless* ou Markoviana);

E_k: distribuição Erlang do tipo k;

G: distribuição geral (qualquer distribuição permitida).

Podem-se criar diversas combinações de representação do sistema a partir dessa notação. A mais comum é a M / M / 1 na qual tanto o tempo de chegadas sucessivas e o tempo de atendimento ocorrem conforme uma distribuição exponencial e possui apenas um servidor. As últimas três posições por *default* caracterizam respectivamente capacidade infinita e atendimento FIFO ou poderia ser descrita como M / M / 1 / ∞ / FIFO.

As medidas de desempenho dependem das distribuições de entrada e saída do sistema. Para alguns casos conhecidos existem fórmulas fechadas. Por exemplo, para o caso mencionado acima (M / M / 1), os resultados a seguir aplicam-se somente quando $\frac{\lambda}{\mu} < 1$; isto é, a taxa de chegada das entidades por período de tempo for menor do que a taxa de atendimento por período de tempo:

Taxa média de ocupação do sistema: $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$

Probabilidade do sistema estar vazio ou ocioso: $P_0 = 1 - \frac{\lambda}{\mu}$

Numero médio de entidades no sistema: $L = \frac{\lambda}{\mu - \lambda}$

Numero médio de entidades na fila: $L_q = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)}$

Tempo médio de permanência no sistema: $W = \frac{1}{\mu - \lambda}$

Tempo médio de espera na fila: $W_q = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)}$

APÊNDICE B

Tabela B1: Amostra de dados do mês de agosto.

PROCESSO PRODUTIVO DE CERÂMICA VERMELHA								
Produto	Dia/Mês	Início da Produção	Término da Produção	Qtd. Produzida	Qtd. Produzida por Hora	Nº de Fichas ou Vagões	Nº de Funcionários na Esteira	Tempo de Paradas
Telha	02/ago	07:00	09:00	6.300	3.375	15	5	8min.
9x19x29	02/ago	09:15	14:05	24.000	6.487	30	10	1h8min.
Telha	02/ago	14:20	17:00	10.920	4.095	26	5	0
Blocão	03/ago	07:00	09:00	13.600	7.035	17	10	4min.
9x19x29	03/ago	09:15	11:00	11.200	6.589	14	10	3min.
Laje	03/ago	12:00	15:57	29.756	7.797	33	10 ; 12 ; 10	8min.
9x19x29	03/ago	16:01	17:00	7.200	7.200	9	10	0
Telha	04/ago	07:00	11:00	13.860	3.465	33	5	0
9x19x29	04/ago	12:00	17:00	29.760	6.137	33	10 ; 12	9min.
9x19x29	05/ago	07:00	13:02	26.240	5.832	30	12 ; 10	1h32min
Telha	05/ago	14:30	16:50	7.980	3.741	19	5	12min
Telha	07/ago	07:00	09:00	7.980	3.990	19	5	0
9x19x29	07/ago	09:18	11:15	12.000	6.429	15	10	5min.
9x19x29	09/ago	07:00	09:00	11.200	5.600	14	10	0
9x19x19	09/ago	09:15	11:05	12.960	8.738	9	10	21min.
Telha	09/ago	12:03	15:58	13.860	3.539	33	5	0
Telha	10/ago	07:00	08:40	6.720	4.032	16	5	0
9x19x19	10/ago	09:00	14:00	38.016	9.832	24	12 ; 10	1h8min.
9x19x29	10/ago	14:15	17:00	18.080	6.656	22	12 ; 10	2min.
9x19x29	11/ago	07:00	08:57	12.800	6.565	16	10	0
9x19x19	11/ago	09:15	11:15	20.160	10.251	14	10	2min.
Telha	11/ago	12:15	16:50	15.540	3.391	37	5	0
9x19x19	12/ago	07:00	09:00	17.280	9.176	12	10	7min.
9x19x29	12/ago	09:15	14:00	24.000	6.400	30	10	1h
Telha	12/ago	14:15	16:45	9.660	3.864	23	5	0
9x19x29	13/ago	07:00	09:00	12.800	6.509	16	10	2min.
Telha	13/ago	09:15	10:50	5.880	3.835	14	5	3min.
9x19x29	13/ago	12:00	17:00	30.400	6.080	38	10	0
9x19x29	14/ago	07:05	11:15	24.000	5.976	30	10	9min.
Telha	17/ago	07:00	13:45	18.480	3.291	44	5	1h8min.
9x19x19	17/ago	14:10	17:00	25.920	10.034	18	10	15min.
9x19x19	18/ago	07:00	09:00	19.008	9.748	11	12	3min.
9x19x29	18/ago	09:15	14:00	24.000	6.546	30	10	1h5min.
Telha	18/ago	14:35	16:50	8.400	3.734	20	5	0
Laje	19/ago	07:00	11:00	30.100	7.718	32	12 ; 10	6min.

9x19x29	19/ago	12:00	17:00	30.400	6.142	38	10	3min.
9x19x29	20/ago	07:00	14:00	33.440	5.799	40	10 ; 12 ; 10	1h14min.
Telha	20/ago	14:30	16:50	7.980	3.420	19	5	0
Telha	23/ago	07:00	11:00	11.340	3.136	27	5	23min.
9x19x19	23/ago	12:00	17:00	46.080	9.216	32	10	0
9x19x19	24/ago	07:00	09:00	17.280	8.862	12	10	3min.
Telha	24/ago	09:30	14:00	13.020	3.720	31	5	1h
9x19x29	24/ago	14:15	17:00	16.160	5.877	19	10 ; 12	0
9x19x29	25/ago	07:00	08:05	6.720	6.204	7	12	0
Telha	25/ago	13:20	16:50	12.180	3.480	29	5	0
Telha	26/ago	07:00	09:00	7.140	3.570	17	5	0
9x19x29	26/ago	09:15	11:09	12.000	6.429	15	10	2min.
Laje	26/ago	12:10	17:00	38.184	8.011	42	12 ; 10	4min.
9x19x29	27/ago	07:00	11:10	17.600	5.867	22	10	1h10min.
Telha	27/ago	12:10	14:00	6.300	3.437	15	5	0
9x19x29	27/ago	14:15	17:00	14.720	5.353	20	10 ; 8	0
Telha	28/ago	07:00	10:05	10.080	3.270	24	5	0
9x19x29	28/ago	10:16	11:05	5.600	X	7	10	0
9x19x29	30/ago	07:00	09:00	12.480	6.456	13	12	4min.
9x19x19	30/ago	09:15	11:00	14.400	8.728	10	10	6min.
Telha	30/ago	12:00	14:38	10.080	3.828	24	5	0
9x19x19	30/ago	15:00	16:00	6.912	X	4	12	2min.
Blocão	30/ago	16:10	17:00	3.200	X	4	10	0
Blocão	31/ago	07:00	09:00	12.800	6.565	16	10	3min.
Telha	31/ago	09:15	14:00	13.020	3.472	31	5	1h
9x19x19	31/ago	14:15	17:00	24.480	9.012	17	10	2min.

Tabela B2: Amostra de dados do mês de setembro.

PROCESSO PRODUTIVO DE CERÂMICA VERMELHA

Produto	Dia/Mês	Início da Produção	Término da Produção	Qtd. Produzida	Qtd. Produzida por Hora	Nº de Fichas ou Vagões	Nº de Funcionários na Esteira	Tempo de Paradas
9x19x19	01/set	07:00	09:00	18.720	9.519	13	10	2min.
9x19x29	01/set	09:15	10:58	11.200	6.525	14	10	0
Telha	01/set	12:00	16:50	17.640	3.650	42	5	0
9x19x29	02/set	07:00	11:00	22.400	5.648	28	10	2min.
Laje	02/set	12:00	14:10	15.480	8.077	15	12	15min.
9x19x29	02/set	14:15	17:00	16.000	5.890	20	10	2min.
9x19x29	03/set	07:00	11:00	22.720	5.728	27	12 ; 10	2min.
Telha	03/set	12:00	16:30	14.700	3.459	35	5	15min.
9x19x29	04/set	07:00	08:58	12.000	6.102	15	10	0
9x19x19	04/set	09:12	11:15	17.280	8.419	12	10	0

Telha	06/set	07:10	11:00	12.180	3.178	29	5	10min.
9x19x19	06/set	12:00	17:00	40.320	9.269	24	10 ; 12	39min.
Telha	08/set	07:00	08:50	6.720	3.877	16	x	6min.
9x19x29	08/set	09:05	17:00	40.800	6.060	51	10	1h11min.
Telha	09/set	07:00	11:00	13.020	3.255	31	5	0
9x19x19	09/set	12:00	17:00	46.656	9.857	30	12 ; 10	16min.
Telha	10/set	07:00	10:45	13.020	3.472	31	5	0
9x19x19	10/set	11:55	14:00	20.160	9.835	14	10	2min.
9x19x29	10/set	14:15	16:50	16.000	6.194	20	10	0
Telha	11/set	07:00	09:00	6.300	3.231	15	5	0
9x19x29	11/set	09:15	09:55	4.000	X	5	10	3min.
9x19x29	13/set	07:00	11:00	22.400	5.671	28	10	3min.
Telha	13/set	12:00	14:45	9.660	3.513	23	5	0
Laje	13/set	15:05	17:00	13.760	7.789	16	10	9min.
Laje	14/set	07:00	08:45	14.104	8.548	14	12 ; 10	6min.
Telha	14/set	09:05	14:27	14.700	3.367	35	5	1h
Laje	14/set	14:42	17:00	19.436	8.451	21	12 ; 10	0
9x19x29	15/set	07:00	14:17	36.000	6.102	45	10	1h23min.
Telha	15/set	14:32	16:50	7.140	3.105	17	5	0
9x19x29	16/set	07:00	14:00	36.800	6.400	46	10	1h15min.
Telha	16/set	14:30	16:30	7.140	3.570	17	5	0
9x19x19	17/set	07:00	13:40	50.400	9.027	35	10	1h5min.
Telha	17/set	15:00	16:50	7.560	4.124	18	5	0
Telha	18/set	07:00	08:55	6.300	3.287	15	5	0
9x19x29	18/set	09:10	11:15	12.800	6.245	16	10	2min.
9x19x29	20/set	07:06	09:00	10.400	6.000	13	10	10min.
9x19x19	20/set	09:15	14:00	34.560	9.511	24	10	1h7min.
Telha	20/set	14:20	16:50	8.820	3.528	21	5	0
Telha	21/set	07:05	09:00	6.720	3.507	16	5	0
9x19x19	21/set	09:15	11:00	16.128	10.080	10	12 ; 10	9min.
9x19x29	21/set	12:00	17:00	29.600	6.041	43	10 ; 8	6min.
9x19x29	22/set	07:00	07:30	2.400	X	3	10	0
Laje	22/set	07:40	09:00	10.320	8.148	12	10	4min.
Telha	22/set	09:15	13:55	14.280	3.895	34	5	1h.
9x19x29	22/set	14:10	17:00	18.400	6.533	23	10	1min.
Telha	23/set	07:00	10:05	10.080	3.270	24	5	0
9x19x29	23/set	10:23	17:00	34.400	6.125	43	10	1h.
9x19x29	24/set	07:00	14:00	36.640	6.176	41	12 ; 10	1h4min.
Telha	24/set	14:20	16:47	8.820	3.600	21	5	0
Telha	27/set	07:00	11:00	11.340	2.625	27	5	24min.
9x19x19	27/set	12:00	16:50	44.640	9.498	31	10	8min.
Telha	28/set	07:00	11:00	9.660	3.513	23	5	1h15min.
Laje	28/set	12:00	14:24	18.060	7.968	19	12 ; 10	8min.
9x19x29	28/set	14:38	17:00	13.600	5.871	17	10	3min.
9x19x29	29/set	08:00	09:15	7.840	6.272	9	10 ; 12	0
Telha	29/set	09:40	14:00	11.760	3.638	28	5	1h6min.

9x19x29	29/set	14:15	17:00	19.520	7.186	22	12 ; 10 ; 12	2min.
9x19x29	30/set	07:00	08:55	11.200	5.648	14	10	4min.
Telha	30/set	09:10	14:00	13.440	3.633	32	5	1h8min.
9x19x29	30/set	14:15	17:00	19.200	7.068	24	10	2min.

RELATÓRIOS GERADOS PELO ARENA 7.0

- **Resumo do relatório de simulação do processo de fabricação do tijolo 9x19x19.**

ARENA Simulation Results

Andre - License: 2514001431

Output Summary for 5 Replications

Project: Unnamed Project

Run execution date : 1/15/2011

Analyst: Andre

Model revision date: 1/15/2011

Replication ended at time : 1.0 Hours

Base Time Units: Hours

OUTPUTS

Identifier	Average	Half-width	Minimum	Maximum	# Replications
Process 4 Number Out	4604.4	14.964	4589.0	4622.0	5
Process 1 Accum Wait Time	.00000	.00000	.00000	.00000	5
Process 3 Accum Wait Time	.00000	.00000	.00000	.00000	5
Process 1 Number Out	9456.6	5.4539	9453.0	9464.0	5
Process 4 Accum VA Time	3.0670	.01114	3.0557	3.0784	5
Process 3 Number Out	4791.6	9.9936	4781.0	4799.0	5
Process 2 Accum VA Time	.99978	5.0793E-05	.99974	.99985	5
Process 2 Number In	9456.6	5.4539	9453.0	9464.0	5
Process 4 Number In	4607.6	15.446	4592.0	4626.0	5
Process 2 Accum Wait Time	.39819	.02334	.36911	.41399	5

Process 4 Accum Wait Time	.00000	.00000	.00000	.00000	5
Process 2 Number Out	9454.8	5.2962	9451.0	9462.0	5
Process 3 Accum VA Time	3.1954	.00628	3.1904	3.2036	5
Process 1 Number In	9457.6	5.4539	9454.0	9465.0	5
Process 3 Number In	4794.2	10.139	4783.0	4801.0	5
Process 1 Accum VA Time	.99998	1.8132E-05	.99996	1.0000	5
tijolo.NumberIn	14978.	10.929	14968.	14990.	5
tijolo.NumberOut	14091.	26.640	14071.	14125.	5
tijolo_ret.NumberIn	76.200	18.937	54.000	93.000	5
tijolo_ret.NumberOut	73.200	19.340	52.000	91.000	5
auxiliar1.NumberSeized	4794.2	10.139	4783.0	4801.0	5
auxiliar1.ScheduledUtilization	.79910	.00151	.79793	.80111	5
auxiliar2.NumberSeized	4607.6	15.446	4592.0	4626.0	5
auxiliar2.ScheduledUtilization	.76703	.00290	.76418	.77010	5
corte_.NumberSeized	9455.8	5.2962	9452.0	9463.0	5
corte_.ScheduledUtilization	.99985	3.8587E-06	.99984	.99985	5
extrusora_.NumberSeized	9457.6	5.4539	9454.0	9465.0	5
extrusora_.ScheduledUtilization	1.0000	2.4022E-06	1.0000	1.0000	5
System.NumberOut	9396.0	16.423	9387.0	9419.0	5

Simulation run time: 0.03 minutes.

Simulation run complete.

- **Resumo do relatório de simulação do processo de fabricação do tijolo 9x19x29.**

ARENA Simulation Results

Andre - License: 2514001431

Summary for Replication 1 of 5

Project: Unnamed Project

Run execution date : 1/28/2011

Analyst: Andre

Model revision date: 1/28/2011

Replication ended at time : 1.0 Hours

Base Time Units: Hours

OUTPUTS

Identifier	Average	Half-width	Minimum	Maximum	# Replications
tijolo.NumberIn	9642.8	8.8397	9636.0	9651.0	5
tijolo.NumberOut	9300.0	19.192	9283.0	9319.0	5
tijolo_ret.NumberIn	50.800	16.803	35.000	69.000	5
tijolo_ret.NumberOut	48.600	14.704	34.000	63.000	5
auxiliar1.NumberSeized	3112.6	5.2377	3108.0	3119.0	5
auxiliar1.ScheduledUtilization	.84242	.00178	.84071	.84469	5
auxiliar2.NumberSeized	3095.4	9.7199	3085.0	3104.0	5
auxiliar2.ScheduledUtilization	.83775	.00265	.83575	.84028	5
corte_.NumberSeized	6243.8	2.9639	6240.0	6246.0	5
corte_.ScheduledUtilization	.99980	5.1780E-06	.99979	.99980	5
extrusora_.NumberSeized	6245.0	3.2846	6241.0	6248.0	5
extrusora_.ScheduledUtilization	1.0000	3.6359E-06	.99999	1.0000	5
System.NumberOut	6201.0	13.050	6187.0	6213.0	5

Simulation run time: 0.02 minutes.

Simulation run complete.

- **Resumo do relatório de simulação do processo de fabricação de telhas.**

ARENA Simulation Results

Andre - License: 2514001431

Summary for Replication 1 of 5

Project: Unnamed Project

Run execution date : 1/15/2011

Analyst: Andre

Model revision date: 1/15/2011

Replication ended at time : 1.0 Hours

Base Time Units: Hours

OUTPUTS

Identifier	Average	Half-width	Minimum	Maximum	# Replications
Process 4 Number Out	790.00	6.1449	784.00	796.00	5
Process 7 Number Out	690.00	6.2690	684.00	698.00	5
Process 8 Accum VA Time	.64901	.00436	.64449	.65285	5
Process 1 Accum Wait Time	.00000	.00000	.00000	.00000	5
Process 3 Accum Wait Time	.00000	.00000	.00000	.00000	5
Process 5 Accum Wait Time	.00000	.00000	.00000	.00000	5
Process 7 Accum Wait Time	.00000	.00000	.00000	.00000	5
Process 1 Number Out	4639.6	21.006	4620.0	4659.0	5
Process 6 Accum VA Time	.82829	.00388	.82501	.83254	5
Process 6 Number Out	744.60	4.7760	740.00	749.00	5
Process 4 Accum VA Time	.87852	.00599	.87179	.88420	5
Process 3 Number Out	3878.8	9.1397	3871.0	3887.0	5
Process 2 Accum VA Time	.99913	2.8167E-04	.99876	.99931	5
Process 2 Number In	4638.8	21.366	4619.0	4659.0	5
Process 4 Number In	790.60	5.5241	785.00	796.00	5
Process 6 Number In	745.40	4.5275	741.00	750.00	5
Process 8 Number In	585.60	4.0798	581.00	590.00	5
Process 2 Accum Wait Time	.86329	.06741	.80186	.93447	5
Process 4 Accum Wait Time	.00000	.00000	.00000	.00000	5
Process 6 Accum Wait Time	.00000	.00000	.00000	.00000	5
Process 8 Accum Wait Time	.00000	.00000	.00000	.00000	5
Process 7 Accum VA Time	.76726	.00672	.76178	.77576	5
Process 8 Number Out	584.80	4.0609	580.00	589.00	5
Process 2 Number Out	4637.0	21.086	4617.0	4656.0	5
Process 5 Number Out	771.80	3.8665	768.00	775.00	5
Process 5 Accum VA Time	.85708	.00425	.85221	.86124	5
Process 3 Accum VA Time	3.4014	.00802	3.3946	3.4086	5
Process 1 Number In	4640.6	21.006	4621.0	4660.0	5
Process 3 Number In	3881.4	8.8484	3874.0	3890.0	5
Process 5 Number In	772.80	3.8665	769.00	776.00	5

Process 7 Number In	691.00	6.2690	685.00	699.00	5
Process 1 Accum VA Time	.99971	2.8663	E-04 .99934	.99988	5
telha_ret.NumberIn	825.00	15.530	811.00	841.00	5
telha_ret.NumberOut	592.40	11.731	583.00	608.00	5
telha.NumberIn	4800.0	.00000	4800.0	4800.0	5
telha.NumberOut	3757.6	13.359	3745.0	3773.0	5
prensa1.NumberSeized	970.80	2.2208	969.00	973.00	5
prensa1.ScheduledUtilization	.85098	.00185	.84938	.85265	5
prensa2.NumberSeized	970.60	2.0773	969.00	973.00	5
prensa2.ScheduledUtilization	.85070	.00195	.84891	.85241	5
prensa3.NumberSeized	970.00	2.3225	968.00	972.00	5
prensa3.ScheduledUtilization	.85060	.00201	.84888	.85239	5
prensa4.NumberSeized	970.00	2.3225	968.00	972.00	5
prensa4.ScheduledUtilization	.85043	.00196	.84867	.85216	5
auxiliar1.NumberSeized	790.60	5.5241	785.00	796.00	5
auxiliar1.ScheduledUtilization	.87907	.00558	.87239	.88420	5
auxiliar2.NumberSeized	772.80	3.8665	769.00	776.00	5
auxiliar2.ScheduledUtilization	.85743	.00416	.85250	.86148	5
auxiliar3.NumberSeized	745.40	4.5275	741.00	750.00	5
auxiliar3.ScheduledUtilization	.82886	.00373	.82529	.83307	5
auxiliar4.NumberSeized	691.00	6.2690	685.00	699.00	5
auxiliar4.ScheduledUtilization	.76812	.00663	.76248	.77642	5
auxiliar5.NumberSeized	585.60	4.0798	581.00	590.00	5
auxiliar5.ScheduledUtilization	.64933	.00407	.64490	.65292	5
corte_.NumberSeized	4638.0	21.086	4618.0	4657.0	5
corte_.ScheduledUtilization	.99923	2.5877	E-04 .99891	.99940	5
extrusora_.NumberSeized	4640.6	21.006	4621.0	4660.0	5
extrusora_.ScheduledUtilization	.99985	2.2987	E-04 .99957	1.0000	5
System.NumberOut	3525.0	15.026	3511.0	3542.0	5

Simulation run time: 0.03 minutes.

Simulation run complete.

PLANILHA APLICADA NA EMPRESA

PROCESSO PRODUTIVO DE CERÂMICA VERMELHA

Tijolos							Telha	Data	Início da Produção	Término da Produção	Qtd. Produzida	Qtd. de Paradas	Qtd. de Fios Trocados	Qtd. de Peças Perdidas
19x19 <input type="checkbox"/>	19x29 <input type="checkbox"/>	Laje <input type="checkbox"/>	Maciço <input type="checkbox"/>	Vazado <input type="checkbox"/>	Outros <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>							
19x19 <input type="checkbox"/>	19x29 <input type="checkbox"/>	Laje <input type="checkbox"/>	Maciço <input type="checkbox"/>	Vazado <input type="checkbox"/>	Outros <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>							
19x19 <input type="checkbox"/>	19x29 <input type="checkbox"/>	Laje <input type="checkbox"/>	Maciço <input type="checkbox"/>	Vazado <input type="checkbox"/>	Outros <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>							
19x19 <input type="checkbox"/>	19x29 <input type="checkbox"/>	Laje <input type="checkbox"/>	Maciço <input type="checkbox"/>	Vazado <input type="checkbox"/>	Outros <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>							
19x19 <input type="checkbox"/>	19x29 <input type="checkbox"/>	Laje <input type="checkbox"/>	Maciço <input type="checkbox"/>	Vazado <input type="checkbox"/>	Outros <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>							
19x19 <input type="checkbox"/>	19x29 <input type="checkbox"/>	Laje <input type="checkbox"/>	Maciço <input type="checkbox"/>	Vazado <input type="checkbox"/>	Outros <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>							
19x19 <input type="checkbox"/>	19x29 <input type="checkbox"/>	Laje <input type="checkbox"/>	Maciço <input type="checkbox"/>	Vazado <input type="checkbox"/>	Outros <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>							
19x19 <input type="checkbox"/>	19x29 <input type="checkbox"/>	Laje <input type="checkbox"/>	Maciço <input type="checkbox"/>	Vazado <input type="checkbox"/>	Outros <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>							
19x19 <input type="checkbox"/>	19x29 <input type="checkbox"/>	Laje <input type="checkbox"/>	Maciço <input type="checkbox"/>	Vazado <input type="checkbox"/>	Outros <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>							
19x19 <input type="checkbox"/>	19x29 <input type="checkbox"/>	Laje <input type="checkbox"/>	Maciço <input type="checkbox"/>	Vazado <input type="checkbox"/>	Outros <input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>							