



*Universidade Federal de Santa Catarina  
Centro Tecnológico  
Curso de Engenharia de Controle e  
Automação Industrial*



***Um Experimento de Simulação para Avaliação de um  
Processo Industrial***

*Monografia submetida à Universidade Federal de Santa Catarina  
como requisito para a aprovação da disciplina:  
**EEL 5901: Projeto de Fim de Curso***

*Carlos Fernando Martins*

*Florianópolis, Dezembro de 1994*

***Um Experimento de Simulação para Avaliação de um  
Processo Industrial***

*Carlos Fernando Martins*

*Esta monografia foi julgada no contexto da disciplina  
**EEL 5901: Projeto de Fim de Curso**  
e aprovada na sua forma final pelo  
**Curso de Engenharia de Controle e Automação Industrial***

*Banca Examinadora:*

*Prof. José Eduardo Ribeiro Cury  
Orientador, ECAI-UFSC*

*Eng. Mauro Duarte Mabilid Silveira  
Orientador, Eliane V*

*Prof. Augusto Humberto Bruciapaglia  
Responsável pela Disciplina e Coordenador do Curso*

*Prof. Jean Marie Farines, Avaliador*

*Claudiane Isabel Grandó, Debatedora*

*Pedro Paulo da Silva, Debatedor*



**Dedico este trabalho à minha mãe  
Zilda, à minha família e a todos os  
meus amigos.**

## Agradecimentos

- Ao Engenheiro Jorge Habib Hanna El Khouri, orientador deste trabalho, pela dedicação e pelos ensinamentos transmitidos durante o período de desenvolvimento do projeto.
- Ao Professor Marcelo Ricardo Stemmer, pela orientação e atenção dada ao trabalho.
- Ao Professor Augusto Humberto Bruciapaglia, pelo interesse dedicado ao projeto desenvolvido, e pelo incentivo e conhecimentos passados durante o curso.
- Aos colegas de estudo e trabalho, que contribuíram com seus conhecimentos e amizade.
- À Itaipu Binacional, que permitiu a realização deste estágio.
- À Universidade Federal de Santa Catarina, pelo apoio à formação discente.
- Ao Anderson e ao Carlos, pelo companheirismo nos momentos importantes.
- A meus pais, Sid e Lourdes, que são meus grandes mestres, pois seus ensinamentos são a base de todo este trabalho.

# SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	iii
SUMÁRIO.....	iv
RESUMO .....	ix
ABSTRACT.....	x
LISTA DE FIGURAS .....	xi
INTRODUÇÃO.....	1
CAPÍTULO I.....	5
DEFINIÇÃO DO PROBLEMA E OBJETIVOS.....	5
1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA E OBJETIVOS.....	5
1.2 DEFININDO O SISTEMA.....	6
1.2.1 Descrevendo o Processo Para Revestimentos Cerâmicos .....	6
1.3 CONCLUSÃO.....	14
CAPÍTULO II.....	15
O MODELO DE SIMULAÇÃO.....	15
2.1 INTRODUÇÃO.....	15
2.2 SISTEMAS E MODELOS.....	16
2.3 COMPONENTES DE UM SISTEMA.....	16
2.3.1 Entidades .....	16
2.3.2 Atributos .....	16
2.3.3 Recursos.....	17
2.3.4 Conjunto .....	17
2.3.5 Evento.....	17
2.3.6 Atividade .....	17
2.3.7 Delay .....	17
2.3.8 Estado do Sistema .....	18

---

2.4 TIPOS DE SISTEMAS.....	19
2.4.1 Sistemas Discretos.....	19
2.4.2 Sistemas Contínuos.....	20
2.4.3 Sistemas Híbridos.....	20
2.5 TIPOS DE MODELOS.....	20
2.5.1 Modelos Estáticos ou Dinâmicos.....	20
2.5.2 Modelos Determinísticos ou Estocásticos.....	21
2.5.3 Modelos Discretos, Contínuos e Híbridos.....	21
2.6 APLICAÇÕES DA SIMULAÇÃO.....	21
2.7 SIMULAÇÃO NA MANUFATURA.....	22
2.8 VANTAGENS E DESVANTAGENS DA SIMULAÇÃO.....	23
2.8.1 Vantagens.....	24
2.8.2 Desvantagens.....	24
2.9 ETAPAS DE UM PROCESSO DE SIMULAÇÃO.....	24
2.9.1 Formulação do Problema.....	24
2.9.2 Definição dos Objetivos.....	25
2.9.3 Construção do Modelo.....	25
2.9.4 Coleta de Dados.....	27
2.9.5 Codificação.....	28
2.9.6 Verificação.....	28
2.9.7 Validação.....	29
2.9.8 Projeto Experimental.....	30
2.9.9 Execução e Análise dos resultados.....	30
2.9.10 Mais Execuções.....	30
2.9.11 Documentação e Registro.....	30
2.9.12 Implementação.....	31
2.10 SIMAN - SIMULAÇÃO DA MANUFATURA.....	31

---

2.11 CONCLUSÃO.....	32
CAPÍTULO III .....	33
ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS .....	33
3.1 INTRODUÇÃO.....	33
3.2 MEDIDAS OU ÍNDICES DE DESEMPENHO .....	33
3.3 INTERPRETANDO OS RESULTADOS VIA SIMAN.....	36
3.4 TIPOS DE ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS.....	39
3.4.1 Estimação por Ponto.....	39
3.4.2 Estimação por Intervalo.....	39
3.5 CONCLUSÃO.....	40
CAPÍTULO IV .....	41
DESENVOLVIMENTO DO MODELO DE SIMULAÇÃO - eliane V.....	41
4.1 INTRODUÇÃO.....	41
4.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA E OS OBJETIVOS.....	41
4.3 CONSTRUÇÃO DO MODELO .....	41
4.4 COLETA DE DADOS.....	43
4.5 CODIFICAÇÃO.....	44
4.5.1 Introdução à Linguagem SIMAN .....	44
4.5.1.1 Tipos de Blocos Básicos .....	44
4.5.2 Elementos Experimentais .....	50
4.6 ANIMAÇÃO DO PROCESSO DE SIMULAÇÃO.....	52
4.7 COMO EXECUTAR UM MODELO DE SIMULAÇÃO USANDO SIMAN.....	53
4.7.1 Sem a Animação do Processo .....	53
4.7.2 Com a Animação do Processo.....	53
4.8 CONCLUSÃO.....	54

---

CAPÍTULO V.....	55
VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO - eliane V .....	55
5.1 INTRODUÇÃO.....	55
5.2 VERIFICAÇÃO DO MODELO.....	55
5.2.1 Comparação.....	56
5.2.2 Incorporação de Dúvidas Externas.....	56
5.2.3 Execução de Testes.....	56
5.2.4 Uso do Comando "TRACE" com o Debugger Interativo.....	56
5.3 ANIMAÇÃO COMO PROCESSO DE VERIFICAÇÃO.....	58
5.4 CUIDADOS ESPECIAIS.....	58
5.5 VALIDAÇÃO DO MODELO.....	59
5.5.1 Testando a Credibilidade do Modelo Através dos Seguintes Parâmetros:.....	60
5.5.1.1 Continuidade.....	60
5.5.1.2 Consistência.....	60
5.5.1.3 A remoção de características do modelo.....	60
5.5.2 Testando a Estrutura e os Dados do Modelo.....	60
5.5.3 Comparação dos Resultados.....	61
5.6 CONCLUSÃO.....	62
CAPÍTULO VI.....	63
TÉCNICAS PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO.....	63
6.1 INTRODUÇÃO.....	63
6.2 SISTEMAS TERMINAIS E NÃO TERMINAIS.....	63
6.3 ANÁLISE DE SISTEMAS TERMINAIS.....	64
6.3.1 Análise Para Cada Réplica.....	64
6.3.2 Réplicas Independentes.....	65



---

6.4 METODOLOGIA PARA ANALISAR SISTEMAS TERMINAIS.....	66
6.5 ANÁLISE DE SISTEMAS NÃO TERMINAIS.....	69
6.6 METODOLOGIA PARA AVALIAR SISTEMAS NÃO TERMINAIS.....	71
6.7 CONCLUSÃO.....	76
CAPÍTULO VII.....	77
TESTES, EXPERIMENTOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	77
7.1 INTRODUÇÃO.....	77
7.2 ENTRADA DE DADOS / PROJETO EXPERIMENTAL.....	78
7.3 TESTE 1: ESTIMAÇÃO DOS TEMPOS DE CARREGAMENTO E DESCARREGAMENTO DE CARROS BOXES.....	81
7.4 TESTE 2: ESTIMAÇÃO DOS TEMPOS NO SISTEMA.....	92
7.5 TEMPOS MÉDIOS DE PARADA DAS PRENSAS.....	105
7.6 CONCLUSÃO.....	106
APÊNDICE A.....	108
APÊNDICE B.....	110
APÊNDICE C.....	114
CONCLUSÃO.....	118
PERSPECTIVAS.....	119
BIBLIOGRAFIA.....	120

## RESUMO

Este trabalho estuda o problema de modelagem e avaliação de desempenho da empresa *eliane* revestimentos cerâmicos, unidade de produção V, com objetivo de especificar ou encontrar soluções apropriadas.

Apresenta-se inicialmente o problema a ser solucionado: Construir um modelo de simulação e estimar medidas de desempenho do sistema *eliane* unidade V.

Para solucionar este problema, são descritas as fases para a construção de um modelo de simulação: a definição do problema, a especificação dos objetivos a serem alcançados e a construção propriamente dita do modelo, usando uma linguagem específica de simulação. As fases para verificar e validar o modelo também são apresentadas com objetivo de representar aproximadamente o sistema *eliane* unidade V através do modelo de simulação.

São descritas também as vantagens e desvantagens de utilizar a simulação como ferramenta de análise, as principais aplicações da simulação bem como os motivos que levaram a optar por um modelo de simulação ao invés dos métodos analíticos para modelar o sistema *eliane* unidade V.

São apresentadas duas técnicas para avaliar o desempenho de sistemas pertencentes a duas grandes classes: as classes dos sistemas terminais e a classe dos sistemas não terminais. Estas duas técnicas para avaliação dos resultados são aplicadas nos testes realizados.

Por fim, testes e experimentações sobre o modelo são executados com objetivo de avaliar o comportamento do sistema e estimar medidas de desempenho de interesse.

## ABSTRACT

In this work we study the modeling and performance evaluation problem of production unit V at "*eliane* revestimentos cerâmicos", with the objective of specifying or finding appropriate solutions.

The problem to be solved is the one of constructing a simulation model and estimating performance measures of the system *eliane* unit V.

In order to solve this problem the following steps for the construction of a simulation model are described: problem definition, objective specification, and the actual construction of the model using a specific simulation language. The verification and validation steps are also presented with the objective of approximately representing the system through the simulation model.

The advantages and disadvantages of using simulation as an analysis tool are also described, as well as the main applications of simulation and the reasons that lead us to choose a simulation model instead of any analytic method.

Two different techniques for performance analysis of systems of two classes are presented: the class of terminal systems and the class of non-terminal systems. These techniques are applied on the test results.

Finally we execute some tests using the model with the objectives of evaluating system behavior and estimating interesting performance measures.

## LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I .....	5
Figura 1.1 - "Layout" <i>eliane</i> unidade de produção V .....	8
Figura 1.2 - "Layout" <i>eliane</i> unidade de produção V/ Produção de azulejos .....	12
Figura 1.3 - "Layout" <i>eliane</i> unidade de produção V/ Produção de azulejos .....	13
CAPÍTULO II .....	15
Figura 2.1 - Eventos e Atividades .....	17
Figura 2.2 - Sistemas Discretos(Cliente/Servidor) .....	19
Figura 2.3 - Mudanças Discretas no Tempo .....	19
Figura 2.4 - Sistemas Contínuos .....	20
Figura 2.5 - Etapas de um Processo de Simulação .....	26
Figura 2.6 - Validação do Modelo .....	29
CAPÍTULO III .....	33
Figura 3.1 - Intervalo de Confiança da Média .....	40
CAPÍTULO IV .....	41
Figura 4.1 - Simplificações e Omissões .....	43
CAPÍTULO VI .....	63
Figura 6.1 - Comando "MOV AVERAGE" do SIMAN .....	72
Figura 6.2 - Análise de Grupos .....	73
Figura 6.3 - Correlograma .....	75
CAPÍTULO VII .....	77
Figura 7.1 - Intervalo de Confiança dos Tempos Médios de Carregamento e Descarregamento de Carros Boxes .....	91
Figura 7.2 - "MOV AVERAGE" Para Selecionar Ponto de Truncamento .....	94
Figura 7.3 - Correlograma .....	95
Figura 7.4 - Intervalo de Confiança Para o Tempo Médio Gasto no Sistema .....	97

Figura 7.5 - Histograma de Carros Boxes Carregados com Azulejos Crus da Linha de Esmaltação I .....	98
Figura 7.6 - Histograma de Carros Boxes Carregados com Azulejos Crus da Linha de Esmaltação II .....	99
Figura 7.7 - Histograma de Carros Boxes Carregados com Azulejos Queimados do Forno A (Queimados 1).....	100
Figura 7.8 - Histograma de Carros Boxes Carregados com Azulejos Queimados do Forno B (Queimados 2).....	101



## INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, com o avanço tecnológico devido em grande parte à rápida evolução dos computadores, os sistemas de manufatura vêm se tornando cada vez mais complexos. Este aumento da complexidade deve-se, por exemplo, a inúmeros fatores, entre eles: a automação dos equipamentos de um sistema de manufatura, a utilização de redes de computadores interligando e controlando todos os fluxos de operações e informações, a diminuição do ciclo de vida dos produtos forçando os sistemas de manufatura a tornarem-se cada vez mais flexíveis podendo responder rapidamente as mudanças de mercado, etc.

Este grande desenvolvimento resulta em investimentos relacionados à compra de equipamentos, compra e/ou desenvolvimento de programas computacionais, além de treinamento de pessoal. Para justificar estes altos investimentos é necessário alcançar determinado nível de desempenho que garanta alta produtividade, flexibilidade e eficiência do sistema.

Tendo em vista a alta complexidade e os custos envolvidos, um projeto de um sistema deverá se apoiar na utilização de recursos que possibilitam estudar este sistema, analisar o seu comportamento no tempo, avaliar o desempenho, determinar gargalos de produção, determinar o tamanho de lotes econômicos, etc, de modo a garantir facilidade, segurança e baixos custos na execução de testes experimentais.

Tendo conhecimento dos altos custos e riscos de se realizar experimentações com o próprio sistema real, os testes e estudos do sistema são realizados sobre um modelo. Um modelo é uma representação que serve de apoio à concepção e/ou operação do sistema real. É uma descrição abstrata do mesmo.

É através deste modelo que o sistema pode ser avaliado antes de ser efetivamente construído ou antes de ter uma estratégia de produção implementada. Desta forma, fica evidenciado que o modelo é uma ferramenta que, a baixos custos e com grande facilidade, possibilita estudar o sistema em detalhes sem riscos ou perigo de experimentações sobre o sistema real, estudando seus componentes e a relação entre eles.

Em relação aos métodos de avaliação de desempenho, os modelos podem ser divididos em duas classes maiores:

- Métodos analíticos.
- Simulação.

Nos métodos analíticos, expressões matemáticas (equações algébricas, diferenciais ou à diferenças) são utilizadas para modelar e analisar um processo através de variáveis ou índices de



desempenho de interesse [BSC84]. A solução ou conjunto de soluções destas equações são estimativas dos parâmetros analisados. Este método é utilizado principalmente nos estágios iniciais de um projeto pelo fato de ser rápido, fornecendo um menor conjunto de soluções aproximativas dentro de uma faixa aceitável aumentando a capacidade de análise e compreensão dos resultados iniciais. No entanto, para uma análise mais detalhada e precisa do comportamento de um sistema complexo, grandes quantidades de dados são necessários, dificultando a modelagem por equações matemáticas devido ao grande número de variáveis envolvidas, tornando as soluções difíceis de serem encontradas e custosas do ponto de vista do esforço computacional necessário para obtê-las. Além disso, se grandes simplificações forem realizadas no sentido de poder modelar o comportamento do sistema através de equações matemáticas, questões importantes na modelagem a nível de detalhes podem ser ignoradas e simplificadas e, com isso, o modelo perde em precisão e em fidelidade o poder de representação do sistema em estudo.

A simulação é uma técnica de resolução de problemas pela observação do comportamento, sobre o tempo, de um modelo dinâmico de um sistema, ou seja, o método de simulação é um processo através do qual o modelo de simulação é avaliado numericamente e os resultados obtidos são usados para estimar variáveis ou índices de desempenho de interesse [PSS90].

A simulação, ao contrário dos métodos analíticos, é usada principalmente para modelar sistemas complexos com grandes níveis de detalhes e fidelidade. Neste sentido, o comportamento do sistema pode ser melhor entendido e avaliado através de vários experimentos com maior precisão e confiança nos resultados colhidos no fim de uma simulação.

Apesar de preciso, o método de simulação é custoso do ponto de vista de desenvolvimento e resolução, pois há necessidade de uma grande quantidade de dados para representar, em determinados níveis de detalhes, o comportamento do sistema.

Neste trabalho é desenvolvido um modelo de simulação da empresa *eliane* revestimentos cerâmicos, unidade de produção V (Criciúma-SC) com o objetivo de estudar o sistema real, analisar e avaliar o seu comportamento no tempo através de medidas ou índices de desempenho de interesse, de modo a garantir que os testes experimentais sejam de fácil execução, de baixos custos e com grande flexibilidade.

Com este modelo, uma decisão, seja ela sobre a alteração do "layout" físico ou sobre estratégias de produção, pode ser avaliada antes de ser efetivamente implementada garantindo segurança na tomada de uma decisão.

Dentro deste contexto, este trabalho tem o propósito de cumprir as seguintes metas:

1. Estudar o processo de revestimentos cerâmicos da empresa *eliane* unidade de produção V.
2. Construir um modelo de simulação do sistema de revestimentos cerâmicos - *eliane* unidade V, detalhando as fases necessárias para a implementação deste modelo.
3. Descrever duas técnicas para avaliação de desempenho do sistema.
4. Avaliar o comportamento do sistema no tempo e estimar índices de desempenho tais como: tempo médio no sistema, produtividade, tempos de manutenção, número médio de azulejos nos "buffers" e nas correias das linhas de esmaltação, tempo médio nos fornos, tempo médio para carregamento e descarregamento de azulejos nos armazenadores (carros boxes), etc.
5. Determinar o número adequado de batidas das prensas por minuto. Com este valor determinar quanto tempo as prensas podem ficar paradas nos dois turnos de funcionamento sem prejudicar a produção de azulejos.
6. Estimar o nível de utilização da classificadeira de azulejos e determinar quanto tempo ela pode ficar parada sem congestionar o sistema e produzir o necessário em três turnos de funcionamento.
7. Realizar testes com várias trocas de bitolas (tamanho dos azulejos) e diferentes referências (decorações).

Para atingir estes objetivos, este trabalho está organizado da seguinte maneira:

O capítulo I (Definição do Problema e Objetivos) descreve todo o processo de revestimentos cerâmicos da empresa *eliane* unidade V, definindo claramente o problema a ser solucionado. Neste capítulo também são definidos os objetivos a serem alcançados por este trabalho.

O capítulo II (O Modelo de Simulação) desenvolve um estudo sobre a simulação de sistemas, definindo os principais conceitos utilizados na modelagem por simulação, abordando suas principais aplicações, características, vantagens e desvantagens. É abordado também, uma metodologia para a construção de um modelo de simulação, detalhando as etapas necessárias para se obter sucesso na elaboração de um modelo.

O capítulo III (Estimação de parâmetros) analisa os principais índices de desempenho que podem ser colhidos em uma simulação e discute o problema de interpretação dos resultados no modelo de simulação. Este capítulo requer um certo conhecimento de estatística por parte do leitor.



O capítulo IV (Desenvolvimento do Modelo de Simulação) descreve as etapas relacionadas com a construção do modelo *eliane* unidade V, desde a definição do problema até a fase de codificação usando uma linguagem específica de simulação, o SIMAN. Neste capítulo, é introduzida a linguagem SIMAN com as suas principais funções e elementos que permitem a construção de modelos, e o processo de animação possibilitando acompanhar visualmente a simulação.

O capítulo V (Verificação e Validação) discute os problemas de verificação e validação do modelo de simulação *eliane* unidade V, detalhando as etapas para adaptar o modelo ao sistema real. É também introduzido o recurso de verificação fornecido pelo SIMAN, o "debugger interativo", mostrando como executar um modelo passo a passo afim de que se possa realizar um acompanhamento de todo o processo de simulação.

O capítulo VI (Técnicas Para Avaliação de Sistemas) trata de duas classes importantes de sistemas: a classe de sistemas terminais e a classe de sistemas não terminais. Para cada uma das classes é colocado uma metodologia para avaliação do comportamento do sistema. A descrição das duas metodologias é realizada utilizando o SIMAN como ferramenta de apoio.

O capítulo VII (Testes, Experimentos e Análise dos Resultados) descreve um conjunto de testes realizados no sentido de exemplificar a importância do modelo de simulação da empresa *eliane* unidade V e estimar parâmetros determinados pela fábrica *eliane* tal como a estimação dos tempos de paradas das prensas no fim do segundo turno de trabalho. Os testes aplicados seguem as metodologias citadas no capítulo VI.

Por fim, o trabalho apresenta uma conclusão de todo o projeto desenvolvido e as perspectivas tendo em vista a grande utilidade do modelo.

# CAPÍTULO I

## DEFINIÇÃO DO PROBLEMA E OBJETIVOS

### 1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA E OBJETIVOS

A primeira etapa do projeto foi a definição e o estudo completo do problema a ser solucionado: Construir um modelo de simulação da empresa *eliane* revestimentos cerâmicos s/a, unidade de produção V, para avaliação de desempenho da fábrica através de índices ou medidas de interesse.

A *eliane* unidade V é a mais nova unidade de produção de azulejos do grupo *eliane* revestimentos cerâmicos. Localizada em Criciúma, SC, a unidade entrou em funcionamento em setembro de 1994. Desde então, vários ajustes foram e são necessários para atingir os objetivos de uma produção eficiente e eficaz.

Em operação, a fábrica apresentou alguns problemas iniciais:

- A falta de carros boxes vazios (armazenadores em forma de prateleiras que transportam os azulejos crus ou queimados) disponíveis.
- Problemas na máquina de classificação de azulejos.
- Incertezas de quantos azulejos por minuto as prensas devem produzir e quanto tempo as prensas podem ficar paradas sem diminuir a produtividade.
- Ajustes excessivos nas linhas de esmaltação diminuindo a produtividade da unidade V.
- Baixa qualidade do produto final, etc.
- A estes problemas, somam-se ainda as incertezas advindas do funcionamento completo da fábrica, levantando-se as seguintes questões:
- O número de carros boxes (armazenadores de azulejos) é suficiente para determinado nível de produção ?
- Quais as velocidades adequadas das correias nas linhas de esmaltação ?
- Qual será a produtividade das linhas de esmaltação considerando apenas as paradas para manutenção das serigráficas?

- Quantas máquinas classificadeiras são necessárias para atender a demanda de azulejos produzidos ?

Para fazer um estudo completo da fábrica, identificando os problemas citados e as possíveis soluções apropriadas a estes problemas, e ainda, para prever o comportamento futuro fornecendo respostas às questões acima levantadas, um modelo de simulação da fábrica foi construído.

Este modelo de simulação visa representar a fábrica de maneira aproximada de modo que, os testes e experimentações possam ser realizados sobre o modelo e não sobre a própria fábrica, garantindo assim, segurança, economia e rapidez nos resultados obtidos.

Dado o ponto de partida para a construção do modelo, que é a definição e o entendimento completo do problema, e das questões levantadas com propósito de solucionar este problema, pergunta-se: Qual o método que será utilizado para representar o sistema real em estudo, o método analítico ou o método da simulação ?

Para este caso, o modelo de simulação é escolhido pelo fato do sistema ser complexo e exigir muitos detalhes que não poderiam ser implementados através de métodos analíticos que, apesar de mais rápidos, exigiriam muitas simplificações e reduções provocando impactos na estrutura de modelagem do sistema produzindo resultados finais não confiáveis.

## **1.2 DEFININDO O SISTEMA**

O primeiro passo para solucionar um problema é definir com precisão os limites do sistema de interesse e como os elementos que compõem este sistema interagem entre si.

### **1.2.1 Descrevendo o Processo Para Revestimentos Cerâmicos**

A argila moída e outros componentes chamados de barbotina passam pelo atomizador formando grãos uniformes constituindo uma massa chamada de massa atomizada. Esta massa atomizada é transportada por correias até um silo de estocagem.

Para ser utilizada pelas prensas para a formação dos azulejos crus, também chamados de biscoitos, a massa atomizada passa por processos de limpeza para a retirada de impurezas tais como os materiais ferrosos. Quando livre das impurezas, a massa atomizada é transportada novamente por correias até as prensas.

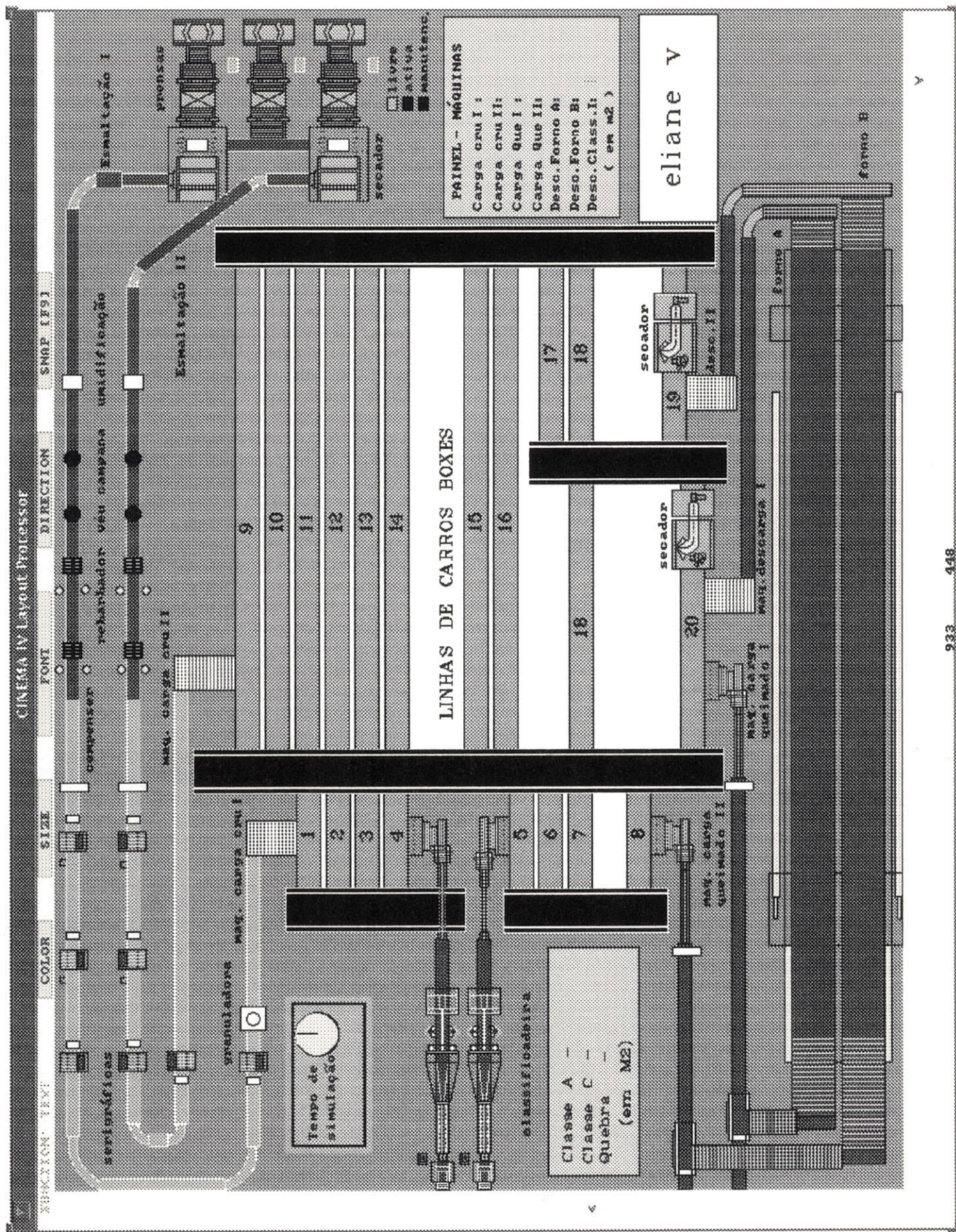


Toda a descrição sobre o processo para fabricação de azulejos descrito abaixo é referente a figura 1.1.

O sistema *eliane*, unidade de produção V, possui três prensas. A prensa 1 que alimenta a linha de esmaltação 1, a prensa 2 que alimenta tanto a linha esmaltação 1 quanto a linha de esmaltação 2 e a prensa 3 que alimenta a linha de esmaltação 2. A prensa 2 atua como uma prensa reserva, por exemplo, em situações como a manutenção de uma das prensas 1 ou 3, a prensa 2 passa a atuar alimentando a linha correspondente a prensa que parou. Para a troca de bitola (tamanho do piso) a prensa 2 também é ativada para diminuir o tempo de preparação (setup).

Após a operação de prensagem para a formação dos biscoitos (substratos cerâmicos), estes biscoitos são transportados por correias até um secador para retirar a umidade. A fábrica possui dois secadores, um para cada linha de esmaltação. Depois de um certo tempo, o biscoito sai do secador e entra na linha de esmaltação onde ele passa primeiro pelo véu campana (esmalte), um tipo de tinta que cai em forma de cortina sobre os azulejos e que fornece o brilho dos azulejos e características gerais de um produto esmaltado como impermeabilização, retificação, etc. Após o véu campana, o biscoito passa por rebarbadores que fazem uma limpeza nas laterais dos azulejos e são transportados pelas correias até as máquinas serigráficas responsáveis pela decoração nos azulejos. Há quatro máquinas serigráficas em cada linha que podem ser selecionadas conforme o interesse. Antes de todas as máquinas serigráficas nas linhas de esmaltação há um "buffer", também chamado de compenser, em cada linha com capacidade de 100 azulejos cada. Estes "buffers", em forma vertical, tem o objetivo de acumular os azulejos sempre que um problema ou acumulação de azulejos ocorrem nas linhas de esmaltação. Sempre que a soma do número de azulejos presentes no "buffer" (compenser) com o número de azulejos sendo transportados pelas correias anteriores, ou seja, o número de azulejos sobre as correias que ligam o secador a este "buffer" (compenser) for igual a capacidade deste "buffer", a prensa pára de bater. Este procedimento é realizado com objetivo de não parar estas correias transportadoras que ligam o secador ao compenser caso haja um problema, por exemplo, nas serigráficas, no carregamento de carros boxes, etc, podendo o "buffer" suportar os azulejos nele contidos mais os azulejos nas correias anteriores a ele. Nas serigráficas há também um "buffer" de capacidade de 30 azulejos. Sempre que o "buffer" estiver carregado, somente a correia anterior a ele é que pára de transportar.





1.1 "Layout" eliane unidade de Produção V



Completadas as operações de esmaltação, os azulejos são colocados em carros boxes, armazenadores que realizam o transporte destes azulejos para o forno e para a classificação final. Estes carregamentos, executados por uma máquina carregadora disponível no fim de cada linha de esmaltação são realizados na linha 1 para azulejos que saem da linha de esmaltação I e na linha 9 para azulejos que saem da linha de esmaltação II. Quando completamente carregado de azulejos, o carro boxe sai da linha de carregamento de crus e é transportado para um "pátio" onde há um acúmulo de carros boxes carregados com azulejos crus. A linha 11 é para carro boxe carregado com crus 2 e a linha 12 é para carro boxe carregado com crus 1. A transferência de uma linha para outra é feita por um sistema de transporte programado, por exemplo, se há um carro boxe carregado com crus 1 na linha 1, através de chaves de fim de curso, o transportador é acionado se dirigindo para a linha 1, pegando o carro boxe e transportando-o até a linha 12. Na *eliane* unidade V, há quatro transportadores de carros boxes.

Na linha 11, os carros boxes aguardam até que haja espaço disponível no secador do forno, linha 19. Este secador tem uma capacidade de 3 carros boxes. Quando há dois ou menos carros boxes neste secador, novamente através de uma chave de fim de curso, o transportador é acionado e de acordo com a programação, ele pega o carro boxe disponível na linha 11 e transporta este carro boxe para a linha 19.

No caso dos carros boxes acumulados na linha 12, eles são transportados até a linha 17. Quando houver espaço disponível no secador do forno, linha 20, os carros boxes são transportados até esta linha. Este secador também tem uma capacidade de 3 carros boxes.

Passando pelos secadores antes dos fornos, os carros boxes são descarregados por uma máquina descarregadora disponível em cada linha. Após o descarregamento os carros boxes ficam vazios. Os azulejos liberados, são transportados por correias até os fornos para o processo da queima.

A unidade de produção V possui dois fornos: O forno A, alimentado com carros boxes carregados com crus 1, linha 20, e o forno B alimentado com carros boxes carregados com crus 2, linha 19. O processo é monoqueima, ou seja, os azulejos passam apenas uma vez pelo forno.

O carro boxe vazio da linha 19, é transportado para a linha 18. Disponível, este carro boxe pode ser transportado para a linha 8, onde se realiza o carregamento de

azulejos que saem do forno B, ou para linha 2 e posteriormente para a linha 1, realizando um novo carregamento de azulejos crus 1. Caso não haja necessidades de carros boxes nas duas linhas citadas, o carro boxe permanece vazio na linha 18.

Já o boxe vazio na linha 20, permanece na própria linha, na máquina carregadora de azulejos queimados que saem do forno A.

Quando o processo da queima termina, os azulejos saem dos fornos e são colocados novamente nos carros boxes disponíveis nas linha 20 (queimados 1) e na linha 8 (queimados 2).

O carro boxe carregado com azulejos queimados 1 é transportado para a linha 14 e depois retorna pela linha 16.

O carro boxe carregado com azulejos queimados 2 é transportado até a linha 13 e depois retorna pela linha 15.

Nestas linhas 15 e 16 há um acúmulo de carros boxes carregados com queimados.

O carro boxe carregado com queimados é transportado para a linha 4 onde é descarregado. Os azulejos liberados, são classificados e embalados como uma operação final. O carro boxe novamente vazio, pode ser transportado ou para linha 1 caso haja espaço, sabendo-se que esta linha tem uma capacidade de 2 carros boxes, um sendo carregado e outro disponível, ou ser transportado para linha 3. No fim da linha 3, o carro boxe pode ser transportado para linha 8 com maior prioridade, ou para a linha 2, ou para a linha 10, onde no fim desta linha será transportado para a linha 9, novo carregamento de crus 2.

Com este sistema de armazenamento, as linhas de esmaltação e a classificação trabalham apenas em dois turnos enquanto que os fornos trabalham continuamente em três turnos, ou seja, durante o dia há uma reserva de carros boxes carregados com azulejos crus que poderão ser descarregados no período noturno (21:00 - 5:00) para a queima dos azulejos. Como a classificação não opera no terceiro período, os boxes são carregados com queimados e aguardam nas linhas de boxes carregados com queimados pelo início do primeiro turno (5 horas da manhã). Nas figuras 1.2 e 1.3 podem ser vistas a evolução do processo.

A programação da produção é feita pelo PCP (programação e controle da



produção) da fábrica. O PCP planeja a produção detalhando a quantidade (em metros quadrados) de azulejos a serem produzidos, o tamanho e as referências dos mesmos.

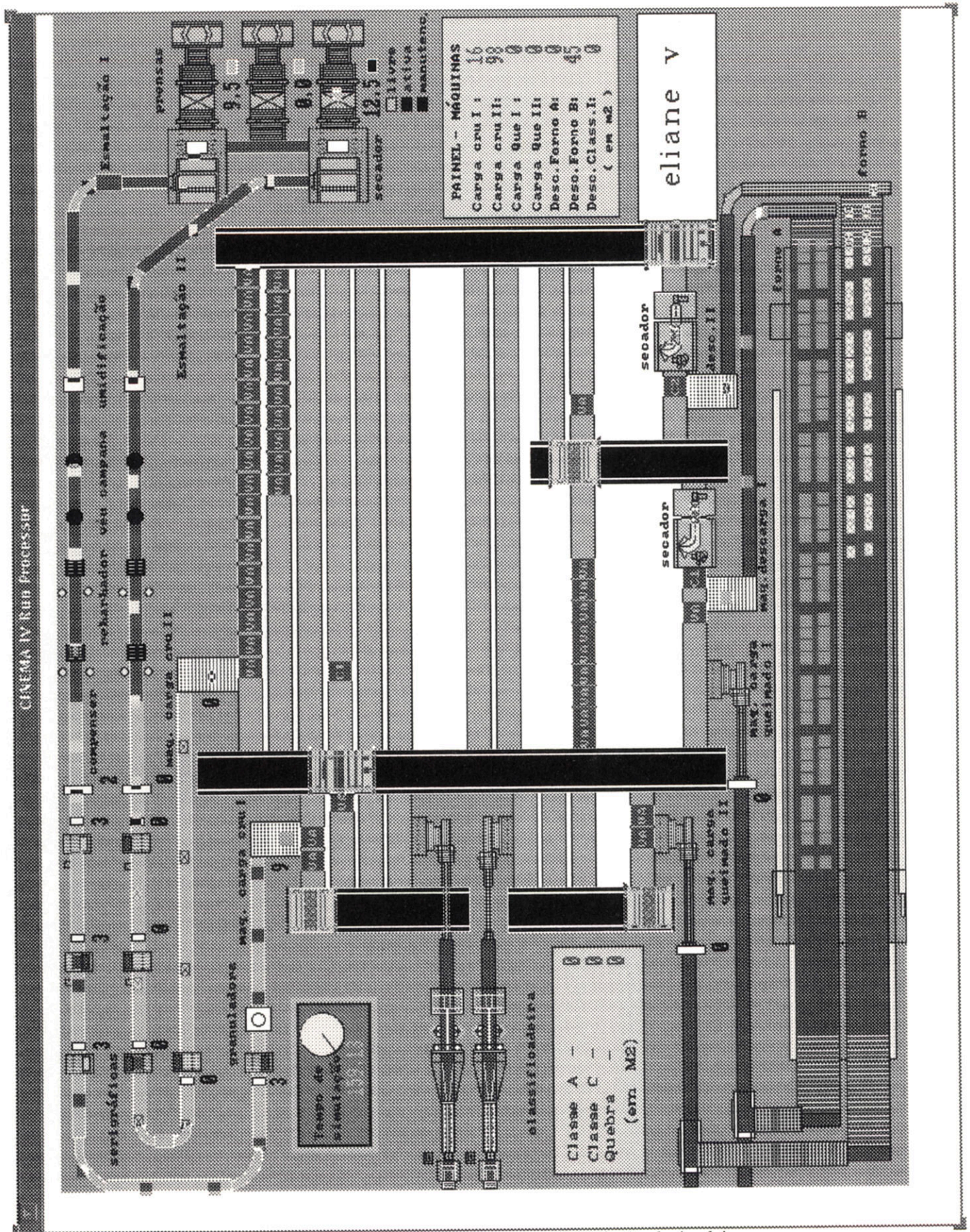
Atualmente, a *eliane* unidade V produz três tipos de bitolas (tamanhos ou formatos) diferentes: 25x33, 33x45 e o 25x41.

A construção do modelo *eliane* unidade V leva em consideração apenas a parte das prensas em diante, ou seja, a modelagem das prensas, linhas de esmaltação, carros boxes, fornos e classificação.

Com o problema definido, define-se os objetivos preliminares que o modelo deverá alcançar:

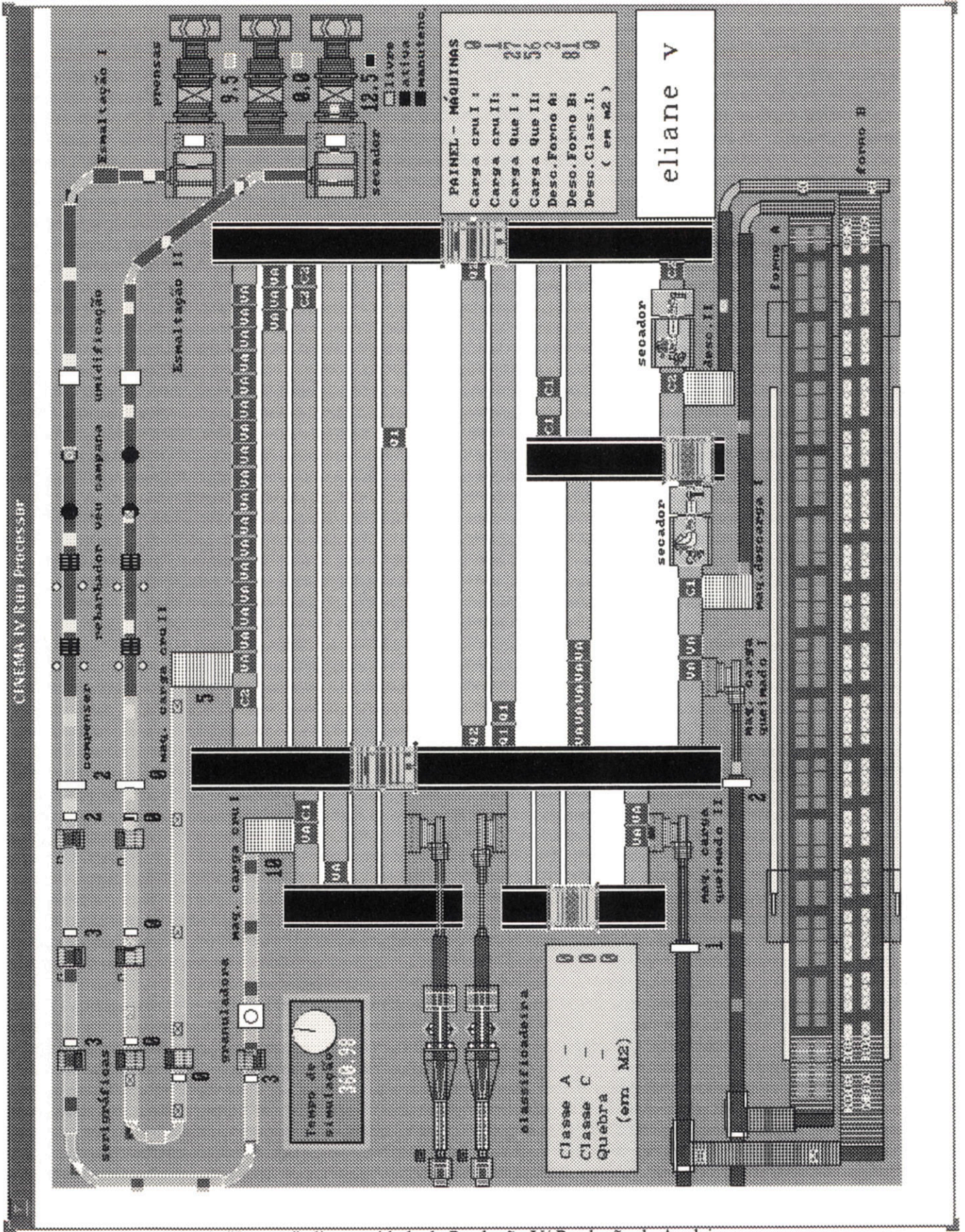
- Responder a questão de como o sistema evolui no tempo.
- Estimar medidas de desempenho do sistema tais como, a utilização dos equipamentos (máquinas serigráficas, transportes, secadores, etc).
- Verificar a existência de gargalos no sistema.
- Determinar o tempo médio gasto no sistema, ou seja, o tempo médio gasto a partir das prensas até a classificação final.
- Determinar o número de batidas adequado das prensas que formam os azulejos.
- Determinar a produtividade.
- Como o sistema reage a quebras e falhas de equipamentos?
- Percentual do tempo em que os equipamentos ficam inativos ou bloqueados.
- Verificar o funcionamento futuro da fábrica em determinadas situações.
- ◆ Tempo de execução destas fases: As fases de formulação do problema e determinação dos objetivos foram realizadas em um período de quatro dias nas instalações da *eliane* unidade V.





1.2 "Layout" eliane unidade de Produção V/ Produção de Azulejos





1.3 "Layout" eliane unidade de Produção V/ Produção de Azulejos



### 1.3 CONCLUSÃO

Este capítulo procurou descrever de forma reduzida todo o processo de revestimentos cerâmicos da empresa *eliane* unidade V.

Com o problema entendido claramente e definidos os objetivos a serem alcançados, as próximas etapas, descritas nos capítulos seguintes, serão referentes a este problema especificado com o propósito de encontrar uma solução adequada. Todos os passos desenvolvidos na construção do modelo *eliane* unidade V visam atingir os objetivos citados.

## CAPÍTULO II

### O MODELO DE SIMULAÇÃO

#### 2.1 INTRODUÇÃO

A simulação é uma das mais poderosas ferramentas de análise disponíveis para projetistas ou operadores de sistemas na análise e controle de processos complexos. Ela vem se tornando importante para o planejamento, projeto e controle de sistemas.

De acordo com algumas definições, simular é "fingir para obter a essência de algo, sem a realidade", é a construção de um modelo abstrato representando algum sistema real [BSC84]. Por fim, uma definição de um dicionário diz que simular é "fingir, representar com semelhança, aparentar ou disfarçar algo", imitar o comportamento de uma situação ou sistema.

Assim, pode-se pensar em um modelo de simulação como um experimento onde se aplica uma metodologia para:

- Descrever o comportamento do sistema de interesse.
- Construir teorias ou hipóteses de acordo com o fenômeno ou acontecimento observado.
- Usar o modelo para prever o comportamento futuro, os efeitos produzidos por mudanças no sistema ou em seus métodos de operação [PSS90].

Os termos "Modelo" e "Sistema" são componentes fundamentais da definição de simulação.

Por modelo entende-se uma representação de um sistema, sendo a proposta daquele o estudo deste sistema.

O sistema é definido como um grupo de objetos entre os quais se pode encontrar ou definir alguma relação e que funciona como uma estrutura organizada.

Assim, pode-se simular sistemas que já existem ou que ainda não existem, ou seja, estão na fase preliminar de projeto.

Para melhor entendimento de um modelo de simulação, este capítulo tem como objetivo familiarizar o leitor com os principais termos utilizados na modelagem de sistemas. Em conjunto, são apresentadas as vantagens e desvantagens de um modelo de simulação, bem como as principais aplicações e uma metodologia para a construção de um modelo de simulação. Esta metodologia é aplicada no desenvolvimento do projeto *eliane* unidade V.

## **2.2 SISTEMAS E MODELOS**

Para modelar um sistema, é necessário entender além do conceito de sistema, os limites do sistema considerado e o seu ambiente.

A decisão dos limites considerados em questão dependem da proposta de estudo. Por exemplo, em um sistema de manufatura, os fatores controlando a chegada de pedidos podem ser considerados como um fator de influência externa da fábrica e por isso parte do ambiente. Entretanto, se os efeitos dos fornecimentos sobre as demandas devem ser considerados, haverá uma relação entre a saída de produtos e a chegada de pedidos na fábrica, e esta relação deve ser considerada como uma atividade do sistema.

## **2.3 COMPONENTES DE UM SISTEMA**

Com o objetivo de entender e analisar um sistema, um número de termos são definidos:

### **2.3.1 Entidades**

São os componentes ou objetos temporários de um sistema e que requerem uma representação explícita no modelo, por exemplo, pessoas em uma fila aguardando por serviços, as peças em uma fábrica, os automóveis sendo fabricados em uma montadora, os pisos e azulejos em uma indústria de revestimentos cerâmicos etc. O termo temporário se refere ao fato de que estes componentes entram no sistema e após algum tempo saem.

### **2.3.2 Atributos**

São as propriedades, características de uma dada entidade ou grupo de entidades que as caracterizam como uma unidade ou conjunto singular, único no modelo, como por exemplo, a prioridade de espera em uma fila, a rota de uma peça ou grupo de peças em um sistema de produção, os tempos de operação, os tipos de peças, automóveis, azulejos a serem fabricados. No tempo de operação de uma peça em uma máquina, por exemplo, cada peça ou grupo de peças tem o seu próprio tempo de operação, desde a preparação, conhecido também como tempo de "setup" até o tempo de operação propriamente dito. Cada automóvel, peça ou piso são de determinados tipos que os caracterizam.

Se os atributos caracterizam não apenas uma entidade mas sim um conjunto delas, pode-se dizer que as entidades pertencem a mesma família pois todas possuem as mesmas características.



### 2.3.3 Recursos

São os componentes ou objetos permanentes de um sistema. Por exemplo, as máquinas, as correias transportadoras, os veículos de transporte de materiais, os operadores, etc.

### 2.3.4 Conjunto

É uma coleção de entidades associadas, permanente ou temporariamente, ordenadas por alguma forma lógica tal como: Todos os clientes em uma fila de espera são ordenados de maneira em que o primeiro que chega é sempre o primeiro a ser servido ou são atendidos de acordo com alguma regra de prioridade, como por exemplo, serviços mais urgentes.

Os conjuntos também são conhecidos como listas, filas ou cadeias.

### 2.3.5 Evento

É uma ocorrência instantânea que altera o estado de um sistema tal como a chegada e a saída de peças de uma máquina, o início e o fim de manutenção de uma prensa, a contagem de peças, etc.

### 2.3.6 Atividade

É uma duração de tempo especificado onde as entidades realizam alguma tarefa ou algumas tarefas são realizadas sobre as entidades, como por exemplo, o tempo de operação em uma máquina, o tempo de manutenção de uma prensa, o transporte de peças, etc. Nestes casos, o comprimento do intervalo de tempo é conhecido no momento em que a atividade se inicia mesmo que o tempo seja definido em termos de uma distribuição estatística.

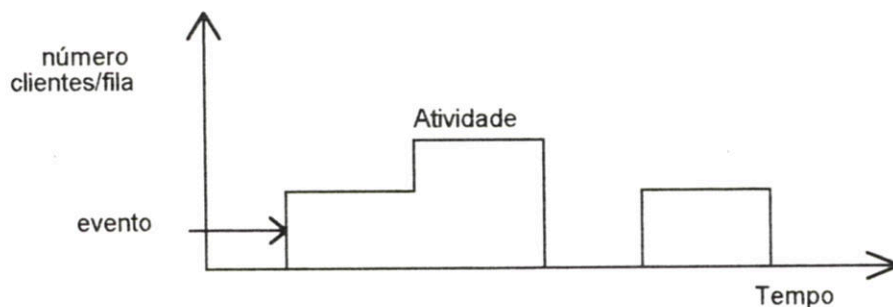


figura 2.1 - Eventos e Atividades

### 2.3.7 Delay

É uma duração em que o intervalo de tempo não é especificado, ou seja, o intervalo de tempo não é conhecido até que ele termine.

Em contraste com a atividade, em que o comprimento do intervalo de tempo é conhecido e que pode ser determinístico ou probabilístico, por exemplo, o tempo de operação de uma peça é de 5 minutos ou de  $5 \pm 3$  minutos distribuídos uniformemente, o " delay " tipicamente termina quando alguma condição lógica torna-se verdadeira.

Esta condição lógica é usualmente o resultado da interação de muitos eventos. O tempo que um cliente gasta em uma fila de espera é um exemplo de "delay" e é chamado muitas vezes de espera condicional, pelo fato de que o tempo que o cliente deve aguardar na fila depende do tamanho da mesma no momento em que ele entra no sistema.

### **2.3.8 Estado do Sistema**

Uma coleção de variáveis que contém todas as informações necessárias para descrever o sistema em qualquer tempo. Exemplo: O número de peças em um buffer, o número de peças produzidas, etc.

Com estas definições é possível redefinir o conceito de sistema e modelo. Este conceito será utilizado em todo o desenvolvimento do projeto.

Sistema é uma coleção de entidades que interagem entre si e realizam uma ou mais funções.

Modelo é uma representação abstrata de um sistema, usualmente contendo relações lógicas e/ou matemáticas na qual se descreve o comportamento de um sistema em termos de seu estado, entidades e atributos, recursos, conjuntos ( filas), eventos, atividades e " delays " [PSS90], [BSC84].

Um exemplo de uma modelagem de uma fábrica de revestimentos cerâmicos em termos dos conceitos definidos acima.

- Entidades: Os azulejos fabricados.
- Filas: Os "buffers" (compensers) antes das máquinas.
- Recursos: As prensas, as correias transportadoras, os transportes, os operários, etc.
- Atributos: Tipos de azulejos a serem fabricados, tamanho, cor, decoração, classe, etc.
- Eventos: Início e fim de uma operação de decoração nas máquinas serigráficas, início e fim de transporte de azulejos, etc.
- Atividades: Os tempos de operação nas máquinas serigráficas para decorar os azulejos, os

tempos nos transportes, nas prensas, etc.

- Delays: Os tempos que os azulejos aguardam nos "buffers".
- Estado do Sistema: Número de azulejos sendo transportado nas correias, o estado dos recursos: ocupado, ocioso, inativo, bloqueado, etc.

**2.4 TIPOS DE SISTEMAS**

Os sistemas podem ser classificados em três categorias:

- Sistemas Discretos.
- Sistemas Contínuos.
- Sistemas híbridos.

**2.4.1 Sistemas Discretos**

Um sistema discreto é aquele em que as variáveis de estados discretos mudam apenas em um conjunto de pontos discretos no tempo. Por exemplo, a chegada e a saída de clientes de um sistema cliente-servidor. Veja figura 2.2.

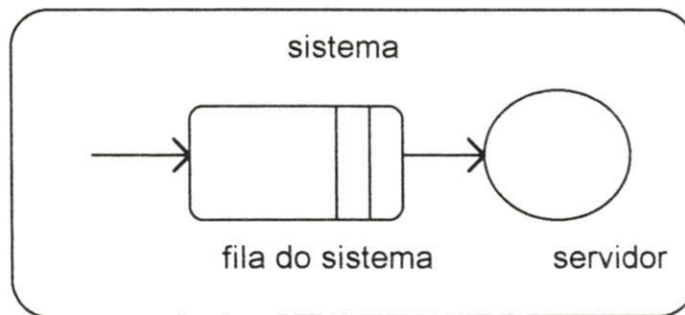


Figura 2.2 - Sistema Discretos (cliente/servidor)

As mudanças no estado do sistema ocorrem apenas em pontos específicos do tempo:  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$  ... . Nestes instantes, ocorrem os eventos chegada e saída de clientes do sistema .

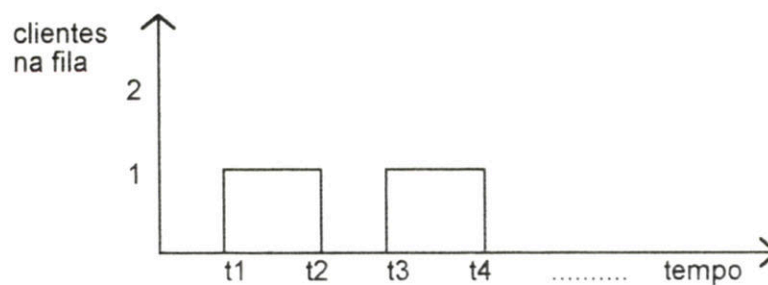


Figura 2.3 - Mudanças Discretas no Tempo



### 2.4.2 Sistemas Contínuos

Um sistema contínuo é um sistema em que as variáveis de estados variam continuamente com o tempo. Um exemplo é o aumento de temperatura em um forno para fundição de materiais, o volume de líquido em um tanque, etc. Veja figura 2.4.

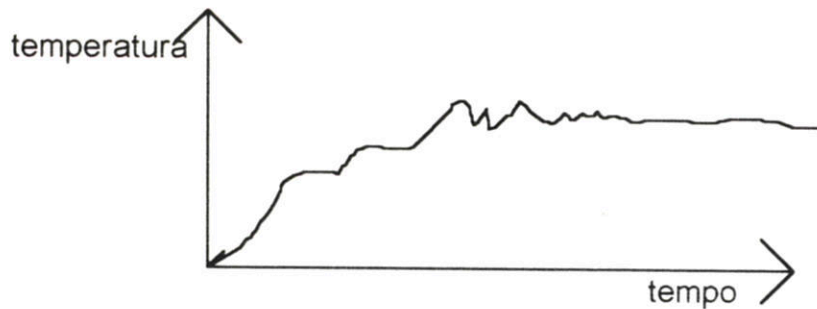


figura 2.4 - Sistemas Contínuos

### 2.4.3 Sistemas Híbridos

Um sistema híbrido é um sistema que envolve tanto mudanças discretas como também mudanças contínuas no tempo.

## 2.5 TIPOS DE MODELOS

Os modelos podem ser classificados como sendo matemáticos ou físicos [BSC84]. Um modelo matemático utiliza notação simbólica e equações matemáticas para representar um sistema. Um modelo de simulação é um tipo particular de modelo matemático de um sistema.

Os modelos de simulação podem ser classificados em:

- Estáticos ou Dinâmicos
- Determinísticos ou estocásticos
- Discretos, contínuos ou híbridos

### 2.5.1 Modelos Estáticos ou Dinâmicos

Um modelo de simulação estático, às vezes chamado de simulação de Monte Carlo, representa o sistema em um ponto particular no tempo. Por exemplo, um modelo que calcula o lucro de uma empresa no fim de cada ano é um modelo estático.

Um modelo de simulação dinâmico representa o sistema mudando no tempo. A

simulação de um turno de uma fábrica mostrando a evolução no tempo é um exemplo de simulação dinâmica.

### **2.5.2 Modelos Determinísticos ou Estocásticos**

Os modelos de simulação que não contêm nenhuma variável randômica são classificados como determinísticos. Os modelos determinísticos tem um conjunto de entradas conhecidas e que resultarão em um único conjunto de saídas.

Se no modelo houver uma ou mais variáveis randômicas, o modelo é dito estocástico. Por exemplo, não se pode definir com certeza quando que um cliente chegará em um banco, ou o tempo que o servidor gastará para atender este cliente. Assim, em uma simulação estocástica, as medidas de saída de interesse como o número médio de pessoas na fila devem ser tratadas como uma estimativa estatística do verdadeiro valor do parâmetro do sistema real.

### **2.5.3 Modelos Discretos, Contínuos e Híbridos**

Definem-se de maneira análoga ao que foi definido nos itens 2.4.1, 2.4.2, 2.4.3 referentes aos tipos de sistemas. Entretanto nem sempre um modelo discreto é usado para modelar um sistema discreto e nem sempre um modelo contínuo é usado para modelar um sistema contínuo. Um exemplo de um sistema discreto que pode ser modelado por um sistema contínuo é referente a população mundial. Para modelar o sistema populacional, pode-se considerar, por conveniência, os nascimentos e mortes como sendo aproximadamente uma variável contínua e descrever todo o comportamento deste sistema por uma equação matemática diferencial. Isto implica em uma simplificação do modelo para facilitar a construção e análise do mesmo [PSS90], [BSC84].

## **2.6 APLICAÇÕES DA SIMULAÇÃO**

Atualmente, a simulação está sendo aplicada em diversas áreas [PSS90]. Listamos algumas:

- **Sistemas Computacionais:** Componentes de hardware e software, redes de comunicação, gerenciamento e estrutura de um banco de dados.
- **Manufatura:** Sistemas de manuseio de materiais, linhas de montagens, controle de estoques, projeto do "layout" físico, sistemas automatizados.
- **Comércio:** Análise de estoques, estratégias de "marketing", análise do fluxo de caixa, alternativas de transporte de materiais.
- **Ecologia e Ambiente:** Sistema de purificação das águas, controle da poluição do ar, sistema



energia solar, estudo do efeito das queimadas nas florestas.

- Sociedade e Comportamento: Análise da população mundial, políticas empregadas, administração.
- Biologia: Estudo do corpo humano.
- Militar: Táticas militares, serviços policiais, entre outras aplicações.

Esta é uma pequena lista das inúmeras aplicações da simulação, e seu uso é devido principalmente a sua grande flexibilidade, versatilidade e poder para solucionar problemas.

## **2.7 SIMULAÇÃO NA MANUFATURA**

Devido a uma grande competição no mercado atual, as indústrias, para produzir com melhor qualidade e menores custos, estão investindo em grande escala na automatização de seus equipamentos e reexaminando as políticas e estratégias de produção. Infelizmente, mesmo em planejamentos minuciosos, os sistemas de manufatura controlados por computador às vezes falham como por exemplo, erros nas capacidades das máquinas, espaço inadequado nos "buffers", congestionamento de peças em diversos setores de produção, a existência de grandes refugos, entre outras ineficiências.

Assim, a simulação como ferramenta de apoio e análise, pode prever o comportamento dos sistemas de manufatura complexos pelo cálculo do movimento e interações dos componentes deste sistema. Por exemplo, calculando o fluxo de peças que passam através das máquinas de uma estação de trabalho e examinando o número de recursos limitados, é possível analisar e reestruturar o "layout" físico, selecionar corretamente os equipamentos para diminuir os tempos inativos ou tempos de preparação e organizar os procedimentos de operação de modo a aumentar a utilização dos equipamentos e a produtividade das estações de trabalho. Ainda, é possível através da simulação determinar o tamanho adequado dos "buffers", verificar o congestionamento de peças e transportes no sistema, determinar o tamanho do lote econômico de peças, analisar o comportamento do modelo em determinadas condições de interesse, analisar regras de produção como a aplicação da filosofia da produção a pedido " Just In Time ", etc.

O planejamento, o projeto, a instalação e a operação de um sistema de manufatura podem ser feitas em três áreas [PSS90]:

- Decisão da configuração do sistema físico: Ou seja, determinando a capacidade dos equipamentos, selecionando a quantidade e os tipos de equipamentos envolvidos, a configuração do "layout" físico e o fluxo de peças através do sistema.
- Decisão da configuração das informações (Programação): Planejamento da programação,

sequenciamento das peças, utilização de equipamentos e trabalhadores em determinados períodos do tempo.

- Controle em tempo real: Controle do fluxo de peças dentro do sistema e respostas a falhas e quebras de equipamentos.

Por isso, parece provável que a simulação será útil em três modos distintos na manufatura:

- Como ferramenta de análise e projeto de "layouts", decisão no projeto e/ou compra de equipamentos, políticas de operação alternativas.
- Como ferramenta de programação, especialmente em sistemas automatizados. Por exemplo, se há uma quebra em um dos equipamentos, o modelo deveria prever uma programação alternativa de modo a continuar normalmente a produção.
- Controle de fluxo de peças em tempo real verificando as condições correntes em todos os setores da fábrica, modificando a programação e acionando alarmes.
- Quando a simulação é usada como ferramenta de projeto, o estudo é tipicamente motivado para responder questões como:
  - Qual será a produção ? Os objetivos serão alcançados ?
  - É possível fazer alterações no sistema para melhorar a produtividade ?
  - Onde estão os " gargalos " do sistema ?
  - Quais as propostas de "layouts" alternativos ?
  - Quais as mudanças no desempenho do sistema quando se altera o número de máquinas, operários, tipos de automação, especialmente sistemas de manuseio de materiais, sistemas de estoques, etc ?
  - Como as quebras afetam a produção do sistema ?
  - Como as estratégias de produção podem ser aplicadas ?

## **2.8 VANTAGENS E DESVANTAGENS DA SIMULAÇÃO**

- Embora sendo uma ferramenta de análise apropriada em muitos casos, a simulação, apresentando suas vantagens, também apresenta algumas desvantagens [PSS90], [BSC84].



### **2.8.1 Vantagens**

- Uma vez construído, o modelo pode ser usado repetidamente para analisar novas propostas de "layouts", estratégias de produção, fluxos de informações, novos transportes, etc.
- Pode-se realizar facilmente testes aplicando novas hipóteses sobre o comportamento do sistema.
- O tempo pode ser controlado, ou seja, o fenômeno a ser observado pode ser analisado em alta ou baixa velocidade.
- Todos os fluxos de produção podem ser identificados.
- Medidas de desempenho de interesse podem ser analisadas em qualquer tempo.
- A simulação pode fornecer um entendimento de como o sistema realmente funciona e responder questões a este respeito.

### **2.8.2 Desvantagens**

- A construção do modelo requer um treinamento especializado, além de ser custoso do ponto de vista do tempo necessário para construção e validação do modelo.
- Numerosas execuções de uma simulação são usualmente necessárias requerendo assim, uma grande quantidade de tempo.

## **2.9 ETAPAS DE UM PROCESSO DE SIMULAÇÃO**

A figura 2.5 mostra um conjunto de passos que um projetista deve seguir com objetivo de facilitar o desenvolvimento do modelo de simulação [BSC84].

Todas estas etapas devem ser estudadas e analisadas cuidadosamente para evitar que erros de uma fase sejam propagados para a próxima. Estes passos, todavia, não precisam ser executados nesta única ordem. Por exemplo, se faltar dados em uma das fases, pode-se voltar às fases anteriores e detalhar mais as informações afim de que se possa prosseguir.

### **2.9.1 Formulação do Problema**

Para encontrar uma solução de um problema, é necessário primeiro conhecer o problema que se está procurando resolver.

O entendimento completo do problema objetiva alcançar soluções ótimas ou aceitáveis para responder questões corretas. Atualmente, milhões de dólares são gastos para se obter



soluções sofisticadas para questões erradas. Neste contexto, um estudo de simulação deverá começar pela descrição completa do problema a ser solucionado, definindo claramente os objetivos deste estudo, o que fazer e o que se deseja encontrar. Estes objetivos a serem alcançados determinam como o modelo será construído e quais os tipos de experimento que deverão ser realizados com este modelo.

Nesta fase, o sistema, seus limites e seu ambiente devem ser definidos de forma clara e objetiva de maneira a não deixar dúvidas para as fases seguintes.

### **2.9.2 Definição dos Objetivos**

Os objetivos indicam as questões a serem respondidas pela simulação. Neste ponto, é útil saber se a simulação é uma ferramenta apropriada para o desenvolvimento do modelo do sistema em estudo.

Assumindo que a simulação seja uma ferramenta de análise apropriada, todo o planejamento deve incluir o número de pessoas envolvidas, o custo do estudo e o número de dias requerido para realizar cada fase de trabalho com resultados no fim de cada estágio. Neste planejamento, é fundamental também determinar explicitamente as propostas do experimento de simulação como:

- **Evolução:** Determinar como o sistema evolui no tempo sob determinadas condições de interesse.
- **Comparação:** Comparar o desempenho de sistemas projetados para executar determinadas funções, ou comparar várias propostas de estratégias de produção.
- **Previsão:** Estimação de medidas de desempenho do sistema sob determinadas condições.
- **Otimização:** Determinar exatamente qual a combinação de fatores que produzem os melhores resultados.
- **Análise de gargalos na produção:** Determinar a posição do gargalo no sistema em relação ao fluxo de peças e gerar opções para aumentar a produtividade.

### **2.9.3 Construção do Modelo**

O objetivo de um modelo é representar um sistema de forma simplificada e abstrata, ou seja, o objetivo de um modelo é descrever as características principais do sistema que se está analisando, com a inclusão de simplificações e suposições de características irrelevantes ou não importantes no contexto dos objetivos a serem alcançados [PSS90].

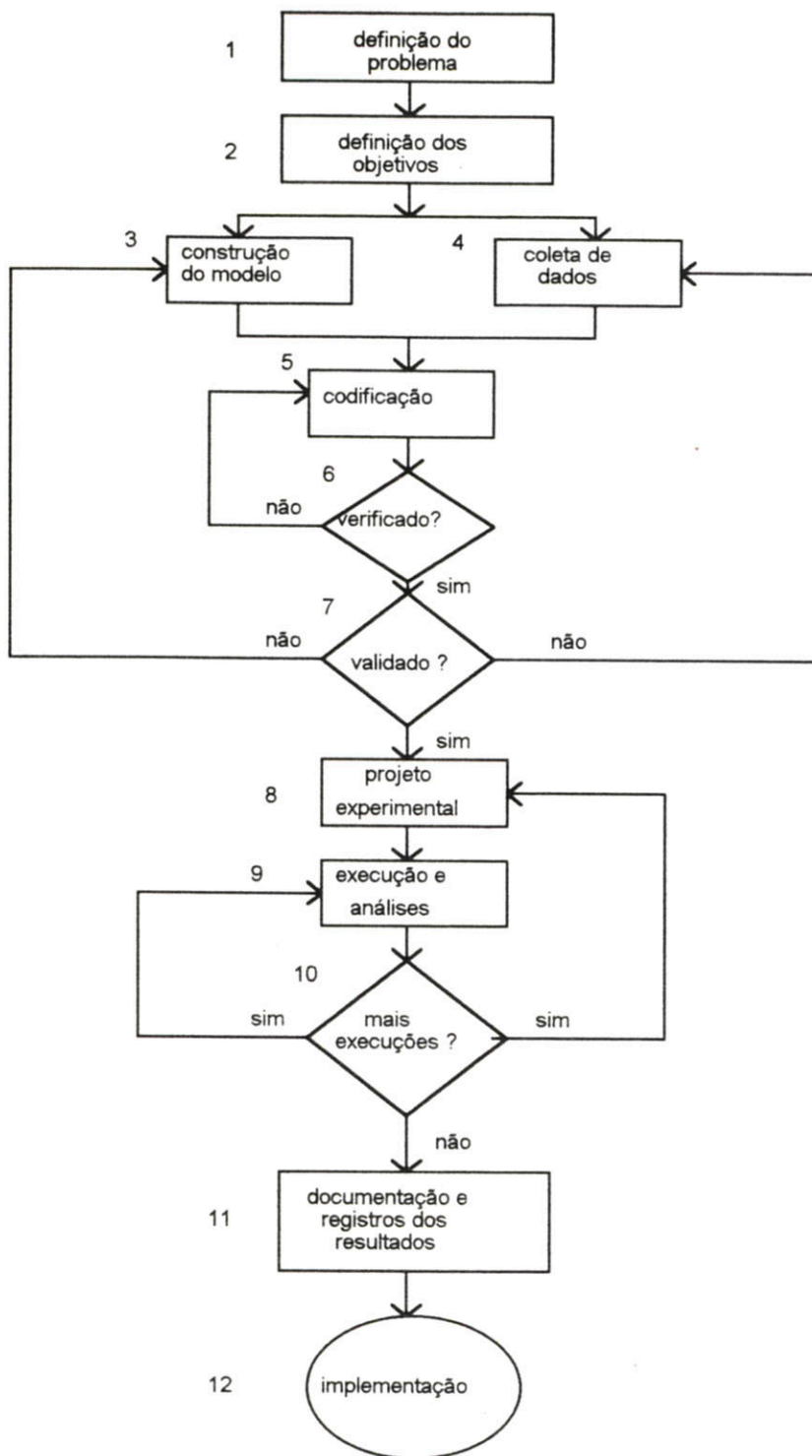


figura 2.5 - Etapas de um Processo de Simulação

Estas simplificações, omissões e agregações das características do sistema são necessárias para facilitar a construção, o entendimento, a verificação e a validação do modelo sem "perder de vista" o objetivo de representar aproximadamente o comportamento do sistema real, diminuindo assim, o esforço computacional para execuções e testes nos experimentos realizados e facilitando possíveis modificações na estrutura do modelo.

É importante lembrar que a finalidade do modelo de um sistema não é imitar a realidade precisamente, mas sim captar a essência da realidade, fingir o comportamento do sistema adequadamente de modo que, medidas de desempenho do sistema possam ser analisadas nas observações do modelo.

Na elaboração de um modelo do sistema, o desenvolvimento de um modelo preliminar ou gráfico (diagrama de blocos) ou ainda um pseudo-código é necessário para definir os componentes, as variáveis e as interações que constituem o sistema. Neste ponto, procura-se determinar a lógica do modelo, ou seja, o que acontece.

Um exemplo de pseudo-código modelando a chegada de uma peça a uma máquina de usinagem.

- Peça chega na máquina.
- Peça ocupa "buffer" da máquina.
- Máquina alocada.
- Máquina usina a peça.
- Peça pronta.
- Máquina liberada.

#### **2.9.4 Coleta de Dados**

Com a lógica do modelo definida, a próxima fase é realizar uma identificação e coleção de dados de entrada necessários para o modelo tais como, a taxa de chegada das entidades no sistema, os tempos de processamento requeridos em várias máquinas, o tempo médio entre falhas e o tempo médio de manutenção dos equipamentos, as distâncias entre as estações de trabalho, velocidades dos transportes, capacidades dos "buffers", etc. É necessário decidir também quais os dados que são necessários, quais os dados que estão disponíveis e se eles representam realmente o sistema em análise, ou seja, se os dados colhidos são válidos.

As informações podem ser coletadas através de documentos, revistas, observações e medições, entrevistas, etc.

Infelizmente, muitos destes recursos de aquisição de dados podem fornecer informações errôneas do processo. No caso das pesquisas serem realizadas em documentos, por exemplo, pode-se coletar dados que não foram adaptados com a evolução do sistema, mostrando assim medidas incorretas e imprecisas.



Para sistemas existentes, a melhor maneira de conseguir dados corretos é conhecer e entender inicialmente todo o processo real. A partir deste conhecimento, é possível realizar observações e medições nas operações do sistema sendo analisado.

Em um processo estocástico, há aspectos do sistema que podem ser modelados como sendo determinísticos ou probabilísticos. Se a opção probabilística for selecionada uma outra decisão importante deve ser tomada: A amostragem será feita diretamente sobre os dados empíricos coletados ou será selecionada uma função de distribuição teórica. Esta questão é relevante por diversos fatores, entre eles, é altamente desejável testar a sensibilidade do sistema pela alteração de parâmetros. Por exemplo, deseja-se saber o que acontece quando a taxa de chegada de peças ao sistema aumenta em 10%. Em uma função de distribuição teórica há necessidade de aumentar apenas a taxa de chegada requerida. Por outro lado, se a amostragem é feita diretamente sobre os dados empíricos, não é claro o aumento da taxa requerida como desejado [PSS90].

### **2.9.5 Codificação**

É a formulação do modelo em uma linguagem de simulação específica (SIMAN, SIMULA, etc.) ou em uma linguagem de propósito geral (PASCAL, C, FORTRAN, etc.).

As linguagens específicas de simulação apresentam muitas vantagens em termos de eficiência e facilidade de uso, entre elas:

- A tarefa de programação é reduzida.
- Aumento da flexibilidade quando há necessidade de alteração do programa.
- Poucos erros de programação, etc.

Nesta etapa, o modelo conceitual elaborado na fase 2.9.3, é traduzido em um código de programa, sendo capaz de expressar o modelo desejado.

### **2.9.6 Verificação**

Refere-se a comparação do modelo conceitual desenvolvido no item 2.9.3 ao código implementado no item 2.9.5. Nesta fase, são respondidas questões como: O modelo está implementado corretamente no código de computador? Os dados de entrada e a estrutura lógica do modelo estão representadas corretamente no código?

O processo de verificação tem como função mostrar a lógica do programa implementado,



como as partes do modelo funcionam independentemente e em conjunto, usando dados corretos em tempos certos, e ainda, se esta lógica implementada está correta e se o programa funciona como esperado.

A principal função desta fase é localizar os erros de implementação, isolá-los e corrigi-los afim de garantir um código de programa livre de erros.

### 2.9.7 Validação

É uma comparação do modelo com o sistema real. É a determinação que o modelo é uma representação adequada e precisa do comportamento do sistema em estudo [BSC84].

Na fase de validação, analisa-se o comportamento do modelo em relação ao sistema real, considerando-se as suposições e simplificações realizadas no modelo como forma de viabilizar a construção deste modelo. Esta comparação de comportamento entre o modelo e o sistema envolve também a validação dos dados colhidos, ou seja, uma comparação dos dados do modelo e os dados do sistema também é realizada com o objetivo de colher resultados com determinados níveis de confiança.

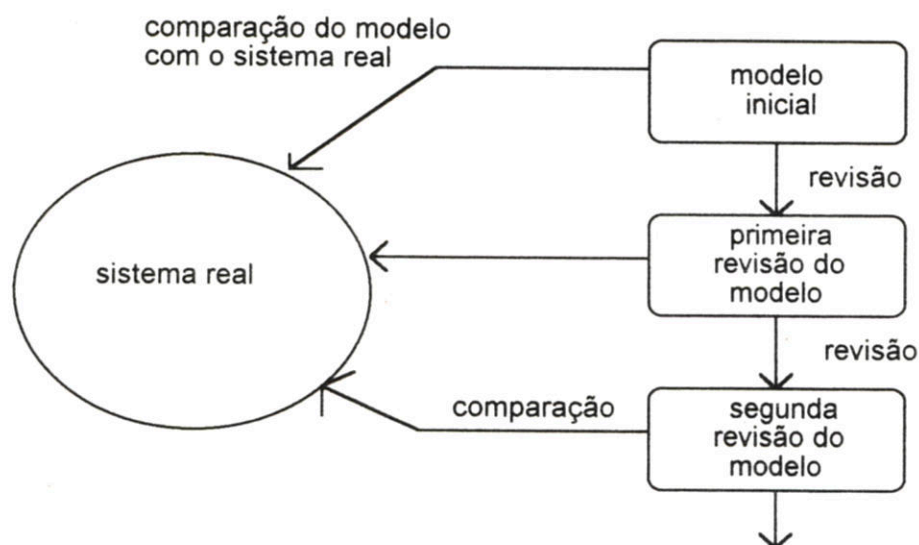


figura 2.6 - Validação do Modelo

A validação é alcançada através da calibração do modelo que nada mais é do que um ajuste do modelo ao sistema real, verificando as discrepâncias entre eles [BSC84]. Este processo de calibração é repetido até que uma representação fiel do sistema seja conseguida. Veja figura 2.6.

As fases de verificação e validação serão analisadas com maiores detalhes no capítulo V.

### **2.9.8 Projeto Experimental**

As alternativas que serão simuladas devem ser determinadas como por exemplo, o tempo de simulação, o número de execuções a serem feitas em cada simulação, condições de inicialização, a técnica de simulação a ser aplicada para análise do sistema, etc. A escolha da técnica para avaliação de desempenho depende da classificação do sistema: Terminal ou Não Terminal. Esta classe de sistema será discutida nos capítulos seguintes.

Neste projeto, também é decidido quais os testes que serão realizados no sentido de fornecer respostas para solucionar o problema proposto.

### **2.9.9 Execução e Análise dos resultados**

É a produção de " corridas " (execuções) e a subsequente análise dos resultados que serão usados para estimar as medidas de desempenho do sistema.

Com o modelo construído, verificado e validado, e o projeto experimental determinado, a fase seguinte é a fase da execução do modelo de simulação e análise dos resultados colhidos.

### **2.9.10 Mais Execuções**

Baseado na análise dos resultados, o projetista determina a necessidade ou não de novas execuções. A necessidade de novas execuções depende do nível de confiança desejado. Se há uma grande variação nos índices de desempenho colhidos, o projetista pode selecionar novas execuções com diferentes números aleatórios afim de produzir uma variação nos resultados de saída. As novas " corridas " produzidas são somadas às "corridas" já executadas com propósito de garantir que os resultados fornecidos no fim da simulação possam estar dentro de um intervalo de confiança especificado.

Com um tempo maior de simulação ou com um maior número de simulações, as amostras colhidas serão também maiores, garantindo melhor precisão e confiabilidade nos resultados obtidos.

### **2.9.11 Documentação e Registro**

É o registro de todo o desenvolvimento do modelo desde a fase de estudo e definição do sistema até a fase de execuções, testes e análises dos resultados obtidos no fim da simulação.

Este documento deverá conter os objetivos que foram alcançados, as soluções encontradas e uma análise crítica dos resultados em conjunto com as perspectivas e possíveis



testes que poderão ser realizados.

### **2.9.12 Implementação**

De acordo com os resultados colhidos e baseado na confiabilidade do modelo, pode-se tomar decisões a respeito de qualquer medida de desempenho fornecida pela simulação.

## **2.10 SIMAN - SIMULAÇÃO DA MANUFATURA**

O SIMAN é uma linguagem específica de simulação para modelagem de sistemas discretos, contínuos, e/ou combinados [PSS90], [Sim89], [Sim9091].

A estrutura de modelagem realizada no SIMAN é segmentada em dois componentes:

- O componente Modelo, que descreve os componentes físicos do sistema tais como, as máquinas, os transportes, os trabalhadores, os fluxos de peças ou de informações, os estoques, etc.
- O componente Experimento, que especifica as condições experimentais sob a qual a simulação é executada, incluindo elementos tais como, as condições iniciais, capacidade dos recursos, as rotas das entidades, etc.

Devido as condições experimentais serem especificadas fora da descrição do modelo, elas são facilmente alteráveis sem a necessidade de alterar a estrutura do modelo.

Quando estes dois componentes estiverem definidos, eles são " linkados " e executados pelo SIMAN para gerar os resultados de saída do sistema simulado. Estes resultados podem ser analisados após cada término de simulação, através de gráficos, histogramas, tabelas, correlogramas e intervalos de confiança.

O SIMAN também possibilita a verificação da estrutura do modelo através de um "debugger interativo" possibilitando encontrar e corrigir erros lógicos.

Em conjunto com o SIMAN, há também um pacote gráfico possibilitando a animação de todo o processo. É o SIMAN/CINEMA que também pode ser usado como uma ferramenta de verificação.

No capítulo IV será dado ênfase a estrutura do SIMAN/CINEMA direcionado a modelagem da empresa *eliane* revestimentos cerâmicos unidade de produção V.

## **2.11 CONCLUSÃO.**

O processo para a construção de um modelo de simulação mostrado na figura 2.5 pode ser dividido em quatro fases principais: A primeira fase, consistindo dos passos 1 (formulação do problema) e 2 (definição dos objetivos), é um período de estudos ou orientações. A segunda fase é referente a construção do modelo e a coleta de dados incluindo os passos 3 (construção do modelo), 4 (coleta de dados), 5 (codificação), 6 (verificação), e 7 (validação). É necessário que haja uma continuidade entre estes passos para o bom desenvolvimento do projeto. A terceira fase, é referente aos passos 8 (projeto experimental), 9 (produção de " corridas " e análise dos resultados), e 10 (execuções adicionais). Por último, a quarta fase, implementação, envolve os passos 11 (documentação e registro dos resultados) e 12 (implementação).

O sucesso de um modelo de simulação depende do sucesso de todos os passos executados. Talvez o ponto mais importante de todo o projeto seja o passo 7 (validação do modelo), porque um modelo inválido tende a produzir resultados errôneos, levando a implementação a tornar-se perigosa e/ou de alto custo.



## CAPÍTULO III

### ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS

#### 3.1 INTRODUÇÃO

Os resultados fornecidos por um ou por vários experimentos de um modelo de simulação podem ser analisados como definindo um processo estocástico.

Um processo estocástico é um conjunto de variáveis aleatórias analisadas no tempo [CAS93]. Como os sistemas reais são "contaminados" por incertezas introduzidas por ações humanas ou por sua própria natureza, é verdade afirmar que, a maioria dos sistemas descrevem um processo estocástico. Por exemplo, se um registro do tempo que um cliente gasta dentro de um sistema é realizado em um experimento de simulação, é obtida uma seqüência estocástica  $\{s_1, s_2 \dots s_k \dots\}$ , onde  $s_k$  é o k-ésimo cliente no sistema. Por outro lado, se o registro do comprimento da fila do sistema, ou seja, o registro do número de clientes na fila é realizado em todo o tempo  $t$ , é definido um processo estocástico, pois, de acordo com a definição, tem-se uma variável aleatória "comprimento da fila" dependente do tempo observado. Para representar os processos estocásticos, modelos randômicos ou estocásticos são definidos com o objetivo de capturar as variações sofridas pelo sistema.

Como a proposta deste trabalho é avaliar o desempenho de um processo de revestimentos cerâmicos sujeito a inúmeras alterações, é importante introduzir o mecanismo de estimação de parâmetros e, em conjunto, analisar e interpretar os resultados de um experimento através de relatórios estatísticos.

#### 3.2 MEDIDAS OU ÍNDICES DE DESEMPENHO

Para melhor entendimento, consideramos um sistema "cliente-servidor".

O objetivo é mostrar como se pode estimar várias medidas de desempenho de interesse coletando dados apropriados no curso da simulação [CAS93].

Assumindo que o sistema está inicialmente vazio e estabelecendo como condição final o atendimento de  $N$  clientes, pode-se assumir que o sistema se comporta da seguinte maneira: os clientes entram no sistema, aguardam na fila até serem atendidos. No atendimento, os clientes gastam um certo tempo e, após serem atendidos, saem do

sistema. Pergunta-se:

1. Qual o tempo médio gasto pelos clientes dentro do sistema ?
2. Qual o percentual de utilização do servidor ?
3. Qual o comprimento médio da fila ?

Para responder a primeira questão, consideramos que cada cliente gasta um certo tempo dentro do sistema  $\{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ , onde  $s_n$  é o tempo do  $n$ -ésimo cliente dentro do sistema. A estimativa do tempo médio gasto por todos os clientes é dado por:

$$S_n = \frac{1}{N} \times \sum_1^n s_k$$

É simplesmente uma média aritmética dos  $N$  clientes observados dentro do sistema.

Para responder a segunda pergunta, é necessário entender o conceito de utilização. A utilização de um servidor pode ser definida como sendo a probabilidade de que o servidor esteja ocupado durante o tempo total tomando  $N$  clientes. Esta probabilidade é uma fração do tempo durante o qual o comprimento da fila, ou seja, o número de clientes na fila, é positivo. Para estimar este parâmetro consideramos:

$T(i)$  = Tempo total observado durante o qual o comprimento da fila é  $i$ , para  $i = 0, 1, 2, \dots$

$$\text{e } T_n = \sum_{i=0}^{\infty} T(i) = \text{Tempo total de simulação.}$$

A estimação da utilização do servidor é dada por:

$$P_n = \frac{1}{T_n} \times \sum_{i=1}^{\infty} T(i)$$

$$P_n = 1 - \frac{T(0)}{T_n}$$

Onde  $T(0)$  é o tempo total no qual o comprimento da fila é zero.



A terceira pergunta trata da questão da fila do sistema.

Considerando  $P_n(i)$  a probabilidade de que o comprimento da fila seja  $i$  tomando  $N$  clientes, o comprimento médio da fila é uma fração do tempo, ou seja,  $P_n(i) = T(i)/T_n$ .

Por definição:

$$Q_n = \sum_{i=0}^{\infty} i \times P(n)$$

onde  $Q_n$  é o comprimento médio da fila.

Sendo  $P_n(i) = T(i)/T_n$ , como já definido, tem-se:

$$Q_n = \frac{1}{T_n} \times \sum_{i=0}^{\infty} i \times T(i)$$

Estes parâmetros são de fundamental importância para avaliar o desempenho do sistema e tomar decisões, como por exemplo, na contratação de outros servidores, filas alternativas, horários de funcionamento, etc.

Muitos sistemas reais se comportam como um sistema de filas "cliente-servidor". Nos processos de revestimentos cerâmicos, por exemplo, os azulejos formados nas prensas alocam uma unidade do secador para retirar a umidade impregnada nestes azulejos. Se o secador está bloqueado, os azulejos aguardam em um "buffer". Com o secador liberado para carregamento, os azulejos entram no secador e, após um período de secagem, eles saem do secador liberando uma unidade para o próximo azulejo que chega. Adotando o sistema de filas, é verdade dizer que o secador no sistema é um servidor, o "buffer" (compenser) é uma fila com capacidade limitada e os azulejos são os clientes. Com esta idéia, pode-se utilizar as medidas de desempenho acima citadas para avaliar o comportamento no tempo do sistema real.

Com a ferramenta de apoio "SIMAN" utilizada para construir o modelo de simulação do processo, as medidas são fornecidas automaticamente no fim de cada experimento.

### 3.3 INTERPRETANDO OS RESULTADOS VIA SIMAN.

A análise dos resultados de um experimento de simulação começa com o exame de um relatório estatístico no fim de cada simulação. Este relatório apresenta, na verdade, apenas um dos possíveis resultados de saída do modelo [PSS90]. Variações acontecem nos resultados de saída devido a diferentes números randômicos utilizados no programa simulando as aleatoriedades do processo.

O relatório de saída do SIMAN possui a seguinte estrutura:

Relatório dos tempos no sistema.

-----  
ident. média variação mínimo máximo observações  
-----

- ident. é o identificador que caracteriza a variável sendo analisada. Por exemplo, para o tempo médio que um cliente gasta no sistema, pode-se ter como identificador da variável o nome "Tempo\_No\_Sistema".
- A média é um valor representando o tempo médio que um cliente gasta dentro de um sistema ou um setor deste sistema.
- A variação, definida como sendo a relação entre o desvio padrão e a média, é usada como medida de dispersão dos dados. Um coeficiente de variação igual a zero indica que não há nenhuma variação dentro dos dados observados. Um grande coeficiente de variação indica uma grande variação dentro dos dados observados em relação ao média.

A vantagem do coeficiente de variação em relação ao desvio padrão é que ele fornece uma medida de dispersão relativa, ou seja, o coeficiente de variação é adimensional, enquanto que o desvio padrão fornece uma medida de variação absoluta.

Uma desvantagem do coeficiente de variação é que ele se torna muito grande quando a média é pequena, e não é definido para uma média zero. Nos casos de valores médios muito pequenos, as variações devem ser desconsideradas.



- O valor mínimo e máximo, ou seja, a menor e a maior observação coletada, também fornece uma medida de dispersão dos dados.
- A última categoria é o número de observações registradas para a variável de interesse. Este valor é referido como o tamanho da amostra dos dados.

Exemplo:

ident.	média	variação	mínimo	máximo	observações
--------	-------	----------	--------	--------	-------------

Tempo_Sistema	23.964	0.38450	15.274	57.894	20
---------------	--------	---------	--------	--------	----

Neste exemplo, foram registradas 20 observações, ou seja, 20 clientes passaram pelo sistema. O tempo médio gasto pelos clientes dentro do sistema foi de 23.964 unidades de tempo, com uma variação de 0.38450. O menor tempo foi de 15.274 e o maior de 57.894 unidades de tempo.

Variáveis discretas.

ident.	média	variação	mínimo	máximo	valor final
--------	-------	----------	--------	--------	-------------

- ident, média, variação, mínimo e máximo são similares ao caso anterior. No caso da média e do coeficiente de variação, entretanto, cada valor usado no cálculo é ponderado pelo comprimento do tempo que este valor persiste. Por exemplo, se uma variável tem um valor de 2 durante uma unidade de tempo e o valor de 6 para três unidade de tempo, a média para as quatro unidades de tempo é calculado como:

$$\frac{2 \times 1 + 6 \times 3}{4} = 5.$$

- O valor final é o valor da variável no tempo em que o relatório é gerado.

Exemplo:

ident.	média	variação	mínimo	máximo	valor final
-----					
Fila_1	0.40941	2.2953	.00000	5.0000	.00000
Máquina_Util	0.67892	1.0004	.00000	1.0000	.00000
Esteira_1	1.45800	0.0879	.00000	4.0000	2.0000

No primeiro caso tem-se que o comprimento médio da fila é 0.40941 com uma variação de 2.2953. A fila esteve vazia durante o tempo observado (mínimo igual a zero) e teve um comprimento máximo de 5 clientes. No momento do registro do relatório a fila está vazia.

No segundo caso, o valor médio pode ser interpretado como o percentual do tempo em que a máquina fica ocupada. Neste exemplo, a máquina fica ocupada em média 0.67892, ou seja, há um percentual de 67.892% de utilização da máquina com uma variação de 1.0004. A máquina ficou ociosa durante o tempo observado, (mínimo de zero), e o valor máximo de 1 indica que apenas uma unidade da máquina foi ocupada. No final, a máquina está ociosa.

Já no terceiro item, o valor 1.45800 é o número médio de peças transportadas pela esteira, com uma variação de 0.0879, um mínimo de .00000, ou seja, a esteira esteve vazia durante o período de tempo observado, um máximo de 4 peças e no momento de pedido de relatório 2 peças estavam sendo transportadas pela esteira.

Contadores

ident.	contagem	limite
-----		

- O nome do contador é declarado em " ident ".
- O valor do contador é registrado em " contagem ".

- O valor máximo a ser registrado pelo contador " ident " é registrado no " limite ". Quando o valor " limite " é alcançado, o SIMAN termina automaticamente a simulação.

Exemplo:

ident. contagem limite

-----

Pecas A 150 infinito

O contador de peças tipo " A " registra uma contagem de 150 peças e não há limite na contagem.

Os resultados dos experimentos do modelo de simulação da empresa *eliane* unidade V estão descritos no capítulo VII e devem ser interpretados da mesma maneira que foi descrito acima.

### 3.4 TIPOS DE ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS.

Pode-se distinguir dois casos de estimação de parâmetros [PSS90],[CAS93]:

#### 3.4.1 Estimação por Ponto

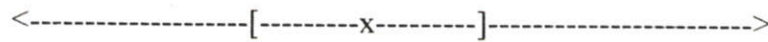
Neste caso, a estimação consistirá simplesmente em, à falta de melhor informação, adotar a estimativa disponível como sendo o valor do parâmetro. Este será, pois, estimado através de um único valor, o qual corresponde a um ponto sobre o eixo de variação da variável.

#### 3.4.2 Estimação por Intervalo

Como a estimação de muitas medidas envolve parâmetros que são variáveis aleatórias, o uso da estimação por ponto pode se tornar insuficiente, pois a probabilidade de que um ponto estimado venha coincidir com o verdadeiro valor do parâmetro é nula ou praticamente nula, ou seja, é quase certo que se esteja cometendo um erro de estimação. Devido a estes problemas, surge a idéia de construir um intervalo em torno da estimação por ponto, ou seja, construir um intervalo que tenha uma probabilidade conhecida de conter o verdadeiro valor do parâmetro. Este intervalo é conhecido como intervalo de



confiança. A figura 3.1 mostra um exemplo de intervalo de confiança em torno de um ponto médio.



Onde:  $x$  é o valor médio

[ ] é o intervalo de confiança

figura 3.1 - Intervalo de Confiança da Média

Como ainda se está sujeito a erros, se a probabilidade de um erro de estimação por intervalo é  $\alpha$  (alfa), então a probabilidade do intervalo conter o verdadeiro valor do parâmetro é  $1-\alpha$ . Estes intervalos de confiança podem ser construídos de acordo com o nível de precisão desejado utilizando fórmulas e tabelas das distribuições estatísticas, por exemplo, a distribuição  $t$  (student). Programas computacionais para o cálculo do intervalo de confiança também podem ser utilizados.

Tendo em vista a grande aleatoriedade do processo de revestimentos cerâmicos, a estimação por intervalo é escolhida pelo fato de fornecer uma maior precisão na estimação das medidas de desempenho. Todos os intervalos analisados para este caso possuem uma confiança de 95%, ou seja, está se cometendo em erro de 5% na estimação das medidas.

### 3.5 CONCLUSÃO.

Na elaboração de um modelo de simulação, é fundamental que, nas etapas de teste e execução, os resultados obtidos possam ser avaliados corretamente. A interpretação destes resultados é fundamental para concluir um experimento realizado e como consequência tomar uma decisão correta.

Neste contexto, este capítulo tem uma grande importância no sentido de fazer o leitor compreender os resultados de um experimento de um modelo de simulação e interpretar as medidas de saída do SIMAN de maneira correta. Esta interpretação de resultados será necessária no capítulo VII onde são realizados os testes e experimentações com o modelo de simulação *eliame* unidade V.

## CAPÍTULO IV

### DESENVOLVIMENTO DO MODELO DE SIMULAÇÃO - *eliane* V

#### 4.1 INTRODUÇÃO

Conhecidas as fases para a construção de um modelo de um sistema, a próxima etapa é aplicar estas fases para o desenvolvimento do modelo de simulação da empresa *eliane* unidade de produção V.

Dentro desta metodologia de projeto, este capítulo trata da definição do problema a ser solucionado, os objetivos a serem alcançados, a construção do modelo analisando as simplificações realizadas e a codificação usando uma linguagem específica de simulação, o SIMAN.

As fases de verificação e validação serão analisadas no capítulo V e as fases de teste e experimentação no capítulo VII.

#### 4.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA E OS OBJETIVOS

Conforme analisado no capítulo I, o problema a ser solucionado é referente as questões de desempenho da empresa *eliane* revestimentos cerâmicos unidade de produção V. A meta a ser alcançada é desenvolver um modelo de simulação da unidade com propósito de realizar testes e experimentações sobre o modelo, estimando índices de desempenho de interesse, obtendo respostas as perguntas realizadas sobre o comportamento do sistema e prevendo o comportamento futuro do processo.

#### 4.3 CONSTRUÇÃO DO MODELO

Para viabilizar a construção de um modelo de simulação simplificado, capaz de representar aproximadamente o comportamento do sistema real, várias simplificações, omissões e agregações foram realizadas:

- As prensas são alimentadas continuamente, ou seja, não são considerados os problemas que podem surgir devido a falta de massa atomizada.
- As distâncias entre os equipamentos, estações de trabalho e linhas de transportes são valores inteiros. Por exemplo, uma distância de 10.4 metros é arredondada para o valor inteiro de 10 metros, distâncias como 8.5 metros são arredondadas para o valor

inteiro 9 metros.

- Devido a impossibilidade de se representar cada azulejo produzido como sendo uma única entidade devido a problemas computacionais (falta de memória), cada entidade no modelo representa 1.0 metro quadrado de azulejo. Por exemplo, na linha de esmaltação, ao invés de modelar as operações sobre um único azulejo, são modeladas as operações sobre 1.0 metro quadrado de azulejos com os tempos de operação necessários para realizar uma operação sobre este 1 metro quadrado. Esta agregação para a representação dos azulejos não ignora os detalhes do sistema, mas representa estes detalhes de forma combinada em um processo equivalente.
- O número de correias transportadoras nas linhas de esmaltação também foi agregado. Por exemplo, do secador ao primeiro compenser da linha ("buffer" de 100 azulejos), ao invés de correias transportadoras independentes com vários segmentos, no modelo há uma única correia transportadora representando um segmento contínuo entre o secador e o compenser. A velocidade desta correia é representada pela velocidade média de todo o conjunto de correias do sistema real.
- Nas linhas de esmaltação, as velocidades são consideradas iguais para os três tipos de bitolas (tamanho ou formato dos azulejos).
- As perdas (quebra de azulejos) são desconsideradas nas linhas de esmaltação, nos carros boxes e nos fornos.
- As capacidades dos equipamentos como secadores, "buffers", etc, também são números inteiros.
- As distâncias entre os compensers ("buffers" de 30 azulejos) e as máquinas serigráficas são omitidas. Estas mesmas distâncias são acrescentadas às distâncias entre as serigráficas correspondentes. Por exemplo, se a distância entre a primeira máquina serigráfica e o compenser da segunda máquina serigráfica é de 5 metros e a distância deste compenser à segunda serigráfica é de 2 metros, esta distância de 2 metros é omitida e é somada à distância de 5 metros anterior de forma que a distância entre as máquinas serigráficas continua sendo 7 metros. Veja figura 4.1.



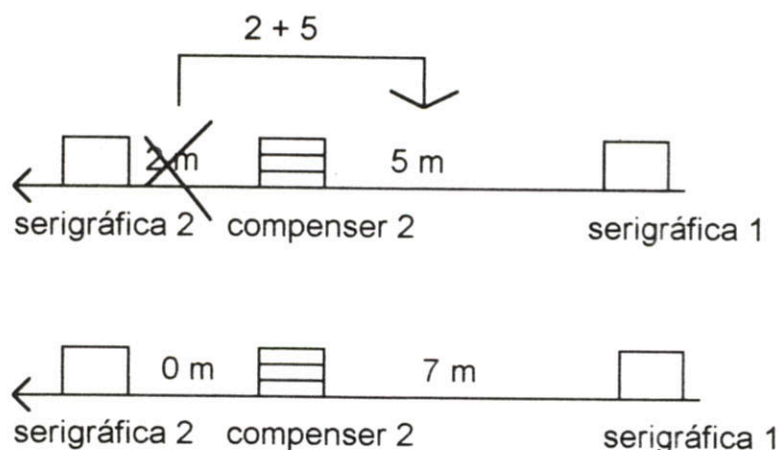


figura 4.1 - Simplificações e Omissões

Estas simplificações consideradas na formulação do modelo, foram analisadas para verificar os impactos na estrutura do mesmo. Os resultados produzidos pelo modelo foram comparados com os dados do sistema real produzindo resultados similares dentro de um nível de confiança desejado. Estas comparações serão analisadas no capítulo V.

- ◆ Tempo de execução: A fase de construção do modelo foi realizada em quatro dias.

#### 4.4 COLETA DE DADOS

Para a aquisição de dados da empresa *eliame* unidade V, foram utilizados várias fontes de recursos:

- Planta da fábrica, com toda a estrutura de operação e distâncias entre os setores, linhas de transportes, etc.
- Medições de distâncias não citadas na planta tal como as distâncias entre as máquinas serigráficas foram realizadas na própria fábrica.
- Dados teóricos também foram colhidos, entre eles: tempos de operação nas serigráficas, tempos de carregamento e descarregamento de carros boxes, percentual de azulejos classe A, classe C ou quebrados. Estes dados são úteis para se fazer uma comparação com os dados medidos diretamente na fábrica.
- Entrevistas, com a participação de engenheiros e gerentes de produção.

- Documentos: Manuais dos equipamentos.
- Observação de sistemas similares, entre eles, *eliane* unidade II e *eliane* unidade III revestimentos cerâmicos.
- ◆ Tempo de execução: A fase de aquisição de dados foi realizada em um período de oito dias na fábrica *eliane* unidade V. Esta fase foi realizada em conjunto com a fase de construção do modelo.

## 4.5 CODIFICAÇÃO

### 4.5.1 Introdução à Linguagem SIMAN

Este item apresenta os conceitos básicos do SIMAN que foram utilizados na construção do modelo, sendo que todos os blocos utilizados na modelagem estão no apêndice B.

O objetivo deste item é apenas introduzir algumas funções do SIMAN utilizadas na modelagem do sistema, ficando desde já, evidenciado, que não é do objetivo deste item ensinar a utilizar o SIMAN para a construção de modelos.

Todos os processos modelados em SIMAN usam o diagrama de blocos. O diagrama de blocos é uma estrutura gráfica, linear "top-down" (de cima para baixo) mostrando o processo através do qual as entidades se movimentam. O diagrama de blocos é construído por uma seqüência de blocos onde cada um representa uma função particular.

Um modelo é construído pela seleção de blocos padrão disponíveis no SIMAN combinando-os de forma a representar o processo sendo modelado por onde as entidades irão fluir.

#### 4.5.1.1 Tipos de Blocos Básicos

O SIMAN possui dez blocos básicos. Cada um destes blocos possui um nome correspondendo a uma função específica de modelagem, operandos que controlam as operações de cada bloco, uma linha de comentário, um "label" ou rótulo para onde as entidades podem ser direcionadas e um modificador, ou seja, após passarem pelo bloco, as entidades podem seguir seqüencialmente no modelo, serem direcionadas a um "label"

definido no modelo ou podem ser destruídas com o modificador "DISPOSE".

Apenas alguns blocos utilizados na modelagem do sistema *eliane* unidade V são detalhados abaixo.

### B.1 BLOCO "OPERATION"

O bloco "OPERATION" representa uma grande faixa de funções de modelagem em que as entidades chegando, sempre entram no bloco, executam alguma função e depois saem do bloco.

Para identificar os operandos dos blocos, ver apêndice B.

Alguns blocos "OPERATION":

- ALTER: Altera a capacidade dos recursos. Por exemplo, o número de trabalhadores pode variar em determinados períodos de produção.
- ASSIGN: Faz associação de valores. Seta variáveis globais e atributos das entidades.
- COUNT: Conta o número de entidades que passa pelo bloco. Por exemplo, o número de azulejos produzidos.
- CREATE: Tipicamente usado para modelar a chegada de entidades ao sistema. Com seus operandos é possível controlar a chegada de entidades.
- DELAY: Usado para modelar os tempos de operação. Por exemplo, o tempo gasto por uma peça ao ser usinada em uma máquina.
- FREE: Libera transporte. Modela o descarregamento da entidade que libera o transporte para outras entidades.
- EXIT: Sai da correia transportadora. Após alcançar seu destino, a entidade libera uma unidade da correia transportadora, também conhecida como célula da correia.
- RELEASE: Libera máquina ocupada. Após o tempo de operação definido pelo bloco "DELAY", a entidade deve liberar o recurso afim de que outras entidades possam alocá-lo.
- SIGNAL: Libera um sinal. Uma entidade passando por este bloco, libera um sinal



modelando um sinal elétrico, pneumático, mecânico, etc, para que a(s) entidade(s) na fila que precede o bloco "WAIT" (este bloco será comentado no bloco "HOLD" abaixo) possa(m) ser liberada(s) de acordo com o sinal específico recebido.

- **START:** Ativa correia transportadora. Quando uma entidade passa por este bloco, a correia (conveyor) é acionada e passa a se movimentar transportando as entidades sobre ela.
- **STOP:** Desativa correia transportadora, ou seja, tem um efeito contrário ao bloco "START" parando a correia.
- **TALLY:** Registra observações. Por exemplo, tempo médio no sistema. Cada vez que uma entidade passa pelo bloco "TALLY" é realizado um registro do tempo em que ela permaneceu no sistema ou em determinados setores do sistema. Para um registro correto, o tempo que a entidade entra no modelo deve ser definido como um atributo da entidade e ajustado no valor do tempo corrente no momento que a entidade entra no modelo.

Exemplo de implementação com blocos "OPERATION".

**CREATE:100;** Cria entidades a cada 100 unidades de tempo.

**ASSIGN: Tempo = Tnow;** Seta o atributo "tempo" igual ao tempo de simulação "Tnow" no momento que a entidade entra no modelo.

**STOP: Correia\_1;** Desativa a correia chamada correia\_1

**DELAY: 5;** A entidade chegando, fica neste bloco durante 5 unidades de tempo, modelando o tempo que a correia\_1 fica desativada.

**START:Correia\_1;** Ativa Correia\_1 novamente.

**TALLY:TempoSistema,INTERVAL(Tempo);** No elemento "TALLY" TempoSistema é registrado o intervalo de tempo "INTERVAL(Tempo)" que a correia fica parada para manutenção.

A correia chamada correia\_1, por exemplo, pode estar conectando duas células de trabalho e a cada 100 unidades de tempo, a correia é desativada para manutenção e este tempo de manutenção é de 5 unidades de tempo. Após este período, a correia é

novamente acionada. O tempo de 5 minutos é registrado no bloco "TALLY".

### B.2 BLOCO "HOLD"

O bloco "HOLD" é um tipo de bloco usado para representar todas as funções de modelagem que detêm uma entidade chegando baseado no estado corrente do sistema. Por exemplo, um bloco "HOLD" pode ser usado para modelar uma entidade esperando por um recurso ocupado. Por isso, todo o bloco "HOLD" deve ser sempre precedido por uma fila. Caso o recurso esteja ocupado, a entidade permanecerá nesta fila até a liberação do recurso.

Alguns blocos "HOLD":

- ACCESS: Acessa correia transportadora. Este tipo de bloco mantém a entidade na fila precedente até haver um espaço disponível na correia.
- COMBINE: Combina um grupo de entidades formando uma só entidade representativa. Por exemplo, um "pallet" sendo transportado.
- REQUEST: Este bloco mantém a entidade na fila precedente até que uma unidade de transporte torna-se disponível.
- SCAN: Modela um mecanismo geral para manter uma entidade na fila até que uma condição se torne verdadeira.
- SEIZE: Mantém a entidade na fila precedente até que o recurso esteja disponível. Por exemplo, um azulejo que aloca uma máquina serigráfica.
- WAIT: Mantém a entidade na fila até que um sinal específico seja recebido por esta entidade. O sinal é liberado por uma entidade que passa pelo bloco "SIGNAL".

Um exemplo da utilização do bloco "HOLD" pode ser visto em conjunto com o bloco "QUEUE" abaixo.

### B.3 BLOCO "QUEUE"

O bloco "QUEUE" (fila) é usado para modelar as filas dos sistemas. A fila fornece um espaço para as entidades cujo movimento através do modelo é suspenso baseado no estado do sistema.

O bloco "HOLD" citado anteriormente é sempre usado em conjunto com o bloco "QUEUE". Por exemplo, uma entidade tentando acessar um transporte ocupado aguarda na fila até o transporte ser liberado.

Exemplo do conjunto "QUEUE - HOLD".

```
QUEUE,Buffer1;      Fila da máquina de operação  
SEIZE:Máquina1;    Aloca máquina 1  
DELAY: 15;          Modela o tempo de operação na máquina 1  
RELEASE:Máquina;    Após a operação, entidade libera máquina 1
```

O modelo acima descreve o comportamento de todos os sistemas que possuem características "Cliente-servidor".

A entidade (peça) chegando, aloca uma unidade da máquina chamada máquina1. O tempo de operação é de 15 unidades de tempo. Se uma segunda entidade chegar neste sistema antes da máquina1 completar a primeira operação, a segunda entidade deverá esperar na fila Buffer1 até que a primeira operação seja completada, quando então o recurso máquina1 é liberado.

#### B.4 BLOCO "BRANCH"

O bloco "BRANCH" é um tipo de bloco que permite redirecionar uma entidade em diversas situações de interesse. Por exemplo, uma peça saindo da inspeção pode ser classificada como peça boa, ruim ou rejeitada.

Exemplo do bloco "BRANCH" na classificação de azulejos:

```
BRANCH, 1:  
    WITH, 0.92, Classe_A:  
    WITH, 0.072,Classe_C:  
    WITH, 0.008,Quebado;  
Classe_A COUNT: Azulejos_Classe_A:
```



DISPOSE;

Classe\_C COUNT: Azulejos\_Classe\_C:

DISPOSE;

Quebrado COUNT: Azulejos\_Quebrados:

DISPOSE;

Assim, 92% dos azulejos são de classe A, 7,2% classe C e 0.8% quebrados.

Quando de classe A, os azulejos são redirecionados para o "label" ou rótulo Classe\_A. Neste "label" a entidade azulejo é contada no bloco "COUNT" e depois destruída com o elemento "DISPOSE". O elemento "DISPOSE" não é um bloco do SIMAN, é apenas um modificador no fluxo das entidades, ou seja, ao invés das entidades seguirem seqüencialmente, o modificador "DISPOSE", destrói as entidades que nele chegam.

#### B.5 BLOCO "TRANSFER"

O bloco "TRANSFER" é um tipo de bloco usado para modelar o movimento de entidades de uma posição para outra dentro de um sistema, seja através de veículos, guindastes, correias, etc.

Alguns blocos "TRANSFER" .

- **TRANSPORT**: Realiza o transporte de entidades de um local para o outro no sistema. Este bloco é útil para modelar transporte de entidades (peças) através de guindastes, veículos, caminhões, etc.
- **CONVEY**: Realiza o transporte de entidades de uma estação de trabalho para outra no sistema. Este bloco modela as correias transportadoras.

#### B.6 BLOCO "STATION"

Para sistemas muito complexos, o modelo construído é dividido em pequenos submodelos chamados de estações. O ponto em que as entidades entram nestes submodelos é definido no bloco "STATION"

Exemplo: Uma peça é transportada por uma correia de uma estação A até uma estação B.

STATION, A;

QUEUE,Fila\_Espera\_Espaço\_Correia; Aguarda espaço disponível na correia transportadora.

ACCESS: Correia; Acessa uma unidade transportadora

CONVEY: Correia, B; Transporta para a estação B

STATION, B;

EXIT: Correia; Libera correia.

Com esta estrutura, é possível modelar qualquer sistema com transferência de entidades ( peças , azulejos, etc) no modelo.

#### 4.5.2 Elementos Experimentais

Neste item, como discutido anteriormente, são definidas as condições do experimento do modelo de simulação.

Os elementos do experimento usados na modelagem do sistema *eliane* unidade V podem ser vistos no apêndice C.

Alguns Elementos do experimento:

- ATRIBUTES: Define todos os atributos das entidades.

Exemplo: ATRIBUTES: TipoAzulejo; Identifica o tipo de azulejo.

- VARIABLES: Define todas as variáveis usadas no modelo.

Exemplo: VARIABLES: NúmeroAzulejos; Esta variável pode ser usada em todo o modelo.

- RESOURCES: Define os nomes e capacidades dos equipamentos.

Exemplo:RESOURCES: Máquina1,1; Define o recurso máquina1 com capacidade de

usinar uma peça por vez, ou seja, tem capacidade 1.

- **QUEUES:** Define os nomes das filas e as prioridades de organização ( fifo -"o primeiro a chegar é o primeiro a ser servido", etc).

Exemplo: **QUEUES:** Buffer1,FIFO; Define a fila chamada Buffer1 onde a primeira entidade a chegar é a primeira a ser atendida.

- **COUNTERS:** Define os contadores usados no modelo.

Exemplo: **COUNTERS:** Azulejos\_Classe\_A;

- **STATIONS:** Define os nomes de todas as estações usadas no modelo.

Exemplo: **STATION:** A; Define uma estação A.

- **CONVEYORS:** Define todas as características das correias usadas no sistema, entre elas, o nome, a velocidade, o número do elemento "SEGMENT" que contém as distâncias entre as estações que conecta, etc.

Exemplo: **CONVEYORS:** Correia\_1,1; Define uma correia chamada correia\_1, com um conjunto de distâncias dada pelo elemento "SEGMENT" de número 1;

- **SEGMENTS:** Define as distâncias Entre as estações ligadas pelas correias.

Exemplo: **SEGMENTS:** 1, A,B-10; No segmento 1, a distância entre as estações A e B é de 10 unidades de comprimento.

- **TRANSPORTES:** Define todas as características dos transportes do sistema tal como, o nome, a velocidade, a posição inicial, o número do elemento "DISTANCES" que define o conjunto das distâncias a serem percorridas, etc.

Exemplo: **TRANSPORTERS:** Caminhão,1; Define um transporte chamado caminhão, com o conjunto de distâncias dada pelo elemento "DISTANCES" (ver elemento DISTANCES) de número 1.

- **DISTANCES:** Como comentado no elemento "TRANSPORTERS", o elemento "DISTANCES " define todas as distâncias entre as estações ligadas pelos transportes.

Exemplo: **DISTANCES:** 1, A-B,10; No conjunto de distâncias número 1, a distância



entre as estações A e B é de 10 unidades de comprimento.

- **DSTATS:** Faz um levantamento estatístico dos resultados finais do experimento. Por exemplo, o tempo médio que uma entidade gasta em um fila de espera, o tempo médio de transporte, o percentual de utilização dos equipamentos, as produtividades, o percentual de quebra e bloqueio dos dispositivos, etc.
- **REPLICATE:** Define o tempo de simulação e o número de simulações desejado.
- Para maiores informações, deve-se consultar as referências [PSS90],[Sim89],[Sim9091],[Bin93]

#### **4.6 ANIMAÇÃO DO PROCESSO DE SIMULAÇÃO.**

Em conjunto com o modelo *eliane* unidade V e as condições de experimento, uma animação do processo de simulação foi construída utilizando o pacote gráfico SIMAN/CINEMA [Cin90],[Bin93].

O CINEMA possui dois componentes básicos:

- O componente estático: É um conjunto de elementos que possibilita construir o "layout" do modelo, ou seja, o desenho do sistema real.
- O componente dinâmico: Compreende o conjunto de objetos que mudam de posição, forma ou cor durante a execução da simulação, entre eles, as entidades, os recursos, os transportes, etc.

Através da animação gráfica, é possível acompanhar todos os movimentos das entidades (azulejos) no modelo, a ocupação dos recursos, o número de azulejos nos "buffers", os transportes, etc.

A animação é uma ferramenta auxiliar que possibilita o usuário ver como o sistema realmente funciona através de uma representação gráfica detalhada do sistema sendo modelado. Esta representação muda durante a execução para representar os movimentos das entidades no modelo e as correspondentes mudanças no estado do sistema.

A animação é útil também como ferramenta de apoio a fase de verificação do sistema, permitindo a detecção e correção de erros na estrutura lógica do programa simplesmente através da visualização da representação dinâmica do modelo. Mas, a

principal contribuição da animação está na possibilidade do projetista verificar como os componentes do sistema interagem entre si, a visualização da existência de gargalos na produção, propondo alterações para melhorar a produtividade do sistema e verificar como estas alterações propostas modificam o desempenho do sistema.

Quando o modelo de simulação é animado, a velocidade de execução da simulação é menor afim de que as alterações no modelo possam ser visualizadas. Como resultado, uma simulação com animação requer mais tempo de execução.

#### **4.7 COMO EXECUTAR UM MODELO DE SIMULAÇÃO USANDO SIMAN.**

##### **4.7.1 Sem a Animação do Processo**

No "prompt" entrar com os seguintes comandos para executar o modelo da empresa *eliane* unidade V:

```
. > model eliane_5
```

```
. > expmt eliane_5
```

```
. > linker eliane_5
```

```
. > siman eliane_5
```

O comando "model" gera o arquivo executável (*eliane\_5.m*) do arquivo modelo.

O comando "expmt" gera o arquivo executável (*eliane\_5.e*) do arquivo experimento.

O comando "linker" linka os arquivos (*eliane\_5.m*) e (*eliane\_5.e*) criando o arquivo (*eliane\_5.p*).

O comando "siman " executa a simulação.

##### **4.7.2 Com a Animação do Processo**

No "prompt" entrar com os seguintes comandos:

```
. > model eliane_5
```

```
. > expmt eliane_5  
  
. > linker eliane_5  
  
. > csiman eliane_5
```

O comando " csiman " linka os arquivos (eliane\_5.lay), arquivo do SIMAN/CINEMA, com o arquivo ( eliane\_5.p). executando a simulação com a animação do processo.

Este modelo de simulação é executado apenas nas estações de trabalho onde o "software" SIMAN/CINEMA está instalado.

- ◆ Tempo de execução desta fase: A codificação do modelo e a construção da animação do processo foi realizada em um período de 50 dias.

#### 4.8 CONCLUSÃO

A aplicação da metodologia para o desenvolvimento do modelo de simulação da empresa *eliane* unidade de produção V, foi útil do ponto de vista de organização e planejamento de todo o projeto. Estas etapas foram executadas não necessariamente na ordem descrita mas, a medida que mais informações eram necessárias para a continuação do projeto, uma realimentação nas fases já desenvolvidas era realizada com objetivo de colher dados mais precisos. Por exemplo, a fase de definição do problema foi reestudada na fase de codificação devido as dúvidas surgidas sobre o comportamento do sistema, possibilitando assim, um estudo mais detalhado do problema. Novos objetivos também foram sendo definidos a medida que o modelo foi sendo desenvolvido devido aos interesses da própria empresa.



## CAPÍTULO V

### VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO - *eliane V*

#### 5.1 INTRODUÇÃO

Um modelo deve ser testado para ter certeza de que ele está correto, livre de erros e tem credibilidade perante os usuários.

Quando testado completamente, fatores e decisões são variados para determinar o comportamento do modelo em diversas circunstâncias e para encontrar as estimativas de vários parâmetros [PSS90], [BSC84].

Para que os resultados de um modelo de simulação estejam corretos, é necessário que o modelo se comporte aproximadamente como o sistema real em análise. Para alcançar este objetivo, o modelo é observado, analisado e comparado com o sistema. Se o modelo se comporta como o sistema real em aspectos importantes, então o modelo é validado, senão, as suposições e abstrações realizadas na lógica do modelo devem ser revistas afim de que o modelo se comporte como o sistema. Os dados do modelo também devem ser revistos.

Com este propósito, este capítulo descreverá as fases de verificação e validação do modelo de simulação da empresa *eliane* unidade de produção V.

#### 5.2 VERIFICAÇÃO DO MODELO.

A sexta fase do processo de construção do modelo de simulação é a verificação do modelo.

Como já analisado, o processo de verificação consiste na localização e correção de erros na estrutura lógica do modelo.

A etapa mais difícil não é corrigir os erros, mas sim encontrá-los e isolá-los. Neste caso, muitos erros podem não ser detectados, produzindo resultados errôneos ainda que pareçam verdadeiros. Por isso, esta fase está direcionada a encontrar todos os tipos de erros, grandes ou pequenos, no modelo com o propósito de que os objetivos definidos na segunda fase, definição dos objetivos do modelo de simulação, possam ser alcançados corretamente.

Para verificar o modelo da empresa *eliane* unidade V, várias etapas foram definidas com o objetivo de facilitar todo o processo de análise e correção de erros.

### 5.2.1 Comparação

Comparação do código do modelo desenvolvido na quinta fase com o modelo conceitual desenvolvido na terceira fase. Esta etapa tem o objetivo de verificar se o código do modelo opera conforme o pseudo-código ou diagrama de blocos que descreve todo o sistema, ou seja, se o código desenvolvido descreve corretamente o desejo do projetista.

### 5.2.2 Incorporação de Dúvidas Externas.

Pessoas familiarizadas com o sistema e com a linguagem SIMAN que não estavam envolvidas diretamente com a implementação, adotaram uma posição de crítica em relação ao modelo construído. Com isto, foi possível alterar o código do modelo evitando a ocorrência de erros futuros tal como o "Deadlock", um bloqueio total no modelo. Um exemplo deste caso: uma entidade aloca um recurso e não o libera mais, impossibilitando as outras entidades de alocarem o mesmo recurso.

### 5.2.3 Execução de Testes.

Nesta etapa, alguns parâmetros do modelo foram alterados com o objetivo de encontrar os erros no modelo. Por exemplo, o aumento da taxa de ocorrência de eventos não frequentes, entre eles, a manutenção de equipamentos, alteração nos tipos de azulejos fabricados, diminuição do turno de trabalho para verificar como o modelo opera.

### 5.2.4 Uso do Comando "TRACE" com o Debugger Interativo

O SIMAN executa um modelo de simulação movendo as entidades de bloco para bloco dentro do modelo. Durante o processo de verificação, o objetivo é analisar o fluxo das entidades dentro do modelo e analisar as funções específicas dentro de cada bloco.

O SIMAN possui um comando que permite a execução do modelo de forma que uma história detalhada de todas as entidades se movimentando através dos blocos pode ser analisada [PSS90],[Sim89]. Este comando é o elemento "TRACE" definido no experimento do modelo. Veja exemplo abaixo.

```
SIMAN System Trace Beginning at Time :.000
```

```
Time:0.0 ENTITY:1
```

```
1 CREATE Next creation scheduled at time 6.020
```

- 2 QUEUE Entity 1 send to next block
- 3 SEIZE Seized 1 unit(s) of MACHINE(1)
- 4 DELAY Delayed by 4.697 until time 4.697

NQ(Buffer) = .0000

NR(Machine)= 1.000

Time:4.697 ENTITY:2

- 5 RELEASE MACHINE available incr by 1 to 1

Disposed entity 1

NQ(Buffer) = .0000

NR(Machine)= .0000

dispose entity.

Time:6.020 ENTITY:2

- 6 CREATE Next creation scheduled at time 10.8.

E assim sucessivamente.

O modelo acima mostra todo o fluxo das entidades, desde a sua entrada no modelo através do bloco "CREATE" até a sua saída com o modificador "DISPOSE". Com esta estrutura, é possível verificar se as entidades estão se movimentando corretamente e corrigir os erros lógicos na estrutura do modelo.

Em conjunto com o elemento "TRACE", o SIMAN fornece um conjunto de comandos que possibilita o projetista verificar todas as variáveis de interesse.

- O comando "SHOW" mostra o valor de uma expressão envolvendo variáveis ou mostra os atributos das entidades. Por exemplo: > SHOW NR(Machine), mostra se o recurso "machine" está ocupado, ou vazio. Se  $NR(Machine) = 1$ , significa máquina ocupada, se  $NR(Machine) = 0$  significa máquina livre. O comando SHOW NR(\*) possibilita verificar o estado atual de todos os



recursos e NQ(\*), possibilita verificar o número de entidades em todas as filas do modelo.

- O comando "ASSIGN" possibilita ajustar variáveis ou atributos conforme interesse do projetista para verificar determinadas situações. Por exemplo: >ASSIGN:TipoAzulejo =1. Através deste comando o atributo tipoAzulejo é ajustado em 1.
- O comando "NEXT" possibilita alterar o fluxo das entidades e testar determinadas seqüências de blocos do modelo. Por exemplo: >NEXT 10, envia a entidade para o bloco número 10.
- O comando "STEP" executa o programa de simulação passo a passo.
- O comando "GO" executa o programa de simulação diretamente.

Todos estes comandos usados no processo de verificação do modelo são detalhados no "HELP" do SIMAN e na referência [PSS90].

### 5.3 ANIMAÇÃO COMO PROCESSO DE VERIFICAÇÃO.

Através da animação do processo de simulação, o projetista pode acompanhar todos os movimentos das entidades no modelo, a utilização dos recursos, ver como os vários elementos interagem, identificando as causa de possíveis erros, etc [Cin90]. Neste caso, erros aparentemente não detectados nos testes acima, podem ser visualizados através da animação e assim, corrigidos facilmente.

Com as facilidades fornecidas pela animação do processo, o projetista pode alterar decisões e variáveis do modelo e verificar estas mudanças visualmente.

No modelo de simulação *eliane* unidade V, a animação do processo foi utilizada nos testes de verificação. O acompanhamento da evolução do processo através da animação possibilitou a correção de alguns erros e, inclusive, possibilitou verificar possíveis erros que poderiam ocorrer em determinadas situações.

### 5.4 CUIDADOS ESPECIAIS.

Uma análise minuciosa foi feita, no início da modelagem, em toda a estrutura do modelo *eliane* unidade V com objetivo de evitar erros mais comuns, entre eles:

- Erros de dados de entrada: Tempos de processamento, distâncias, velocidades, etc. Estes dados, coletados na fábrica, foram verificados na presença de técnicos e engenheiros da *eliane* unidade V.

- Erros de inicialização: Atributos e/ou variáveis setadas incorretamente no início da simulação.
- Erros nas unidades de medida: No modelo *eliane* unidade V, todas as distâncias tem como unidade de comprimento o metro, e todos os tempos tem como unidade o minuto. Assim, no caso de uma operação com o tempo de processamento de 1 hora, o valor a ser colocado para modelar este tempo de operação é 60, representando 60 minutos, equivalentes a 1 hora.
- Erros no fluxo das entidades: Verificação correta do movimento das entidades dentro do modelo.
- Erros aritméticos de expressões e valores.
- Erros de bloqueio no modelo.
- Erros na codificação do modelo.

Todos estes erros foram encontrados, isolados e corrigidos nesta fase de verificação.

Tempo de execução desta fase: Todo o processo de verificação foi realizado em duas etapas: a primeira etapa foi realizada em conjunto com a fase de codificação do modelo, ou seja, a medida que o modelo foi sendo construído, testes de verificação foram sendo realizados.

Na segunda etapa, com o modelo já construído, testes finais foram realizados com o objetivo de assegurar a inexistência de erros na estrutura do modelo de simulação da *eliane* unidade V.

- ◆ Todo o processo de verificação teve um tempo de duração de 40 dias.

## 5.5 VALIDAÇÃO DO MODELO.

Com o modelo de simulação construído e verificado, as questões a serem respondidas são:

- (a) O modelo representa adequadamente o sistema real ?
- (b) Os resultados de uma execução de simulação correspondem realmente aos dados reais da fábrica ?
- (c) Estes resultados colhidos no fim da simulação são confiáveis ?

Para responder estas questões, deve-se ficar sempre atento ao fato de que um modelo de simulação é uma teoria ou aproximação do sistema real, representando seu comportamento de maneira simplificada com características combinadas do sistema em análise com o propósito de obter



a viabilidade de construção do modelo [PSS90]. Assim, fica evidenciado que os resultados finais de um modelo de simulação não serão idênticos aos dados do sistema real. A questão é, estes resultados condizem com a realidade ?

Com a proposta de comparar os resultados do modelo com os dados do sistema real, a fase de validação foi dividida em três etapas:

### **5.5.1 Testando a Credibilidade do Modelo Através dos Seguintes Parâmetros:**

#### **5.5.1.1 Continuidade**

Pequenas mudanças nos dados de entrada do modelo produzem pequenas variações nos resultados de saída. Por exemplo, aumentando o número de batidas das prensas para a formação dos azulejos, os carros boxes serão carregados mais rapidamente.

#### **5.5.1.2 Consistência**

Várias execuções do modelo de simulação com diferentes números randômicos produzem resultados similares.

#### **5.5.1.3 A remoção de características do modelo**

Quando este procedimento é realizado, os resultados finais são alterados fornecendo uma resposta as mudanças na estrutura do programa. Por exemplo, a retirada de algumas serigráficas reflete, nos resultados de saída, no tempo gasto nas linhas de esmaltação.

### **5.5.2 Testando a Estrutura e os Dados do Modelo**

A validação do modelo através deste teste foi alcançada pela participação de pessoas familiarizadas com a construção do modelo e com o sistema *eliane* unidade V.

Este teste, usado para validar toda a lógica e funcionamento do modelo, foi realizado no laboratório de controle e micro informática com a presença de orientadores e engenheiros da *eliane* unidade V. A animação do processo de simulação possibilitou o entendimento do modelo, e a partir deste entendimento, alterações foram realizadas no sentido de aproximar o modelo do sistema real. Entre estas alterações estão: a inclusão de tempos de parada nas serigráficas para limpeza das telas, troca de bitola na linha de esmaltação II, lógica para descarregar carro boxe na classificadeira, lógica para carregamento dos carros boxes vazios, etc.



### 5.5.3 Comparação dos Resultados

Por fim, os resultados do modelo foram comparados aos dados reais do sistema *eliane* unidade V. Todas as estimações dos parâmetros fornecidas pelo modelo como o tempo para carregar e descarregar carros boxes, taxas de produção nos fornos, a produtividade, tempos na esmaltação, número médio de carros boxes nas linhas de vazios ou nas linhas de carregados com azulejos queimados ou crus foram analisados e validados, realizando uma comparação entre os dados obtidos na simulação e os dados reais da fábrica. Veja um exemplo entre os dados calculados na fábrica e os resultados no fim de um experimento de simulação.

- Tempo para carregar um boxe com azulejos 25x33 (crus).

Real = 24 minutos

Modelo = 24.056 minutos.

- Tempo para descarregar um boxe com azulejos 25x33 para o forno.

Real = 55.55 minutos.

Modelo = 56.242 minutos.

- Tempo para descarregar um boxe com azulejos 33x45 para a classificadeira.

Real = 12.5 minutos.

Modelo = 13.489 minutos.

- Ciclo no forno para o azulejo 33x45.

Real = 67 minutos.

Modelo = 67.08 minutos.

Estas comparações foram realizadas para todos os tipos de azulejos com diferentes bitolas (tamanho), ou seja, para o azulejo 25x33, 33x45 e 25x41.

Esta comparações foram importantes para validar o modelo e deparar com a seguinte discrepância: na fábrica, a linhas de esmaltação param continuamente para ajustes necessários. No modelo, entretanto, estes ajustes não são considerados, sendo consideradas apenas as paradas para

limpeza de telas nas serigráficas, o tempo de preparação na troca de bitolas e referências, o que leva as linhas no modelo funcionarem com maior produtividade. Esta situação reflete o objetivo a ser alcançado na fábrica *eliane* unidade V, sendo que o modelo já prevê as vantagens e problemas encontrados com este funcionamento das linhas de esmaltação. Os problemas são advindos principalmente pela falta de carros boxes vazios para carregamentos de azulejos crus. Estas análises serão feitas no capítulo VI deste trabalho.

- ♦ A fase de validação foi aplicada em todas as demais fases da construção do modelo. A partir da definição do problema até os testes executados, a validação, ou seja, a comparação do modelo com o sistema real sempre foi realizada com o objetivo de alcançar resultados finais confiáveis. Com isto, conclui-se que a fase de validação teve um tempo de duração equivalente ao tempo do projeto, quatro meses.

## 5.6 CONCLUSÃO

Com o modelo verificado e validado, representando aproximadamente o comportamento do sistema *eliane* unidade V, a próxima etapa é a execução de uma bateria de testes e experimentações aplicando uma técnica apropriada para avaliar o desempenho do sistema através da estimação de medidas ou índices de desempenho de interesse. Estes procedimentos, da técnica para avaliação de desempenho do sistema e dos experimentos realizados estão descritos nos capítulos seguintes.

## CAPÍTULO VI

### TÉCNICAS PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

#### 6.1 INTRODUÇÃO

Nos capítulos anteriores, foram discutidos os conceitos e métodos básicos para o desenvolvimento, verificação e validação do modelo de simulação.

Neste capítulo, o objetivo é descrever uma metodologia para avaliar o desempenho do sistema, ou seja, usar o modelo de simulação para fazer inferências sobre o desempenho do sistema real.

#### 6.2 SISTEMAS TERMINAIS E NÃO TERMINAIS.

A abordagem utilizada para analisar modelos de simulação depende de se o sistema é terminal ou não terminal [PSS90],[CAS93].

Um sistema terminal tem como características:

- Condições iniciais fixadas para a qual o sistema sempre retorna depois de cada réplica (execução) de simulação.
- Um evento de finalização natural da simulação.

Um exemplo de sistema terminal é o sistema bancário. Nestes sistemas, as condições iniciais são fixadas, ou seja, o banco começa a funcionar em um estado inicial vazio, e apresenta também um evento final, fechar o banco no fim do período de trabalho.

Um sistema não terminal é um sistema que, ou não tem condições iniciais fixadas ou não apresenta um evento de finalização natural. Por exemplo: Hospitais, Serviços telefônicos, etc. Estes sistemas não fecham no fim de um período de um dia.

Embora muitos sistemas são claramente classificados como terminais ou não terminais, esta classificação pode se tornar difícil para outros sistemas. Muitos sistemas que parecem ser terminais na verdade não o são. Por exemplo, sistemas que possuem um evento de finalização natural, fecham no fim de um dia de trabalho mas não possuem condições iniciais fixadas para a qual eles retornam depois do evento final. Um escritório de trabalho que utiliza os serviços inacabados do dia corrente como condições iniciais do



próximo dia. Nestes casos, o sistema embora tenha um evento terminal, fim de um dia de trabalho, não possui condições iniciais fixadas para a qual ele retorna.

Na maioria dos casos, os sistemas de manufatura tendem a ser do tipo não terminal. Possuindo ou não um evento terminal, estes sistemas não apresentam condições iniciais fixadas.

Por outro lado, a maioria dos sistemas de serviços tendem a ser terminais. Por exemplo, restaurantes, lojas, postos de gasolina, etc. Sabendo que estes sistemas fecham, os clientes não aguardam na fila até que o sistema reabra no dia seguinte. Assim, estes sistemas fecham no fim de um dia de trabalho, evento terminal, e reabrem no próximo dia inicialmente vazio, condições iniciais fixadas.

É mais fácil analisar sistemas terminais do que sistemas não terminais. Desta forma, como proposta de análise, sistemas não terminais podem ser analisados como sistemas terminais. Por exemplo, analisar a produção de um sistema de manufatura em um período de um mês. Neste caso, um evento final é definido, fim do mês, e as condições iniciais fixadas, inicialmente vazio. Entretanto, esta abordagem simplificada pode levar a resultados errôneos como será visto.

### **6.3 ANÁLISE DE SISTEMAS TERMINAIS**

Existem duas metodologias para analisar sistemas terminais [PSS90], [Sim90], [Sim9091].

#### **6.3.1 Análise Para Cada Réplica**

Utilizar as observações individuais dentro de cada réplica de simulação. Por exemplo, o tempo que cada cliente gasta dentro de um sistema é usado para estimar o tempo médio gasto de todos os clientes dentro deste sistema. Neste caso, o número de observações é o número de clientes que passam pelo sistema.

Exemplo: Em uma réplica de simulação de um sistema bancário, o primeiro cliente passa 10 minutos dentro do banco. O segundo passa 13 minutos, o terceiro 12 minutos, o quarto 9 minutos e o quinto 10 minutos. O interesse é calcular o tempo médio gasto por estes cinco clientes. Deste modo, fazendo o número de observações igual ao número de clientes, pode-se calcular o valor médio desejado.

$$\text{Tempo médio no sistema} = \frac{10+13+12+9+10}{5} = 10.8.$$

Este valor é a estimativa do tempo médio gasto dentro de um sistema para cinco clientes.

### 6.3.2 Réplicas Independentes

Utilizar cada réplica do modelo de simulação como uma observação. Assim, o número total de observações é o número de réplicas do modelo. Por exemplo, para o mesmo sistema citado no item 6.3.1, o modelo de simulação é executado seis vezes (seis réplicas) e para cada réplica, obtém-se o tempo médio no sistema para a mesma quantidade de clientes, ou seja, cinco clientes.

Réplica 1: Tempo médio = 10.8 minutos

Réplica 2: Tempo médio = 11.0 minutos

Réplica 3: Tempo médio = 10.5 minutos

Réplica 4: Tempo médio = 11.3 minutos

Réplica 5: Tempo médio = 9.8 minutos

Réplica 6: Tempo médio = 10.0 minutos

O número de observações é seis, igual ao número de réplicas do modelo.

$$\text{Tempo médio no sistema} = \frac{10.8+11.0+10.5+11.0+9.8+10.0}{6} = 10.5 \text{ minutos.}$$

A segunda abordagem simplifica todas as análises porque, controlando os números aleatórios, pode-se assumir que estas observações são independentes. E, porque estas observações são a soma ou a média de muitas observações individuais dentro de cada réplica, é razoável assumir, baseado no teorema do limite central, que estas observações tem uma distribuição normal.

O teorema do limite central estabelece que a soma ou a média de muitos valores aleatórios diferentes é aproximadamente normal.

Muitos procedimentos estatísticos requerem a hipótese de independência das observações. A independência implica que a medida de saída de uma observação não afeta a medida de saída de qualquer outra observação.

Na maioria dos modelos de simulação, entretanto, as observações coletadas dentro de uma réplica não são independentes. Por exemplo, se uma peça aguarda um grande tempo em uma fila de espera para ser operada, é provável que a próxima peça na fila também aguarde um grande tempo. Estas observações são ditas observações correlatas onde o tempo de espera de uma peça afeta o tempo de espera da peça seguinte da fila.

No caso de usar as observações como sendo o número de réplicas do modelo, estas observações serão não correlatas, ou seja, serão observações independentes.

Os procedimentos estatísticos usados para avaliar o desempenho de um sistema requerem a hipótese de independência das observações, mesmo que estas observações não tenham uma distribuição normal. Entre estes procedimentos de análise estão: Análise do intervalo de confiança da média de uma medida de desempenho, comparações entre desempenho de sistemas, testes estatísticos, etc.

#### **6.4 METODOLOGIA PARA ANALISAR SISTEMAS TERMINAIS.**

Passo 1: Assumir que o sistema é terminal estabelecendo as condições iniciais. Por exemplo, o sistema está vazio no começo de cada dia.

Passo 2: Executar uma simulação piloto para obter informações sobre o tempo final de execução da simulação. Pode--se iniciar com uma execução de dez réplicas do modelo.

(a) Incluir o elemento "OUTPUTS" no experimento para registrar o valor médio da grandeza medida em cada réplica do modelo. Por exemplo: OUTPUTS: TAVG(Tempo\_No\_Sistema),"Tempo.Dat". Neste exemplo, o tempo médio no sistema de cada réplica é armazenado no arquivo "Tempo.Dat", onde, Tempo\_No\_Sistema é o nome do elemento "TALLY" definido no experimento que registra o tempo no sistema de cada entidade, e a expressão "TAVG" ,"Time Average", determina o valor médio registrado neste bloco "TALLY" do modelo, ou seja, registra o tempo médio no sistema de todas as entidades.

(b) Usar o processador de saída do SIMAN para gerar tabelas e gráficos



correspondentes. O processador de saída (Output) do SIMAN é uma ferramenta que possibilita construir gráficos, histogramas, intervalos de confiança, fazer comparações entre sistemas, testes estatísticos, etc, com finalidade de avaliar o comportamento do sistema através dos resultados obtidos de uma simulação.

(c) Usar o processador de saída do SIMAN para gerar um intervalo de confiança da grandeza medida. Por exemplo, o intervalo de confiança do tempo médio no sistema.

Passo 3: Se o intervalo de confiança for grande, executar uma nova simulação para gerar réplicas adicionais.

Usando a fórmula:  $n_2 = n_1 \times \left(\frac{h_1}{h_2}\right)^2$

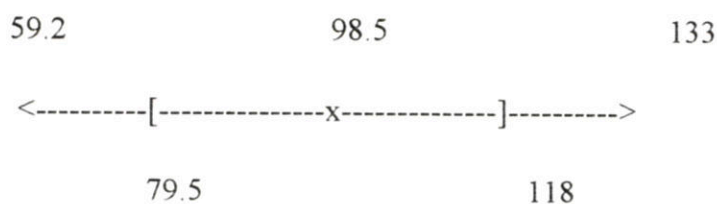
$n_1$  = número de réplicas da simulação piloto.

$n_2$  = número total de réplicas.

$h_1$  = comprimento do intervalo de confiança da medida obtida na execução da simulação piloto.

$h_2$  = comprimento do intervalo de confiança da medida obtida com o número total de réplicas.

Por exemplo, em uma simulação piloto, dez réplicas do modelo são executadas. Como resultado, o intervalo de confiança do tempo médio no sistema é mostrado abaixo.



1. Valor médio: 98.5 minutos.
2. intervalo com 95% de confiança:  $79.5 \leq \text{TempoSistema} \leq 118$ .
3. Comprimento do intervalo: 19.1.
4. Valor mínimo: 59.2 minutos.

5. Valor máximo: 133 minutos.

Objetivo: Fazer novas réplicas para que o tempo médio no sistema apresente uma variação de apenas 10% com uma confiança de 95%, ou seja, Tempo no sistema =  $98.5 \pm 9.85$  minutos.

Usando a fórmula especificada acima:

$$n_1 = 10$$

$$n_2 = \text{valor a ser calculado.}$$

$$h_1 = 19.1$$

$$h_2 = 0.10 \times (98.5) = 9.85.$$

$$n_2 = 10 \times \left(\frac{19.1}{9.85}\right)^2 = 38 \text{ réplicas no total.}$$

O número de réplicas adicionais do modelo a serem executadas é:  $38 - 10 = 28$  réplicas adicionais. Esta diferença é feita porque não há necessidade de repetir as dez primeiras simulações já executadas, executando-se apenas as 28 réplicas adicionais. Pode-se arredondar para 30 réplicas.

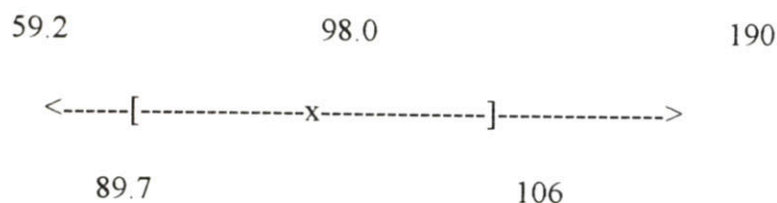
(a) Incluir o elemento "SEEDS" no experimento do modelo para reinicializar o fluxo de números randômicos. Este elemento é necessário nas réplicas adicionais para não repetir os resultados já obtidos na simulação piloto. Estes resultados coletados nas réplicas adicionais, deverão ser registrados pelo elemento "OUTPUTS" em um arquivo diferente do arquivo "Tempo.Dat" usado para registrar as medidas da simulação piloto. Por exemplo: OUTPUTS: TAVG(TempoSistema), "Tempo2.Dat". Assim, no arquivo "Tempo.Dat" são registrados os valores das réplicas da simulação piloto e no arquivo "Tempo2.Dat" são registrados os valores das réplicas adicionais.

(b) Unir os arquivos "Tempo.Dat" e "Tempo2.Dat", ou seja, colocar os dados do arquivo "Tempo2.Dat" no fim do arquivo "Tempo.Dat". Este procedimento é realizado pelo comando "APPENDS" do SIMAN.

(c) Usar o processador de saída do SIMAN para gerar novas tabelas e gráficos do

novo arquivo " Tempo.Dat ".

(d) Gerar o intervalo de confiança através do processador de saída. Para o exemplo, supondo um novo intervalo de confiança:



1. Valor médio: 98.0 minutos.
2. Intervalo com 95% de confiança:  $89.7 \leq \text{TempoSistema} \leq 106$ .
3. Comprimento do intervalo: 8.30.
4. Valor mínimo: 59.2 minutos.
5. Valor máximo: 190 minutos.

Passo 4: Repetir o passo 3 caso o intervalo de confiança ainda esteja grande. Para o exemplo acima, não haverá necessidade tendo em vista que o comprimento do intervalo é menor que 9.85 ( 10% do valor médio ) como requisitado.

Passo 5: Usar o processador de saída para gerar histogramas, realizar testes estatísticos, etc, para avaliar desempenho do sistema.

Todos estes passos constituem uma forma para avaliar índices de desempenho de sistemas terminais.

## 6.5 ANÁLISE DE SISTEMAS NÃO TERMINAIS.

Nos sistemas não terminais, não há nenhum evento que faz o sistema retornar a uma condição inicial fixada. Para este tipo de sistema, o modelo de simulação é usado para estimar parâmetros de várias distribuições de probabilidade estacionárias, ou seja, estudar o comportamento do sistema em regime permanente.

Para estudar um sistema em regime permanente, várias considerações devem ser feitas afim de eliminar as observações na fase transiente (inicial) da simulação, pois estas observações produzem resultados tendenciosos [PSS90]. Por exemplo, se a simulação de



um sistema de produção de peças começa em um estado vazio, é provável que as primeiras peças encontrem o sistema descongestionado fazendo o sistema parecer melhor do que ele realmente é. Desta forma, as primeiras observações coletadas serão tendenciosas e errôneas a respeito do funcionamento do sistema.

Pode-se adotar três abordagens para solucionar os problemas relacionados com as condições iniciais tendenciosas.

A.1- Reduzir a fase transiente selecionando as condições iniciais apropriadas.

A.2- Descartar os dados observados durante a fase transiente.

A.3- Executar a simulação durante um longo período de tempo de tal forma que os dados coletados durante a fase transiente sejam dominados pelos dados coletados durante a fase de regime permanente.

Um outro problema que envolve a análise de sistemas não terminais é a estimação do intervalo de confiança da média. No caso de sistemas terminais, a estimação é simples pois o tempo de execução de cada simulação é determinado e o número de réplicas do modelo fornece resultados independentes, não tendenciosos e normalmente distribuídos.

Para sistemas não terminais, não há um ponto óbvio para definir o fim de uma réplica de simulação, além de ser introduzidas condições iniciais tendenciosas em cada réplica realizada.

Se for realizada uma só réplica com um grande tempo de simulação, as observações serão altamente correlatas, ou seja, dependentes, complicando toda a análise do sistema. Se forem realizadas várias réplicas do modelo, a fase transiente pode ser considerável e as medidas iniciais tendenciosas tornam-se significativas produzindo resultados errados. Se as observações iniciais de todas as réplicas forem descartadas, haverá a necessidade de executar cada réplica com um grande intervalo de tempo, com maior esforço computacional. Por exemplo, se uma réplica tem uma duração de 300 minutos divididos em duas partes: 100 minutos no regime transitório e 200 minutos no regime permanente. O objetivo é analisar o sistema em regime permanente. Todas as observações serão coletadas em 300 minutos de simulação. Os primeiros 100 minutos serão descartados, fase transiente, descartando todas as observações registradas neste tempo. Estes 100 minutos serão acrescentados na fase de regime permanente para que as observações sejam coletadas no mesmo intervalo de tempo de 300 minutos, mas agora

apenas no tempo de regime permanente. Assim, o tempo final de simulação passa a ser de 400 minutos.

Na seção seguinte é apresentada uma metodologia para avaliar sistemas não terminais.

## **6.6 METODOLOGIA PARA AVALIAR SISTEMAS NÃO TERMINAIS.**

O método mais fácil para análise de sistemas não terminais é o método das observações em grupo [PSS90],[Sim90],[Sim9091]. Este método é paralelo ao método das réplicas independentes usado para análise de sistemas terminais. Entretanto, ao invés de réplicas de simulação com condições iniciais definidas, a seqüência de dados de uma única execução é subdividida em subseqüências que são aproximadamente independentes uma das outras. Estas subseqüências podem ser vistas como réplicas independentes.

O procedimento para analisar sistemas não terminais usando SIMAN é mostrado abaixo.

Passo 1: Assumir inicialmente que o sistema é não terminal, ou seja, não há nenhum evento que faz o sistema retornar a sua condição inicial fixada. Por exemplo, um sistema de produção de peças que opera durante cinco dias da semana em três turnos. A produção cessa no terceiro turno do sábado e retorna apenas na segunda feira. As condições iniciais são determinadas pelo fim da produção no sábado. Assim, o sistema nunca está vazio.

Passo 2: Executar uma simulação piloto com um tempo de execução fixado. Por exemplo, deseja-se determinar o tempo médio que as peças permanecem dentro do sistema analisando um período de 21 dias (30.000 minutos). Deste modo, o tempo de simulação será fixado em 30.000 minutos, considerando que todas as unidades de tempo do sistema sejam dadas em minutos.

(a) Introduzir o elemento "TALLIES" na estrutura do experimento para registrar os fluxos de tempos individuais em arquivos de saída separados. Por exemplo, no experimento colocar: TALLIES: TempoSistema, "Tempo.Dat". O arquivo "Tempo.Dat" registrará os tempos que as peças permanecem no sistema.

(b) No processador de saída do SIMAN, usar o comando "MOV AVERAGE" para gerar médias móveis dos fluxos de tempos dentro do sistema. Este procedimento é



feito com o objetivo de selecionar visualmente um ponto de truncamento,  $t$ , onde todas as observações registradas anteriormente a este tempo serão descartadas, ou seja, as observações iniciais não serão consideradas.

O problema da seleção do ponto de truncamento é que ele deve alcançar dois objetivos conflitantes: Por um lado, quanto maior for este tempo de truncamento,  $t$ , menores serão as influências das observações iniciais sobre as medidas de desempenho. Assim, o tempo de truncamento deveria ser o maior possível. Por outro lado, se o tempo de truncamento for muito grande, mais observações serão descartadas, aumentando a variabilidade da estimação da medida. Neste sentido, deve-se encontrar um ponto ótimo para definir o truncamento onde as observações iniciais serão descartadas.

O comando "MOVAVVERAGE" permite suavizar a curva de resposta "tempo médio no sistema" através do cálculo da média móvel. A média móvel é construída pelo cálculo da média aritmética de  $k$  observações mais recentes, onde o valor de  $k$  é especificado. Como cada novo ponto é encontrado no conjunto de dados, uma nova média móvel é calculada usando o ponto mais recente e eliminando o ponto mais antigo.

Com este procedimento é possível verificar graficamente o ponto onde o sistema entra em regime permanente. Este ponto é escolhido como ponto de truncamento. Por exemplo, usando 50 observações para o cálculo da média móvel do sistema de produção de peças citado, pode-se obter o gráfico tempo médio no sistema suavizado:

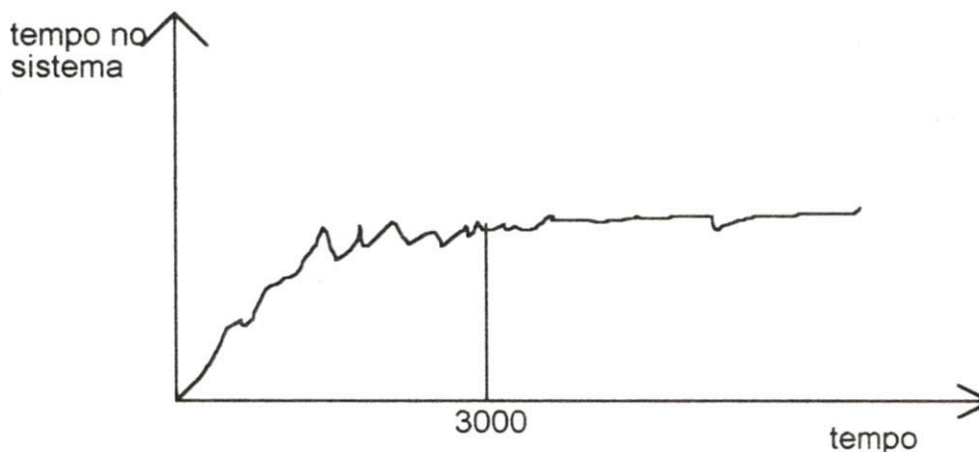


figura 6.1 - Comando "MOVAVVERAGE"

Por uma inspeção visual, é possível verificar que o sistema entra em regime permanente por volta de 3.000 minutos. Assim, o valor de 3.000 é escolhido como ponto



de truncamento do sistema. Este valor será importante nos passos seguintes.

(c) O tempo de truncamento,  $t$ , define o período de "WarmUp" ou período de preparação dos dados.

De posse deste valor, o comando "FILTERS" do processador de saída do SIMAN é utilizado para filtrar os dados, criando um novo arquivo de saída que exclui as observações coletadas no período do "WarmUp".

O termo filtrar significa preparar os dados para uma posterior análise. Este procedimento é fundamental, pois os dados colhidos em uma simulação de sistemas não terminais geralmente são dependentes, violando a necessidade da hipótese de independência dos dados para utilizar métodos de análise estatísticos.

O comando "FILTERS" executa o truncamento no tempo considerado e gera um subconjunto de dados que são aproximadamente independentes, estacionários e normalmente distribuídos. Este novo conjunto de dados é usado no lugar dos dados originais para executar análises estatísticas. Estes novos subconjuntos de dados formados são semelhantes as réplicas individuais executadas para sistemas terminais, ou seja, em sistemas não terminais, apenas uma réplica é executada para um procedimento de análise estatístico, mas os dados desta réplica são organizados em grupos individuais, independentes, estacionários e normalmente distribuídos semelhante as réplicas individuais para sistemas terminais necessários para estes procedimentos de análise. O tamanho de cada grupo é definido pelo projetista. Veja figura 6.2.

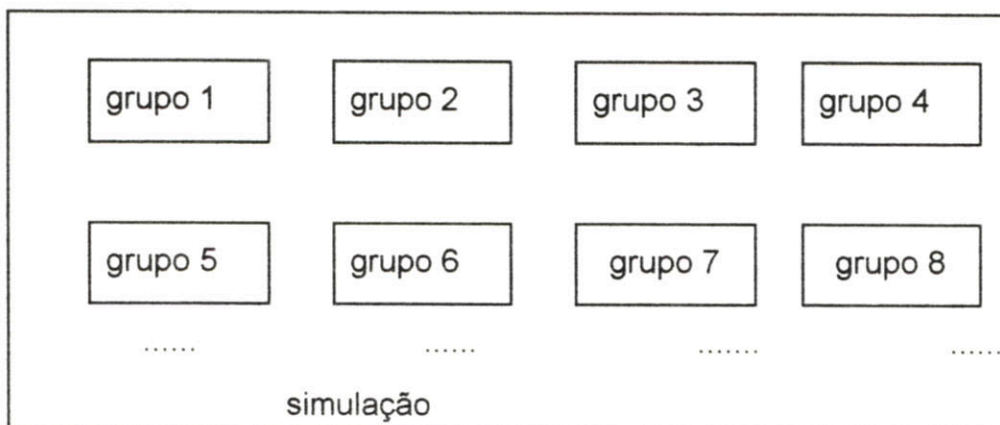


figura 6.2 - Análise de Grupos

Os dados filtrados são arquivados em um outro arquivo, por exemplo, "Tempo.Fil"

registra os dados filtrados do arquivo "Tempo.Dat".

Para o exemplo, o comando "FILTERS" é utilizado para executar o truncamento no ponto 3.000 minutos. O número de observações por grupo é ajustado a 1 inicialmente. Como resultado da filtragem dos dados, o comando "FILTERS" fornece o número total de grupos formados e o estado da covariância entre os grupos. Por exemplo, o número de grupos formados com uma observação por grupo é 800. É semelhante a 800 réplicas do modelo com uma observação cada para sistemas terminais.

(d) De posse dos dados filtrados registrados em um arquivo, o próximo passo é, através do processador de saída, gerar um correlograma destes novos dados.

O correlograma é um gráfico que examina a correlação, dependência das observações em um arquivo de saída.

No SIMAN, o comando "CORRELOGRAM" gera um correlograma para os dados contidos em um arquivo especificado.

O correlograma mostra o grau de correlação nos dados como uma função de sua separação relativa, chamado "comprimento do lag". Esta informação é usada para determinar o ponto no eixo horizontal onde a correlação entre as observações é zero.

De acordo com o correlograma mostrado na figura 6.3, o "comprimento do lag" correspondendo a uma correlação zero é 42.

(e) O tamanho de cada grupo de análise requerido para alcançar a independência dos dados é uma função da estrutura do correlograma. A regra de thumb estabelece que o tamanho do grupo deve ser no mínimo dez vezes o comprimento do lag para o qual a correlação é nula. No exemplo considerado, como o comprimento do lag é 42, o tamanho de cada grupo de análise é  $10 \times 42 = 420$  observações por grupo. Não há nenhum problema em ter grupos com maior número de observações do que o necessário para satisfazer a suposição de independência dos dados. Um compromisso razoável é dividir as observações de uma simples réplica dentro de 10 a 20 grupos. Este procedimento é adequado pois se o número de grupos for muito pequeno, a distribuição estatística t será maior do que o necessário diminuindo os graus de liberdade.

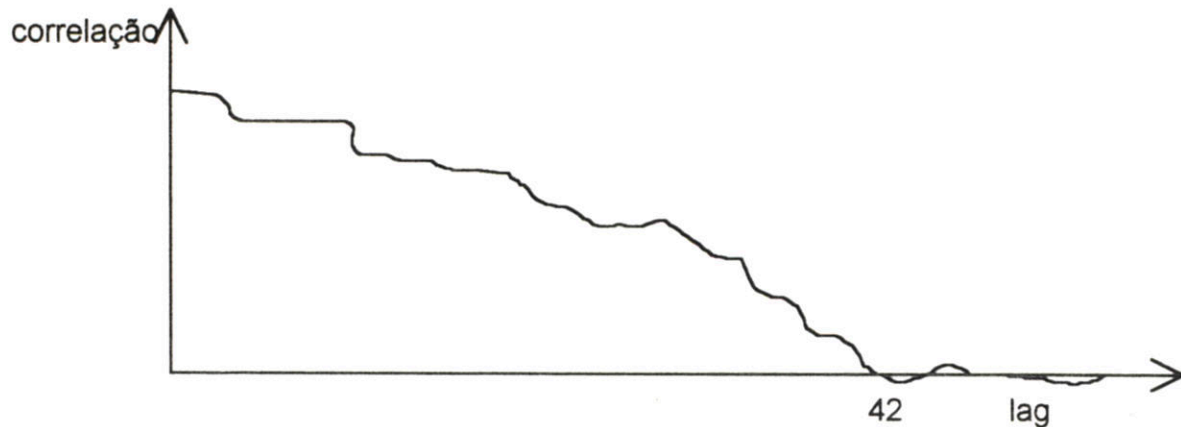


figura 6.3 - Correlograma

Passo 3 Executar novamente a simulação incluindo o período de "WarmUp" no elemento "REPLICATE" do experimento. Para o exemplo, o período de "WarmUp" é de 3.000 minutos. Quando o tempo de 3.000 for alcançado, o sistema passa para o regime permanente e todas as observações anteriores a este tempo, representando o regime transitório, serão descartadas. Assim, apenas as observações em regime permanente serão coletadas e analisadas.

(a) Determinar o tempo final de simulação. No exemplo, assumindo que o número de grupos de análise é 20, cada grupo com 420 observações, e que o intervalo de tempo entre chegadas das peças ao sistema é 10 minutos, pode-se calcular o tempo necessário para formar cada grupo:

$$(420 \text{ observações/grupo}) \times (10 \text{ min./observação}) = 4.200 \text{ min./grupo.}$$

Sabendo que o número de grupos é 20 e que o " WarmUp " é de 3.000 minutos então, o tempo final de simulação é dado por:

$$3.000 + 20 \times 4.200 = 87.000 \text{ minutos}$$

Pode-se escolher um tempo final de 90.000 minutos.

(b) Após a simulação, usar o comando "FILTERS" do processador de saída do SIMAN para filtrar novamente os dados, exceto que agora, para o exemplo considerado, o número de observações é ajustado em 420, ou seja, há 420 observações por grupo.

Se o comando "FILTERS" fornecer como resultado um número de grupos maior



do que 20, o processo de filtragem deve ser repetido com um maior número de observações por grupo. Por exemplo, em vez de 420 observações, pode-se escolher 450 observações por grupo. Com este procedimento, o número de grupos diminui.

(c) Após os dados serem agrupados, gerar intervalos de confiança. O valor médio do intervalo de confiança é a média de todos os valores médios dos 20 grupos considerados.

Passo 4: Se o intervalo de confiança gerado for grande demais, pode-se executar uma simulação com maior período de tempo mantendo o mesmo número de grupos mas aumentando o número de observações por grupo.

## 6.7 CONCLUSÃO.

O sistema *eliane* unidade V, dependendo da análise a ser realizada, pode ser classificado como um sistema não terminal, operando em três turnos e não possuindo condições iniciais fixadas, e como um sistema terminal, possuindo um evento de inicialização e um evento terminal.

Para um estudo completo de todo o processo, desde a prensa até a classificadeira, o sistema é não terminal, pois a fábrica opera continuamente. O forno está sempre operando, apesar das prensas pararem no fim do segundo turno.

Para um estudo sobre a estimação dos tempos de carregamento dos carros boxes, pode-se considerar que o sistema pertença a classe dos terminais, tendo em vista que as operações de carregamento de azulejos crus são realizadas apenas em dois turnos, possuindo uma condição inicial no início do primeiro turno e um evento de finalização no fim do segundo turno.

Desta forma, as duas metodologias desenvolvidas para análise dos resultados de uma simulação serão utilizadas para estimar índices de desempenho do sistema. As fases de teste e análise dos resultados do sistema *eliane* unidade V são realizadas no capítulo VII.

## CAPÍTULO VII

### TESTES, EXPERIMENTOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS

#### 7.1 INTRODUÇÃO

Com o modelo representando aproximadamente o comportamento do sistema real, ou seja, com um modelo validado, a próxima etapa é o desenvolvimento de um projeto experimental, a produção de "corridas" (execuções), e análise dos resultados de saída do modelo.

Análise dos resultados de saída refere-se a análise dos dados gerados pela simulação. A proposta destes resultados é prever o comportamento futuro do sistema ou comparar o desempenho de duas ou mais alternativas de projetos do sistema em estudo [BSC84].

Neste capítulo, será abordado um conjunto de testes realizados com o objetivo de estimar parâmetros do sistema *eliane* unidade V. A análise dos resultados obtidos com os testes realizados permite prever o comportamento do sistema em determinadas situações de interesse.

Para uma análise dos resultados obtidos, são aplicadas as duas metodologias descritas no capítulo VI.

A metodologia para sistemas terminais será aplicada para a estimação dos tempos de carregamento e descarregamento de carros boxes. A metodologia para sistemas não terminais será aplicada para estimar o tempo médio que um metro quadrado de azulejo permanece no sistema e os tempos médios de paradas das prensas no fim do segundo turno, ou seja, quanto tempo as prensas podem ficar paradas no terceiro turno.

Em conjunto com as estimações acima citadas, são fornecidas também outras estimações que permitem avaliar o comportamento do sistema no tempo tais como, o número médio de carros boxes carregados com crus e queimados, os tempos de manutenção dos equipamentos, o percentual de utilização dos transportes, o número médio de azulejos nos "buffers", etc.

## 7.2 ENTRADA DE DADOS / PROJETO EXPERIMENTAL

Para colher os resultados finais de um experimento, o projetista deve propor inicialmente que tipos de testes serão executados, quais as situações de interesse que devem ser analisadas. Estas questões refletem a necessidade de um projeto experimental afim de que os resultados no fim da simulação possam ser de interesse para uma tomada de decisão. Neste contexto, conclui-se que, tão importante quanto os resultados finais corretos é a importância destes resultados para avaliar o desempenho do sistema, ou seja, quais as aplicações destes resultados obtidos.

Com este propósito, o modelo de simulação *eliane* unidade V permite que o projetista ou usuário entre com os dados de interesse, com objetivo de avaliar o sistema com as condições estabelecidas inicialmente.

A entrada de dados do modelo da empresa *eliane* unidade V apresenta a seguinte estrutura:

```
-----  
----- PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO -----  
-----  
-----  
----- LINHA DE ESMALTAÇÃO I -----  
-----
```

### --- BITOLAS / REFERÊNCIAS :

- 1. 25X33 / Ref. A
- 2. 25x33 / Ref. B
- 3. 25X33 / Ref. C
- 4. 25x33 / Ref. D
- 5. 25x33 / Ref. E
- 6. 25X33 / Ref. F
- 7. 25x33 / Ref. G
- 8. 25X33 / Ref. H
- 9. 25x33 / Ref. I
- 10. 25x33 / Ref. J
- 11. 33x45 / Ref. A



- 12. 33x45 / Ref. B
- 13. 33x45 / Ref. C
- 14. 33x45 / Ref. D
- 15. 33x45 / Ref. E
- 16. 25X41 / Ref. A
- 17. 25X41 / Ref. B
- 18. 25X41 / Ref. C
- 19. 25X41 / Ref. D
- 20. 25X41 / Ref. E

--- SELECIONE O NÚMERO DE ORDENS :

----- PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO -----

-----

--- ESCALONAMENTO DAS ORDENS DE PRODUÇÃO ---

--- ORDEM DE PRODUÇÃO .

--- BITOLA / REFERÊNCIA :

--- PRODUÇÃO EM m2 :

--- BATIDAS DA PRENSA/MINUTO :

-----

-----

----- LINHA DE ESMALTAÇÃO II -----

-----

- 1. 25x33 / Ref. A
- 2. 25x33 / Ref. B
- 3. 25x33 / Ref. C
- 4. 25x33 / Ref. D
- 5. 25x33 / Ref. E
- 6. 25x33 / Ref. F
- 7. 25x33 / Ref. G
- 8. 25x33 / Ref. H
- 9. 25x33 / Ref. I
- 10. 25x33 / Ref. J
- 11. 33x45 / Ref. A

- 12. 33x45 / Ref. B
- 13. 33x45 / Ref. C
- 14. 33x45 / Ref. D
- 15. 33x45 / Ref. E
- 16. 25X41 / Ref. A
- 17. 25X41 / Ref. B
- 18. 25X41 / Ref. C
- 19. 25X41 / Ref. D
- 20. 25X41 / Ref. E

--- SELECIONE O NÚMERO DE ORDENS

----- PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO -----

-----

--- ESCALONAMENTO DAS ORDENS DE PRODUÇÃO ---

--- ORDEM DE PRODUÇÃO :

--- BITOLA / REFERÊNCIA :

--- PRODUÇÃO EM m<sup>2</sup>

--- BATIDAS DA PRENSA/MINUTO :

-----

--- OPÇÃO - CLASSIFICADEIRA 2 :

--- 1. ATIVADA

--- 2. DESATIVADA

Para cada linha de esmaltação, o projetista ou usuário planeja uma produção identificando:

- As ordens de produção, ou seja, o número de bitolas e/ou referências diferentes a serem produzidas.
- A seleção do tamanho dos azulejos (bitolas) e as referências (decorações) desejadas.

- A quantidade em metros quadrados de azulejos a serem produzidas para cada bitola e para cada referência.
- A opção da troca de esmalte para cada alteração de referência dos azulejos.
- O número de batidas das prensas que formam os azulejos.
- Selecionar uma segunda classificadeira.

Com estes dados de entrada, o projetista pode testar, por exemplo, o número de batidas das prensas, aumentando ou diminuindo o número de batidas afim de testar o comportamento das linhas de esmaltação e os tempos de carregamento de carros boxes, analisar os tempos de manutenção dos equipamentos para a troca de bitolas e/ou referências, estimar o tamanho do lote econômico de forma a reduzir os tempos de preparação ("setup"), etc. Por fim, pode-se verificar como o sistema se comporta quando é colocada uma segunda classificadeira e comparar os resultados do modelo com apenas uma classificadeira. Estes são alguns itens que podem ser avaliados com o modelo *eliante* unidade V, lembrando que pode-se ainda realizar uma avaliação de todas as linhas de carros boxes, fornos e classificadeira.

### **7.3 TESTE 1: ESTIMAÇÃO DOS TEMPOS DE CARREGAMENTO E DESCARREGAMENTO DE CARROS BOXES**

O primeiro teste realizado refere-se as estimações dos tempos de carregamento e descarregamento de carros boxes com azulejos crus ou queimados.

A metodologia aplicada para a estimação destes tempos foi a metodologia para análise de sistema terminais, gerando 5 simulações de 1440 minutos cada, representando cinco dias de operação.

A metodologia para análise de sistemas terminais foi escolhida pelo fato das observações de carregamento e descarregamento já serem observações independentes, ou seja, o tempo de carregamento de um carro boxe não afeta o tempo de carregamento do carro boxe seguinte, não havendo necessidade de uma análise de grupos (análise para sistemas não terminais) para verificar a correlação (dependência) das observações. Além disso, as condições iniciais não afetam a estimação destes parâmetros não sendo necessário a definição do "WarmUp" da simulação.



De acordo com esta metodologia, não há necessidade de filtrar os resultados pois as observações já são independentes.

Veja um conjunto de resultados fornecidos pelo SIMAN referentes aos tempos de carregamento e descarregamento de carros boxes. Para todos os testes realizados, as prensas tem um número de batidas fixado.

Para a bitola 25x33, a prensa apresenta 12.5 batidas/minuto.

Para a bitola 33x45, a prensa apresenta 9.5 batidas/minuto.

Para a bitola 25x41, a prensa apresenta 10.5 batidas/minuto.

LINHA DE ESMALTAÇÃO I - Azulejos 33X45

LINHA DE ESMALTAÇÃO II - Azulejos 25X33

### 1. COUNTERS - SIMULATION 1

Identifier	Count	Limit
Num_Batidas_Prensa1	3318	Infinite ( em m2)
Num_Batidas_Prensa2	0	Infinite
Num_Batidas_Prensa3	3136	Infinite
NumClasseA	1178	Infinite
NumClasseC	319	Infinite
NumQuebrados	76	Infinite

Para a primeira simulação, a prensa 1 bateu 3318 vezes, produzindo 3318 metros quadrados de azulejos. A prensa 2 não foi ativada e a prensa 3 bateu 3136 vezes produzindo 3136 metros quadrados de azulejos.

Na classificadeira, 1178 metros quadrados de azulejos são da classe A (especial), 319 da classe C (comercial) e 76 metros quadrados são quebrados.

### OUTPUTS

Identifier	Value
Tempo_Carrega_Cru1	21.085 minutos
Tempo_Carrega_Cru2	30.146 minutos
Tempo_Desc_Forno_A	47.867 minutos
Tempo_Desc_Forno_B	58.181 minutos

Tempo_Carrega_Q1	50.324 minutos
Tempo_Carrega_Q2	61.161 minutos
Tempo_Desc_Classif	14.717 minutos
Tempo_No_Sistema	734.87 minutos
Manut_Serigrafia_L1	1.2979 minutos
Manut_Serigrafia_L2	1.2881 minutos
Compenser_L1	6.8583 m2
Compenser_L2	.28390 m2
Buffer Maq.Carr2	.35132 m2
Buffer Maq.Carr1	8.4387 m2
Tempo_Forno_L1	63.698 minutos
Tempo_Forno_L2	67.760 minutos

Nesta primeira simulação, o tempo médio para carregar um carro boxe com azulejos 33x45 (tempo de carregamento de cru 1) foi de 21.085 minutos.

O tempo médio para carregar um carro boxe com azulejos 25x33 (tempo de carregamento de cru 2) foi de 30.146 minutos.

O tempo médio para descarregar azulejos 33x45 no forno A (Tempo\_Desc\_Forno\_A) foi de 47.867 minutos.

O tempo médio para descarregar os azulejos 25x33 no forno B (Tempo\_Desc\_Forno\_B) foi de 58.181 minutos.

O tempo médio para carregar azulejos queimados 33x45 (Tempo\_Carga\_Q1) foi de 50.324 minutos.

O tempo médio para carregar azulejos queimados 25x33 (Tempo\_Carga\_Q2) foi de 61.161 minutos.

O tempo médio para descarregar azulejos na classificadeira (Tempo\_Desc\_Classif) foi de 14.717 minutos.

O tempo médio que um metro quadrado de azulejo gastou dentro do sistema (Tempo\_No\_Sistema) foi de 734.87 minutos.

Os tempos médios de manutenção das serigráficas das linhas de esmaltação I e II (Manut\_Serigrafia\_L1 e Manut\_Serigrafia\_L2) são de 1.2979 e 1.2881 minutos respectivamente.

O número médio de azulejos nos compensers de 100 azulejos (compenser\_L1 e Compenser\_L2) nas linha de esmaltação I e II são de 6.8583 e 0.28390 metros quadrados respectivamente.

Por fim, os tempos médios nos fornos para os azulejos 33x45 e 25x33 são respectivamente de 63.698 minutos e 67.760 minutos.

Os resultados nas próximas simulações devem ser interpretados da mesma forma que analisado acima.

## 2. COUNTERS - SIMULATION 2

Identifier	Count	Limit
Num_Batidas_Prensa1	3344	Infinite ( em m2)
Num_Batidas_Prensa2	0	Infinite
Num_Batidas_Prensa3	3128	Infinite
NumClasseA	1137	Infinite
NumClasseC	333	Infinite
NumQuebrados	68	Infinite

### OUTPUTS

Identifier	Value
Tempo_Carrega_Cru1	21.085 minutos
Tempo_Carrega_Cru2	30.175 minutos
Tempo_Desc_Forno_A	47.863 minutos
Tempo_Desc_Forno_B	58.173 minutos
Tempo_Carrega_Q1	48.642 minutos
Tempo_Carrega_Q2	61.381 minutos
Tempo_Desc_Classif	29.812 minutos
Tempo_No_Sistema	734.56 minutos
Manut_Serigrafia_L1	1.2976 minutos
Manut_Serigrafia_L2	1.3427 minutos
Compenser_L1	6.7969 m2
Compenser_L2	.30702 m2
Buffer Maq.Carr2	.38096 m2
Buffer Maq.Carr1	8.4195 m2
Tempo_Forno_L1	63.698 minutos
Tempo_Forno_L2	67.763 minutos



**3. COUNTERS - SIMULATION 3**

Identifier	Count	Limit
Num_Batidas_Prensa1	3368	Infinite ( em m2)
Num_Batidas_Prensa2	0	Infinite
Num_Batidas_Prensa3	3124	Infinite
NumClasseA	1161	Infinite
NumClasseC	322	Infinite
NumQuebrados	91	Infinite

**OUTPUTS**

Identifier	Value
Tempo_Carrega_Cru1	21.085 minutos
Tempo_Carrega_Cru2	30.189 minutos
Tempo_Desc_Forno_A	47.867 minutos
Tempo_Desc_Forno_B	58.217 minutos
Tempo_Carrega_Q1	48.637 minutos
Tempo_Carrega_Q2	61.324 minutos
Tempo_Desc_Classif	29.495 minutos
Tempo_No_Sistema	737.96 minutos
Manut_Serigrafia_L1	1.3336 minutos
Manut_Serigrafia_L2	1.3825 minutos
Compenser_L1	6.7175 m2
Compenser_L2	.32690 m2
Buffer Maq.Carr2	.40894 m2
Buffer Maq.Carr1	8.4170 m2
Tempo_Forno_L1	63.697 minutos
Tempo_Forno_L2	67.757 minutos

**4. COUNTERS - SIMULATION 4**

Identifier	Count	Limit
Num_Batidas_Prensa1	3367	Infinite ( em m2)
Num_Batidas_Prensa2	0	Infinite
Num_Batidas_Prensa3	3122	Infinite
NumClasseA	316	Infinite
NumQuebrados	88	Infinite

**OUTPUTS**

Identifier	Value
Tempo_Carrega_Cru1	21.085 minutos

Tempo_Carrega_Cru2	30.270 minutos
Tempo_Desc_Forno_A	47.865 minutos
Tempo_Desc_Forno_B	58.184 minutos
Tempo_Carrega_Q1	48.635 minutos
Tempo_Carrega_Q2	61.335 minutos
Tempo_Desc_Classif	29.486 minutos
Tempo_No_Sistema	735.74 minutos
Manut_Serigrafia_L1	1.3386 minutos
Manut_Serigrafia_L2	1.3348 minutos
Compenser_L1	6.7240 m2
Compenser_L2	.31277 m2
Buffer Maq.Carr2	.38214 m2
Buffer Maq.Carr1	8.4330 m2
Tempo_Forno_L1	63.698 minutos
Tempo_Forno_L2	67.761 minutos

5. COUNTERS - SIMULATION 5

Identifier	Count	Limit
Num_Batidas_Prensa1	3365	Infinite ( em m2)
Num_Batidas_Prensa2	0	Infinite
Num_Batidas_Prensa3	3131	Infinite
NumClasseA	1156	Infinite
NumClasseC	335	Infinite
NumQuebrados	84	Infinite

OUTPUTS

Identifier	Value
Tempo_Carrega_Cru1	21.085 minutos
Tempo_Carrega_Cru2	30.115 minutos
Tempo_Desc_Forno_A	47.865 minutos
Tempo_Desc_Forno_B	58.203 minutos
Tempo_Carrega_Q1	48.640 minutos
Tempo_Carrega_Q2	61.373 minutos
Tempo_Desc_Classif	29.594 minutos
Tempo_No_Sistema	735.90 minutos
Manut_Serigrafia_L1	1.3235 minutos
Manut_Serigrafia_L2	1.3209 minutos
Compenser_L1	6.7463 m2
Compenser_L2	.28930 m2
Buffer Maq.Carr2	.39467 m2
Buffer Maq.Carr1	8.4074 m2
Tempo_Forno_L1	63.698 minutos
Tempo_Forno_L2	67.758 minutos

Considerando agora, que na linha de esmaltação I são produzidos os azulejos com bitola 25x41 e na linha de esmaltação II continua sendo produzidos os azulejos 25x33.

Deve-se interpretar os resultados da mesma forma que foi interpretado para a primeira simulação do primeiro teste.

LINHA DE ESMALTAÇÃO I - 25X41

LINHA DE ESMALTAÇÃO II - 25X33

### 1. COUNTERS - SIMULATIONS 1

Identifier	Count	Limit
Num_Batidas_Prensa1	3517	Infinite ( em m2)
Num_Batidas_Prensa2	0	Infinite
Num_Batidas_Prensa3	3137	Infinite
NumClasseA	1299	Infinite
NumClasseC	347	Infinite
NumQuebrados	82	Infinite

### OUTPUTS

Identifier	Value
Tempo_Carrega_Cru1	21.457 minutos
Tempo_Carrega_Cru2	30.113 minutos
Tempo_Desc_Forno_A	47.851 minutos
Tempo_Desc_Forno_B	58.181 minutos
Tempo_Carrega_Q1	53.728 minutos
Tempo_Carrega_Q2	61.264 minutos
Tempo_Desc_Classif	27.142 minutos
Tempo_No_Sistema	711.64 minutos
Manut_Serigrafia_L1	1.2979 minutos
Manut_Serigrafia_L2	1.2881 minutos
Compenser_L1	1.4588 m2
Compenser_L2	.29050 m2
Buffer Maq.Carr2	.36773 m2
Buffer Maq.Carr1	8.3960 m2
Tempo_Forno_L1	65.356 minutos
Tempo_Forno_L2	67.760 minutos



**2. COUNTERS - SIMULATION 2**

Identifier	Count	Limit
Num_Batidas_Prensa1	3513	Infinite ( em m2)
Num_Batidas_Prensa2	0	Infinite
Num_Batidas_Prensa3	3123	Infinite
NumClasseA	1268	Infinite
NumClasseC	383	Infinite
NumQuebrados	77	Infinite

**OUTPUTS**

Identifier	Value
Tempo_Carrega_Cru1	21.457 minutos
Tempo_Carrega_Cru2	30.186 minutos
Tempo_Desc_Forno_A	47.851 minutos
Tempo_Desc_Forno_B	58.195 minutos
Tempo_Carrega_Q1	53.727 minutos
Tempo_Carrega_Q2	61.263 minutos
Tempo_Desc_Classif	27.364 minutos
Tempo_No_Sistema	711.06 minutos
Manut_Serigrafia_L1	1.2976 minutos
Manut_Serigrafia_L2	1.3427 minutos
Compenser_L1	1.4666 m2
Compenser_L2	.31928 m2
Buffer Maq.Carr2	.42524 m2
Buffer Maq.Carr1	8.3973 m2
Tempo_Forno_L1	65.356 minutos
Tempo_Forno_L2	67.755 minuto

**3. COUNTERS - SIMULATION 3**

Identifier	Count	Limit
Num_Batidas_Prensa1	3496	Infinite ( em m2)
Num_Batidas_Prensa2	0	Infinite
Num_Batidas_Prensa3	3131	Infinite
NumClasseA	1266	Infinite
NumClasseC	346	Infinite
NumQuebrados	98	Infinite

## OUTPUTS

Identifier	Value
Tempo_Carrega_Cru1	21.457 minutos
Tempo_Carrega_Cru2	30.210 minutos
Tempo_Desc_Forno_A	47.856 minutos
Tempo_Desc_Forno_B	58.198 minutos
Tempo_Carrega_Q1	53.730 minutos
Tempo_Carrega_Q2	61.276 minutos
Tempo_Desc_Classif	28.284 minutos
Tempo_No_Sistema	710.55 minutos
Manut_Serigrafia_L1	1.3336 minutos
Manut_Serigrafia_L2	1.3825 minutos
Compenser_L1	1.5101 m2
Compenser_L2	.31851 m2
Buffer Maq.Carr2	.35268 m2
Buffer Maq.Carr1	8.3955 m2
Tempo_Forno_L1	65.357 minutos
Tempo_Forno_L2	67.347 minutos

## 4. COUNTERS - SIMULATION 4

Identifier	Count	Limit
Num_Batidas_Prensa1	3500	Infinite ( em m2)
Num_Batidas_Prensa2	0	Infinite
Num_Batidas_Prensa3	3116	Infinite
NumClasseA	1264	Infinite
NumClasseC	359	Infinite
NumQuebrados	94	Infinite

## OUTPUTS

Identifier	Value
Tempo_Carrega_Cru1	21.457 minutos
Tempo_Carrega_Cru2	30.406 minutos
Tempo_Desc_Forno_A	47.850 minutos
Tempo_Desc_Forno_B	58.195 minutos
Tempo_Carrega_Q1	53.739 minutos
Tempo_Carrega_Q2	61.262 minutos
Tempo_Desc_Classif	28.266 minutos
Tempo_No_Sistema	710.25 minutos
Manut_Serigrafia_L1	1.3386 minutos
Manut_Serigrafia_L2	1.3348 minutos
Compenser_L1	1.4912 m2

Compenser_L2	32962	m2
Buffer Maq.Carr2	.35857	m2
Buffer Maq.Carr1	8.3834	m2
Tempo_Forno_L1	67.755	minutos
Tempo_Forno_L2	67.357	minutos

## 5. COUNTERS - SIMULATION 5

Identifier	Count	Limit
Num_Batidas_Prensa1	3492	Infinite
Num_Batidas_Prensa2	0	Infinite
Num_Batidas_Prensa3	3134	Infinite
NumClasseA	1275	Infinite
NumClasseC	338	Infinite
NumQuebrados	91	Infinite

### OUTPUTS

Identifier	Value
Tempo_Carrega_Cru1	21.457 minutos
Tempo_Carrega_Cru2	30.109 minutos
Tempo_Desc_Forno_A	47.850 minutos
Tempo_Desc_Forno_B	58.202 minutos
Tempo_Carrega_Q1	53.728 minutos
Tempo_Carrega_Q2	61.271 minutos
Tempo_Desc_Classif	28.511 minutos
Tempo_No_Sistema	711.63 minutos
Manut_Serigrafia_L1	1.3235 minutos
Manut_Serigrafia_L2	1.3209 minutos
Compenser_L1	1.5182 m2
Compenser_L2	.27946 m2
Buffer Maq.Carr2	.37147 m2
Buffer Maq.Carr1	8.3721 m2
Tempo_Forno_L1	65.353 minutos
Tempo_Forno_L2	67.758 minutos

Na figura 7.1 é mostrado os intervalos de confiança da média dos tempos de carga e descarga de carros boxes. Como o intervalo de confiança é pequeno não há necessidade de executar mais simulações com o objetivo de diminuir este intervalo.



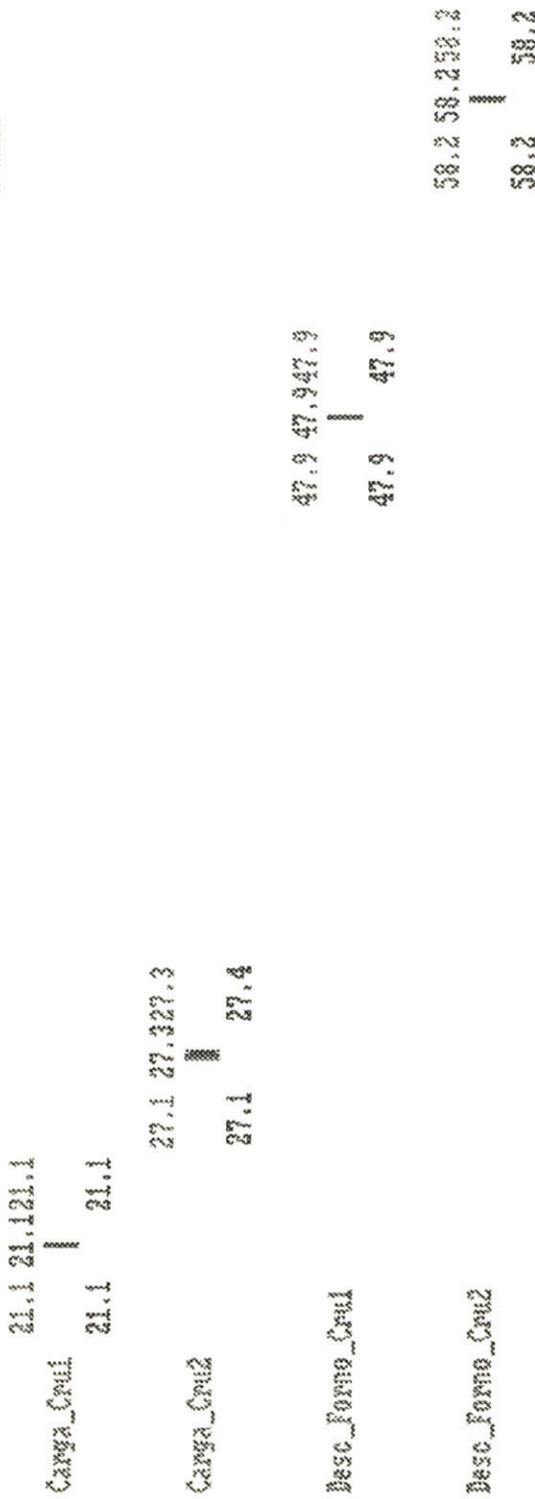
System Project Model Experiment Layout Input Output

Intervals

Options

MIN AUC MAX  
95% CI

OBSERVATION INTERVALS :



7.1 Intervalo de Confiança dos Tempos Médios de Carregamento e Descarregamento de Carros Boxes

#### 7.4 TESTE 2: ESTIMAÇÃO DOS TEMPOS NO SISTEMA

Para a estimação dos tempos que os azulejos gastam dentro do sistema, desde a prensa até a classificação final, é aplicada a metodologia para análise de sistemas não terminais. Esta metodologia é aplicada neste teste pois, para este caso, as observações são dependentes e as condições iniciais influenciam nos resultados, fazendo o sistema parecer melhor do que ele realmente é. O interesse aqui é estudar o sistema em regime permanente.

Se a metodologia para sistemas terminais fosse aplicada para este teste, haveria necessidade de executar um grande número de simulações por grandes períodos de tempo, tendo em vista a necessidade de se definir o "WarmUp" da simulação, tornando os testes custosos do ponto de vista do tempo necessário para a execução da simulação.

Para este experimento, os dados de entrada foram os seguintes:

1. Bitola 33x45 para a linha de esmaltação I.
2. Batidas da prensa 1 / minuto = 9.5.
3. Quantidade a ser produzida = 20000 metros quadrados da bitola 33x45.
4. Bitola 25x33 para a linha de esmaltação II.
5. Batidas da prensa 3 / minuto = 12.5.
6. Quantidade a ser produzida = 30000 metros quadrados da bitola 25x33.
7. Classificadeira 2 desativada.

Para a estimação dos tempos gastos no sistema adotou-se os seguintes passos:

- Assumiu-se inicialmente que o sistema é não terminal, não possuindo condição inicial fixada para a qual ele retorna.
- Uma simulação piloto foi executada com um tempo de 15000 minutos com objetivo de definir o "WarmUp" da simulação afim de que as observações coletadas no regime permanente possam ser eliminadas.



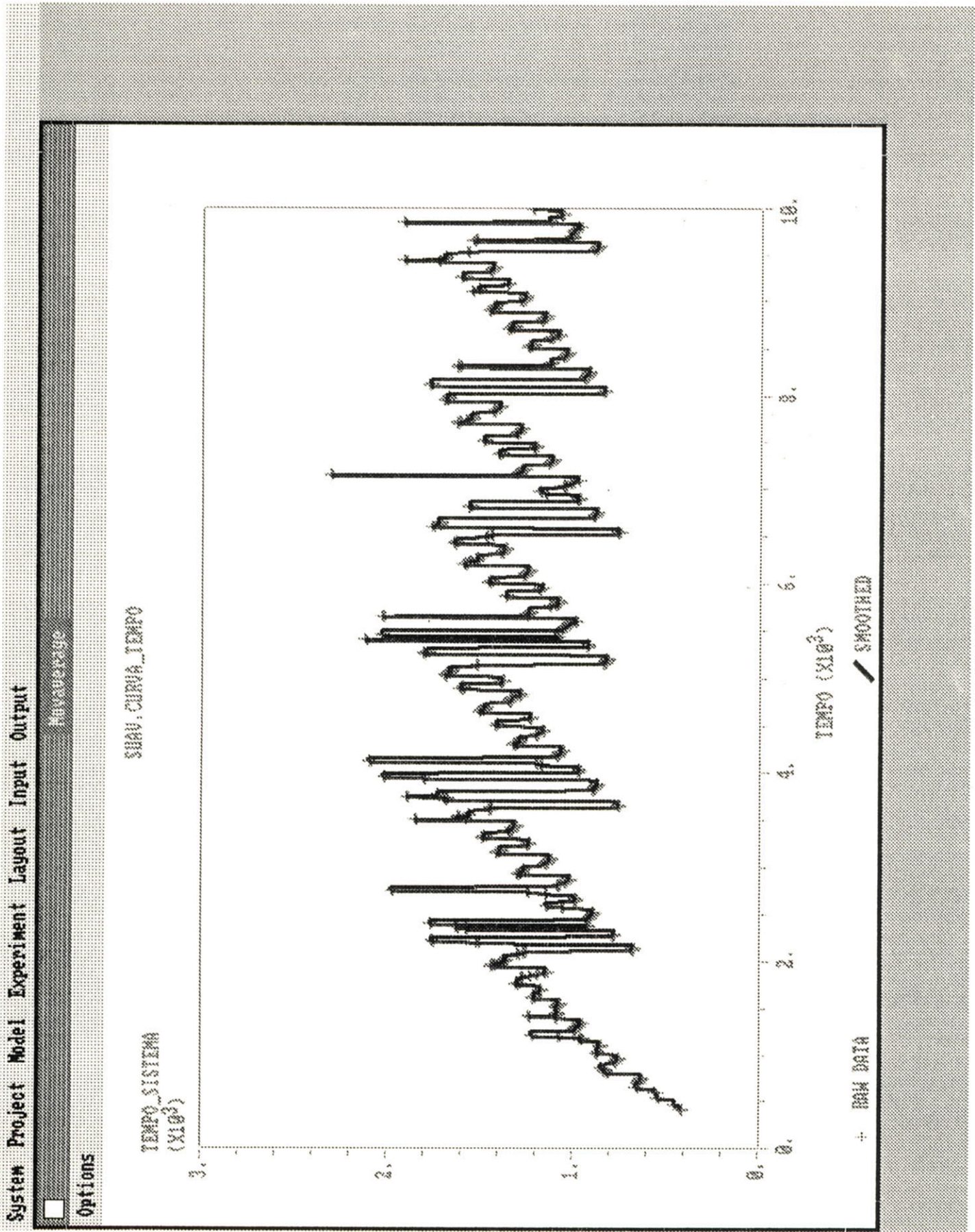
- O elemento "Tallies" no experimento foi colocado com objetivo de calcular o tempo médio que cada metro quadrado de azulejo gasta dentro do sistema.
- O comando "MovAverage" foi utilizado para selecionar o tempo de truncamento da simulação definindo o "WarmUp". O gráfico pode ser visto na figura 7.2. Neste gráfico é possível selecionar visualmente o tempo de truncamento  $t$ , onde o sistema entra em regime permanente. O tempo selecionado é de 4000 minutos, ou seja, o sistema leva 4000 minutos para entrar em regime permanente.
- Com o ponto de truncamento definido, o comando "Filters" é utilizado para filtrar os dados selecionando inicialmente um número de observações igual a 1 para cada grupo. O número de grupos fornecido pelo SIMAN foi de 97356 grupos de uma observação cada.
- Após a filtragem dos dados, um correlograma foi gerado com objetivo de verificar a correlação ou dependência das observações coletadas. Este correlograma é mostrado na figura 7.3. Com um "comprimento de lag" igual a 1000, as observações são aproximadamente independentes mostrando uma correlação igual a zero. De acordo com a regra de Thumb, o número de observações por grupo deve ser 10 vezes este valor encontrado. Assim, tem-se 10000 observações por grupo.
- Para estimar o tempo final de simulação realizou-se o seguinte cálculo:

Tempo por grupo = 10000 observações/grupo x 0.2339/2 minutos/observação = 1169 minutos/grupo. Desejando que o número de grupos seja igual a 20, semelhante a 20 simulações executadas, fez-se:

Tempo final = 4000 minutos (WarmUp) + 20 grupos x 1169 minutos/grupo = 27380 minutos. Escolheu-se 30000 minutos como tempo final de simulação.

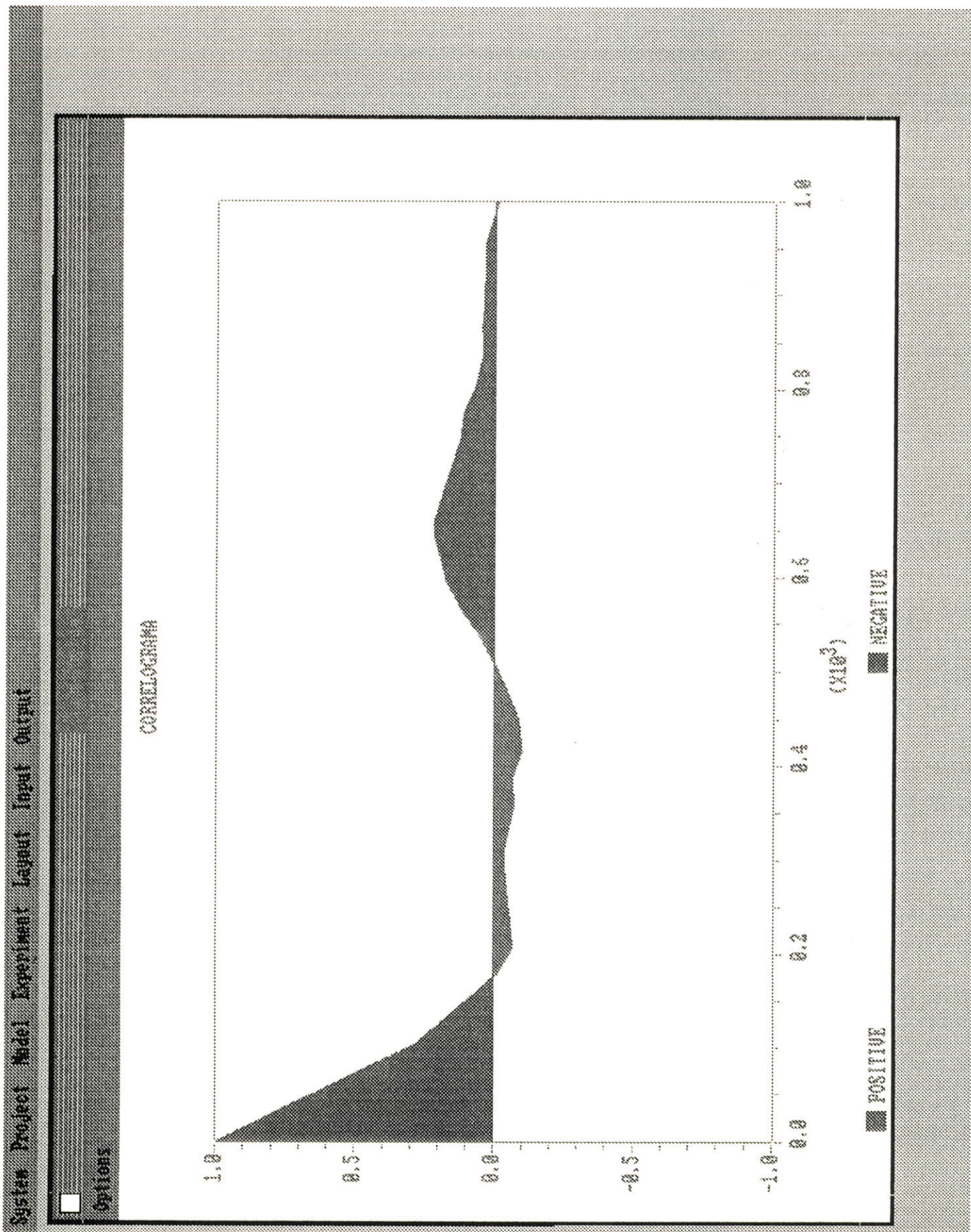
No final de 30000 minutos, os resultados foram novamente filtrados, mas, ao contrário de 1 observação por grupo, selecionou-se o valor encontrado de 10000 observações por grupo. O número de grupos formados fornecidos pelo SIMAN foi de 13, menor do que 20 desejado. Porém este número de grupos não foi alterado pois, para alcançar o valor de 20 grupos seria necessário diminuir o número de observações por grupo aumentando a correlação entre as observações.





7.2 "MOVAVERAGE" Para Selecionar Ponto de Truncamento





7.3 Correlograma

- Para análise dos resultados, foram gerados intervalos de confiança do tempo médio no sistema, veja figura 7.4, e histogramas para verificar o número médio de carros boxes carregados com crus nas linhas 11 e 12 da figura 1.1, figuras 7.5 e 7.6 respectivamente e carregados com queimados nas linhas 15 e 16 da figura 1.1, figuras 7.7 e 7.8 respectivamente.

A figura 7.4 mostra que o tempo médio gasto no sistema, desde a prensa até a classificação final foi de 1349 minutos, com um tempo mínimo de 706 e máximo de 2339 minutos.

Nos histogramas analisados, o eixo horizontal indica o número de carros boxes e o eixo vertical a frequência de ocorrência de cada intervalo considerado. Nestes histogramas, são mostradas as frequências de ocorrência do número de carros boxes nas linhas consideradas. Por exemplo, para o número de carros boxes carregados com azulejos crus na linha 11 (figura 1.1), e histograma na figura 7.6, a frequência de ocorrência do número de carros boxes entre 0 e 2 é maior do que a frequência de ocorrência do número de carros boxes entre 2 e 4, ou seja, é mais provável encontrar de 0 a 2 carros boxes do que encontrar de 2 a 4 carros boxes carregados com crus na linha 11, considerando o tempo de simulação analisado. Esta interpretação deve ser feita para os outros intervalos considerados.

A figura 7.7 mostra o histograma do número de carros boxes na linha 16 (figura 1.1), carregados com azulejos queimados. Neste histograma, é visível verificar que a frequência de carros boxes entre 4 e 6 é predominante, ou seja, na maior parte do tempo analisado, cerca de 85%, o número de carros boxes carregados com queimados na linha 16 esteve entre 4 e 6 carros boxes, 10% esteve entre 0 e 4, e 5% esteve entre 6 e 8 carros boxes. A análise é semelhante para outros histogramas.

- Em conjunto com estes resultados, são fornecidas estimações de vários parâmetros com objetivo de avaliar o comportamento do sistema *eliane* unidade V. Algumas destas estimações são mostradas no experimento seguinte.

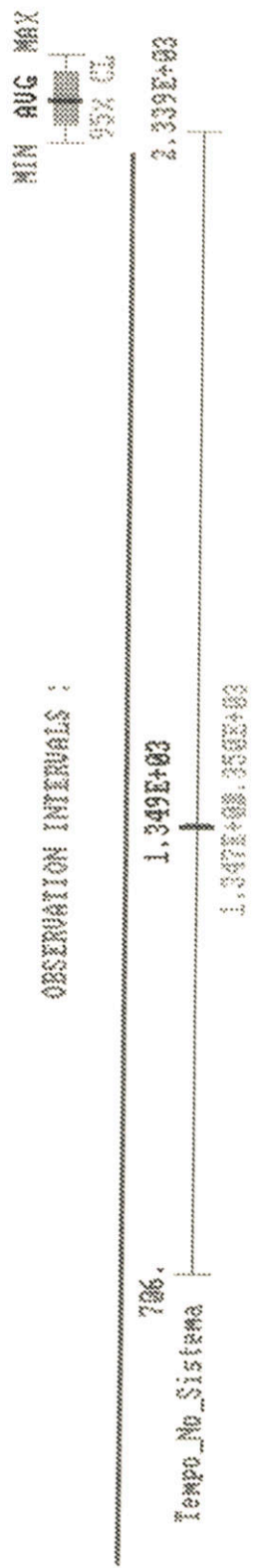
Neste experimento, considera-se uma troca de bitola na linha de esmaltação I passando da bitola 33x45 para a 25x41, enquanto que na linha de esmaltação II é produzida apenas a bitola 25x33.



System Project Model Experiment Layout Input Output

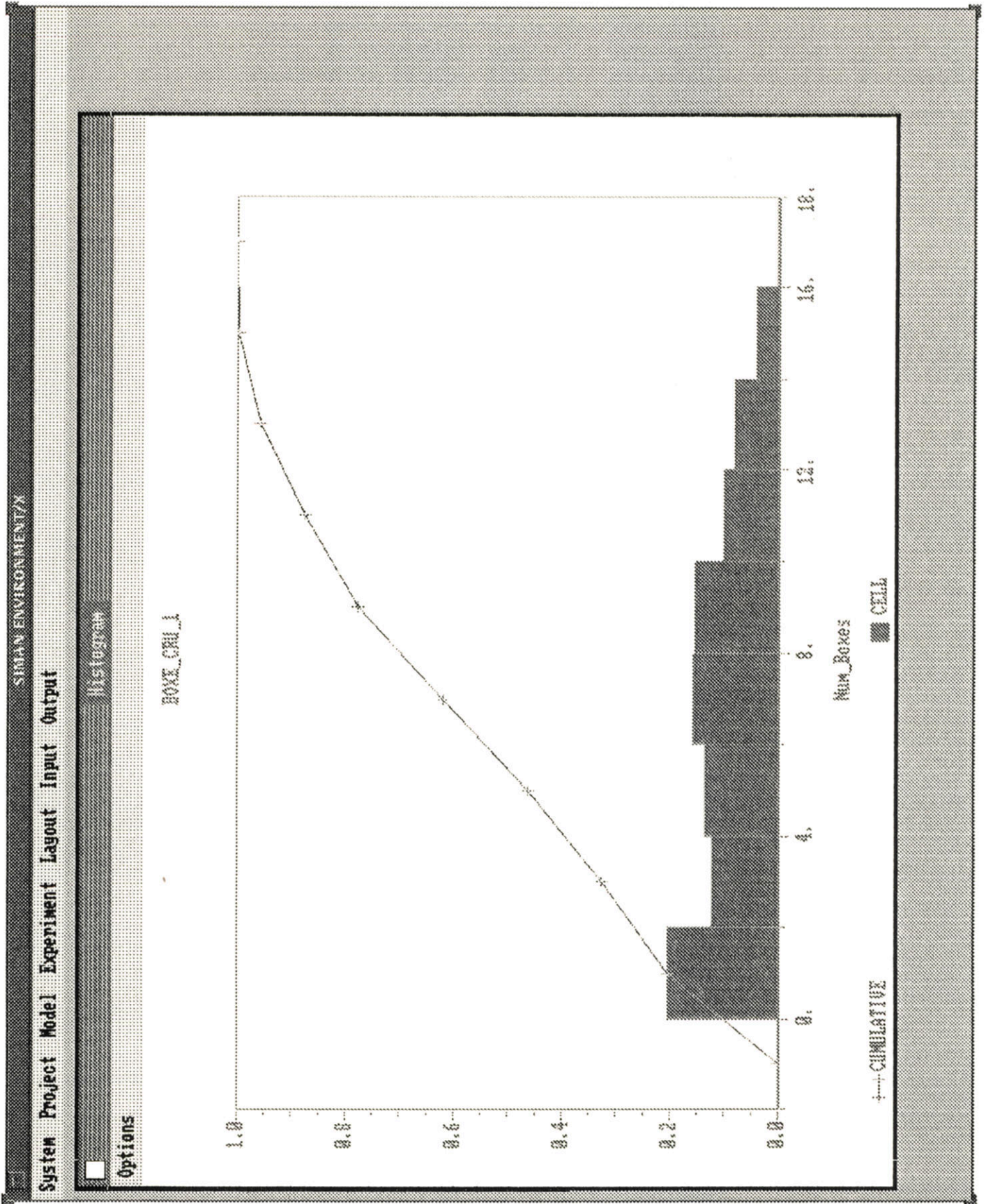
Intervals

Options



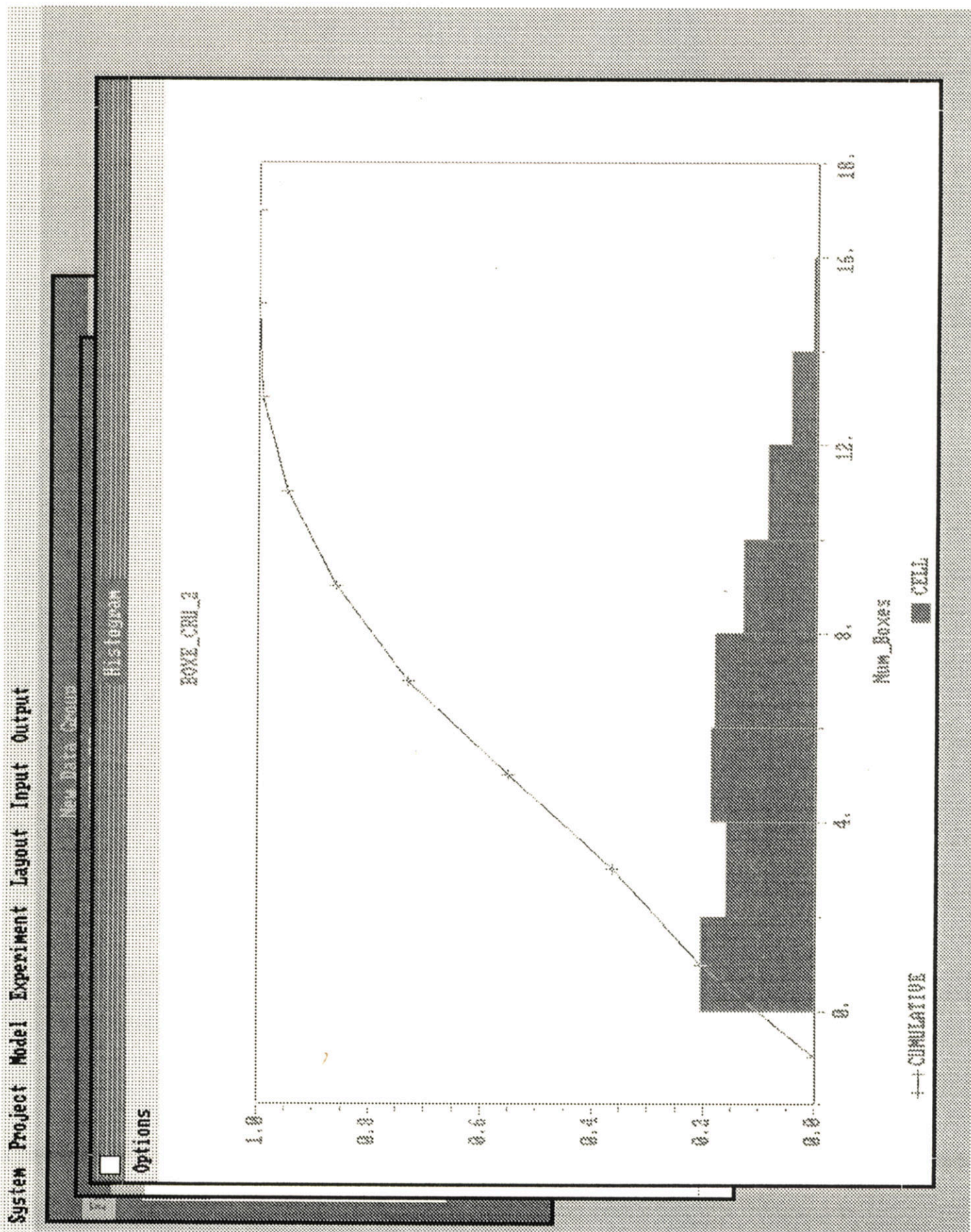
7.4 Intervalo de Confiança Para o Tempo Médio Gasto no Sistema





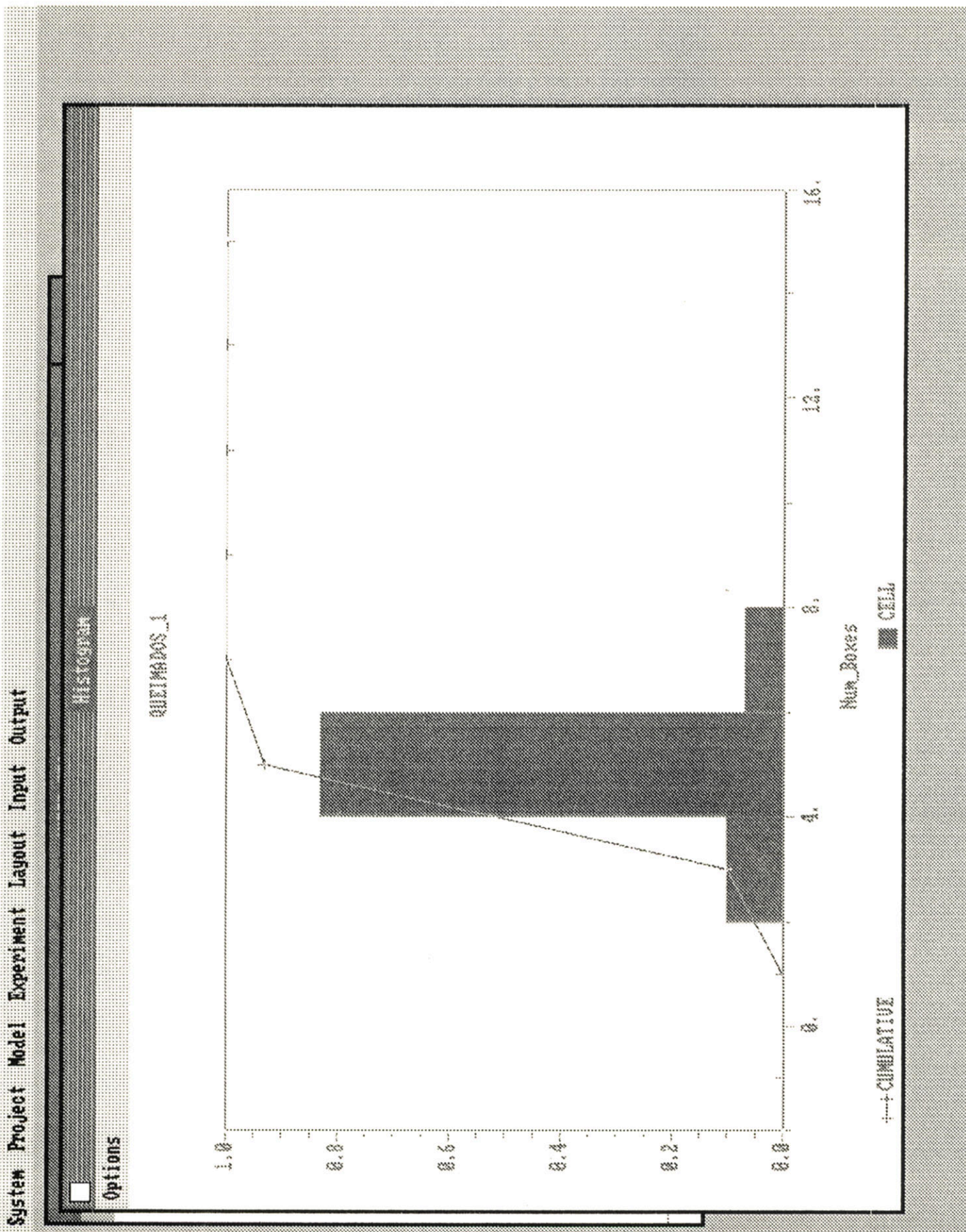
7.5 Histograma de Carros Boxes Carregados com Azulejos Crus da Linha de Esmaltação I





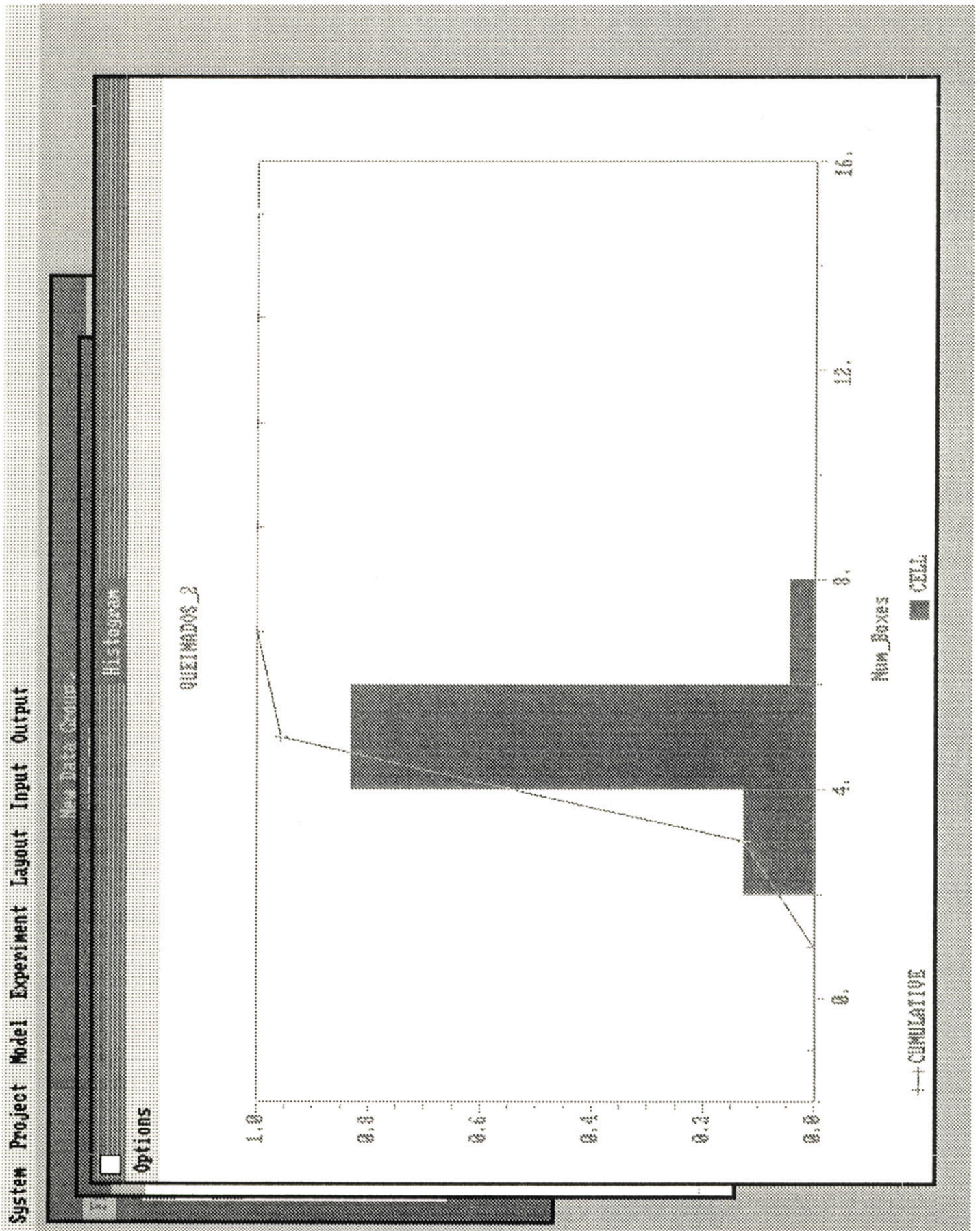
7.6 Histograma de Carros Boxes Carregados com Azulejos Crus da Linha de Esmaltação II





7.7 Histograma de Carros Boxes Carregados com Azulejos Queimados do Forno A





7.8 Histograma de Carros Boxes Carregados com Azulejos Queimados do Forno B

O tempo de simulação escolhido foi de 10000 minutos.

O capítulo III mostra como interpretar os resultados fornecidos no fim de um experimento de simulação pelo SIMAN.

#### TALLY VARIABLES - Tempos

Identifier	Average	Variation	Minimum	Maximum	Observations
Tempo_Serig1_L1	.28183	2.3786	.09961	23.930	16597
Tempo_Serig2_L1	.37392	1.9622	.09961	25.656	16601
Tempo_Serig3_L1	.33508	2.3065	.09961	27.286	16602
Manut_Serigrafia_L1	1.3277	.17059	.95166	1.6987	582
Tempo_Setup_L1	57.842	.00000	57.842	57.842	1
Tempo_Serig1_L2	.34248	17.337	.09961	310.12	15902
Tempo_Serig2_L2	.34289	17.370	.09961	311.51	15904
Tempo_Serig3_L2	.35135	17.017	.09961	312.07	15906
Manut_Serigrafia_L2	1.3362	.16197	.95410	1.6990	584
Tempo_Setup_L2	41.521	.00000	41.521	41.521	1
Tempo_Boxe_vazio1	23.285	.64240	10.288	60.087	160
Tempo_Boxe_Vazio2	26.136	.86373	18.580	140.37	160
Tempo_Boxe_Queimado_L1	204.47	.14621	164.47	307.42	178
Tempo_Boxe_Queimado_L2	234.94	.16682	154.31	370.45	153
Tempo_Forno_L1	64.615	.01464	62.819	66.188	17194
Tempo_Forno_L2	67.764	.00659	66.885	68.614	15966
Troca_Bit_FornoA	30.298	.00000	30.298	30.298	1
Troca_Bit_FornoB		--	--	--	0
Taxa_Azulejos_Classif1	.29269	6.6788	.13672	44.188	32753

- Tempo\_Serig\_\_L1 é o tempo nas serigráficas 1, 2 ou 3 da linha de esmaltação I.
- Manut\_Serigrafia\_L1 é o tempo de manutenção das serigráficas da linha de esmaltação I.
- Tempo\_Serig\_\_L2 é o tempo nas serigráficas 1, 2 ou 3 da linha de esmaltação II.
- Manut\_Serigrafia\_L2 é o tempo de manutenção das serigráficas da linha de esmaltação II.
- Tempo\_Boxe\_vazio1 é o tempo que o carro boxe fica vazio na linha 18. Figura 1.1.
- Tempo\_Boxe\_Vazio2 é o tempo que o carro boxe fica vazio na linha 10. Figura 1.1



- Tempo\_Boxe\_Queimado\_L1 é o tempo que o carro boxe fica carregado com queimados 1 na linha 16. Veja figura 1.1
- Tempo\_Boxe\_Queimado\_L2 é o tempo que o carro boxe fica carregado com queimados 2 na linha 15. Veja figura 1.1
- Tempo\_Forno\_L1 é o tempo gasto pelos azulejos no forno A.
- Tempo\_Forno\_L2 é o tempo gasto pelos azulejos no forno B.
- Troca\_Bit\_fornoA é referente aos tempo de "setup" na máquina descarregadora de azulejos crus para o forno A quando há uma troca de bitola.
- Taxa\_Azulejos\_Classif1 é a taxa de saída dos azulejos na classificação final.

Para cada uma destas variáveis são fornecidos: os tempos médios, a variação, o tempo mínimo e máximo, e o número de observações registradas. Por exemplo: Troca\_Bit\_FornoA, o tempo médio de "setup" foi de 30.298 minutos, com uma variação de .00000 minutos e um tempo mínimo e máximo foi de 30.298 minutos. A troca de bitola ocorreu apenas 1 vez.

#### DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier	Average	Variation	Minimum	Maximum	Final Value
Prensa 1 Util. %	36.197	1.3277	.00000	100.00	.00000
Prensa 2 Util. %	33.528	1.4081	.00000	100.00	.00000
Prensa 3 Util. %	99.918	.02861	.00000	100.00	100.00
Maq.Carrega 1 Util. %	46.245	1.0782	.00000	100.00	.00000
Maq.Carrega 2 Util. %	53.283	.93636	.00000	100.00	.00000
Compenser100_L1	.62691	2.5106	.00000	15.000	.00000
Boxes Carr.Cru_L1	1.8165	.22741	.00000	3.0000	2.0000
Boxes Carr.Cru_L2	8.4261	.72949	.00000	19.000	16.000
Num.Boxes Cru_L1	3.4489	.97735	.00000	14.000	.00000
Num.Boxes Cru_L2	7.7136	.46665	.00000	17.000	5.0000
Num.Boxes Vazio2	.43306	1.7005	.00000	5.0000	.00000

- Num.Boxe vazio2 é o número de carros boxes vazios na linha para novo carregamento de azulejos crus 2, linha 9. Veja figura 1.1
- Compenser100\_L1 é o compenser de 100 azulejos na linha de esmaltação I.

- Maq.Carrega 1 Util% registra o percentual de utilização da máquina carregadora de azulejos crus que saem da linha de esmaltação I.
- Boxes Carr.Cru\_L1 é o número de carros boxes na linha 1. Veja figura 1.1.
- Boxes Carr.Cru\_L2 é o número de carros boxes na linha 9. Veja figura 1.1.
- Num.Boxes Cru\_L1 é o número de carros boxes na linha 12. Veja figura 1.1.
- Num.Boxes Cru\_L2 é o número de carros boxes na linha 11. Veja figura 1.1.

#### INTERPRETANDO OS RESULTADOS:

- De acordo com os resultados fornecidos, a prensa 1 foi utilizada em torno de 36% do tempo total de simulação (10000), com uma variação de 1.3277%.
- A prensa 2 foi utilizada 33.528 % do tempo total, com uma variação de 1.4081%.
- A prensa 3 foi utilizada 99.918% do tempo, com uma variação de .02861%.

O baixo percentual de utilização da prensa 1 deve-se ao fato de que, na troca de bitola para a linha de esmaltação I, a prensa 1 foi desativada e a prensa 2 foi ativada para formar um novo tipo de azulejo (novo formato). Esta troca de prensa é feita para reduzir os tempos de preparação ou "setup" nas prensas.

Já na linha de esmaltação II, não houve troca de bitola, permanecendo a prensa 3 sempre ativa nos turnos de funcionamento.

- A máquina de carga cru 1 ficou em média 46.245% do tempo ocupada, ou seja, carregando um carro boxe.
- A máquina de carga cru 2 ficou em média 53.283 % do tempo ocupada.
- O compenser de capacidade de 100 azulejos da linha de esmaltação I teve em média .62691 metros quadrados de azulejos, com uma variação 2.5106 metros quadrados, um mínimo de .00000 (vazio) e um máximo 15.000 metros quadrados (carregado).
- Para o número de carros boxes na linha 1 (figura 1.1), o valor médio foi de 1.8165 carros boxes nesta linha durante o tempo de simulação, com uma variação de .22741 carros boxes, um mínimo de .00000 (sem carro boxe para carregamento), um valor

máximo de 3.0000 e no final da simulação há 2.0000 carros boxes nesta linha. Esta interpretação dos resultados deve ser feita para as outras linhas de carros boxes.

Estas estimações são fornecidas apenas como exemplo. Outros índices de desempenho podem ser colhidos durante a execução do modelo *eliane* unidade V, porém não foram analisados neste trabalho por interesses da empresa *eliane*.

## 7.5 TEMPOS MÉDIOS DE PARADA DAS PRENSAS

Como já analisado no sistema *eliane* unidade V, as prensas funcionam apenas em dois turnos enquanto que os fornos funcionam em três turnos. Uma questão importante a ser respondida é: quanto tempo uma prensa pode ficar parada no terceiro turno sem prejudicar a produção, ou seja, quanto que uma prensa deve produzir afim de que os fornos continuem sendo alimentados no terceiro turno. Esta questão é importante pelo fato que, uma parada em tempo correto das prensas mantém um certo equilíbrio de carros boxes carregados com azulejos crus, com queimados e evitando a falta de carros boxes vazios para carregamento no dia seguinte. Além disso, nas linhas de esmaltação, é onde há mais pessoas (técnicos) para acompanhar todo processo, desejando assim, que as prensas parem antes do fim do segundo turno.

Para estimar o tempos de paradas das prensas, uma abordagem iterativa foi realizada no sentido de alcançar um equilíbrio do número de carros boxes carregados com azulejos queimados e crus e carros boxes vazios. Vários testes foram realizados com este propósito.

Para a bitola 25x33, a prensa necessita produzir até 21 horas e 10 minutos aproximadamente e para a bitola 33x45 e 25x41, 18 horas e 15 minutos. Para estes valores estimados, conseguiu-se obter um equilíbrio do número de carros boxes, ou seja, os fornos continuaram sendo alimentados durante todo o terceiro turno e no início do primeiro turno carros boxes vazios já estavam disponíveis para novo carregamento de azulejos crus.

Para a estimação dos tempos de parada das prensas, levou-se em consideração alguns aspectos importantes:

- As linhas de esmaltação operam continuamente, sendo as operações interrompidas apenas para manutenção das serigráficas e para os tempos de "setup" nas trocas de bitolas e referências.



- As velocidades nas linhas de esmaltação são em média de 32 metros/minuto.
- Perdas nas linhas de esmaltação são desconsideradas.

Com estes aspectos, foi estimado um tempo médio de parada das prensas para cada tipo de bitola. Estes valores estimados são aproximativos.

Esta questão de tempos de paradas das prensas foi analisada considerando que a classificadeira funciona em três turnos. Com estes valores estimados, foi possível obter um certo equilíbrio do número de carros boxes carregados ou vazios dentro do sistema. Mesmo assim, as linhas de esmaltação ficam bloqueadas (paradas) por um certo intervalo de tempo devido a falta de carros boxes vazios nas linhas de carregamento, linhas 1 e 9 da figura 1.1.

Para a classificadeira funcionando em apenas dois turnos, há um excesso de carros boxes carregados com queimados em detrimento do número de carros boxes vazios. Com isso, as linhas de esmaltação ficam muito tempo bloqueadas pela falta de carros vazios. Neste caso, determinação dos tempos de paradas das prensas torna-se difícil, pois se os tempos de paradas das prensas diminuírem, faltará carros boxes vazios, por outro lado, se estes tempos de paradas aumentarem, faltará carros boxes carregados com cru para descarregamento nos fornos. Esta situação é provocada pelo grande acúmulo de carros boxes carregados com queimados. Com conclusão destes resultados, haveria necessidade de aumentar o número de carros boxes afim de que a classificadeira possa parar no terceiro turno.

Com um número de 50 carros boxes não é possível parar a classificadeira no terceiro turno, considerando os aspectos de funcionamento das linhas de esmaltação.

- ◆ A fase de testes, experimentação e análise dos resultados foi executada em um período de 10 dias.

## 7.6 CONCLUSÃO

Para este trabalho, apenas alguns testes foram realizados no sentido de exemplificar as etapas de testes e experimentações, e projeto experimental.

Tendo em vista a grande utilidade do modelo construído, inúmeros testes podem ser executados com propósito de avaliar o sistema.

Para análise dos resultados gerados pelos experimentos, as duas metodologias de análises de sistemas, terminais e não terminais, também foram aplicadas com objetivo de avaliar o sistema com diferentes critérios de análise.

Concluída a fase de testes, experimentação e análise dos resultados, a próxima etapa é a descrição dos resultados e a implementação. Esta fase de descrição dos resultados foi desenvolvida em um período de 20 dias, detalhando todo o problema a ser solucionado, o processo de construção do modelo e os testes executados com respectivas análises dos mesmos.

A fase de implementação não foi executada pois foge do objetivo deste trabalho.

## APÊNDICE A

### Variáveis e Funções do SIMAN Usadas no Modelo

- Atributos : M - Identifica a estação da entidade

- Variáveis:

Conveyors: ICS(Nconv) - " Status" do conveyor Nconv

( 0 = vazio,

1 = movendo,

2 = bloqueado,

3 = inativo).

NEA(Nconv) - Número de entidades acumuladas  
sobre o conveyor Nconv.

NEC(Nconv) - Número de entidades sendo  
transportadas sobre o conveyor

Nconv.

- Filas: NQ(Nfila) - Número de entidades na fila

Nfila.

- Recursos: NR(Nrec) - Número de unidades ocupadas do  
recurso Nrec.

- Réplicas: MREP - Número de réplicas a serem  
executadas.

TFIN - Tempo final da simulação.



TNOW - Tempo de simulação corrente.

- Estatística: DAVG(Ndst) - Valor médio do dstats Ndst.

DSTD(Ndst) - Desvio padrão do dstats Ndst.

NC(NCont) - Valor corrente do contador

Ncont.

TAVG(Ntal) - Valor médio do tally Ntal.

TSTD(Ntal) - Desvio padrão do tally Ntal.

- Transportes: NT(NTra) - Número de unidades ocupadas do

transporte Ntra.

## APÊNDICE B

### Blocos do SIMAN Usados no Modelo.

- ACCESS:CnvNome, Qty;  
CnvNome - Nome do conveyor a ser acessado.  
Qty - Número de células requeridas sobre o conveyor.
- ALTER:ResNome,Qty;  
Repete;  
ResNome - Nome do recurso para alterar capacidade.  
Qty - Número de unidades do recurso alteradas.
- ASSIGN:Variável = Valor;  
Repete;  
Variável - Variáveis ou atributos  
Valor - Valor a ser associado.
- BRANCH,Maxt,Fluxo:  
IF, Condição, label:  
WITH, Probabilidade, label:  
ELSE, label:  
ALWAYS, label;  
Maxt - Número máximo de "branches" (caminhos) a serem tomados  
Fluxo - Número do elemento "SEED" do experimento, usado com a regra "WITH".  
Condição - Condição do "branch".  
Probabilidade - Probabilidade do "branch".  
Label - "Label" ou rótulo do bloco para o qual a entidade será direcionada.
- COMBINE:Qty,SCrit;  
Qty - Número de entidades a serem combinadas.  
SCrit - Atributo da entidade combinada [FIRST, LAST,PRODUCT,SUM].
- CONVEY:CnvNome,Dest;  
CnvNome - Nome do conveyor.  
Dest - Nome da Estação (destino).
- COUNT:ContaId,Incr;

ContaId - Nome ou número do contador.  
Incr - Incremento do contador.

- CREATE:Tamanho,Offset:Intervalo,MaxEnt;

Tamanho - Número de entidades criadas a cada intervalo de tempo.  
Offset - Intervalo de tempo entre o começo da simulação e primeira criação de entidades.  
Intervalo - Tempo entre a criação de entidades.  
MaxEnt - Número máximo de entidades que podem ser criadas.

- DELAY:Duração,StorId;

Duração - Comprimento do tempo ( delay ).  
StorId - Identificador do acumulador (storage).

- DUPLICATE:Qty,Label:  
Repete;

Qty - Número de entidades duplicadas a serem criadas.  
Label - " label " ou rótulo para onde as entidades criadas são direcionadas.

- EXIT:CnvNome,Qty;

CnvNome - Nome do conveyor a ser liberado.  
Qty - Quantidade de células liberadas.

- FREE:TrNome;

TrNome - Nome do transporte liberado.

- MATCH,Attr:FilaLabel,DestLabel:  
Repete;

Attr - Atributo sobre o qual ocorre o " match ".  
FilaLabel - Fila com o modificador " detach " onde a entidade reside.  
destLabel - destino da entidade.

O modificador " detach " pára o fluxo da entidade na fila. Este modificador só pode ser usado nas filas.

- QUEUE,QNome,Capacidade,Qlabel;

QNome - Nome da fila.  
Capacidade - Capacidade da fila.  
Qlabel - Se a capacidade está lotada, a entidade é enviada para Qlabel.



- RELEASE:ResNome,Qty;  
  Repete;  
  
  ResNome - Nome do recurso a ser liberado.  
  Qty - Número de unidades liberadas.
- REMOVE:Pos,FilaId,Label;  
  
  Pos - " Rank " ou posição da entidade a ser removida.  
  FilaId - Número ou nome da fila da qual a entidade é removida.  
  Label - " Label " ou rótulo para onde a entidade removida é enviada.
- REQUEST,Pr:StorId,TrNome,Vel,LocEnt;  
  
  Pr - Prioridade de pedido de transporte.  
  StorId - Identificador do acumulador (storage).  
  TrNome - Nome do Transporte sendo requisitado.  
  Vel - Velocidade do transporte requisitado.  
  LocEnt - Nome ou número da estação da entidade que requisita o transporte.
- SCAN:Condição;  
  
  Condição - Verifica condição.
- SEIZE,Pr:ResNome,Qty;  
  Repete;  
  
  Pr - Prioridade para alocar recurso.  
  ResNome - Nome do recurso.  
  Qty - Número de unidades alocadas.
- SIGNAL:Código,Limite;  
  
  Código - Código do sinal enviado.  
  Limite - Número de entidades liberadas.
- START:CnvNome,Vel;  
  
  CnvNome - Nome do Conveyor a ser ativado.  
  Vel - Velocidade do conveyor.
- STATION:StaIdInit-StaIdFim;  
  
  StaIdInit - Nome da estação inicial de uma seqüência de estações.  
  StaIdFim - Nome da estação final de uma seqüência de estações.
- STOP: CVnNome;

CvnNome - Nome do conveyor a ser desativado.

- TALLY:TallyId,Valor;
  - TallyId - Identificador do tally para registrar as variáveis (nome ou número).
  - Valor - Valor registrado [INTERVAL(atributo) BETWEEN(variável)].
  
- TRANSPORT:TrNome,Dest,Vel;
  - TrNome - Nome do transporte.
  - Dest - Nome da estação ( destino ).
  - Vel - Velocidade do transporte.
  
- WAIT:Código,limite;
  - Código - Código do sinal.
  - Limite - Número máximo de entidades a serem liberadas deste bloco quando o código do sinal é recebido.

## APÊNDICE C

### Elementos do Experimento do SIMAN Usados no Modelo

- **ARRIVALS:** Número, Tipo, Tempo, Qty, ValorAttr:  
Repete;  
  
Número - Número do elemento " ARRIVAL "  
Tipo - Tipo de Chegada: STATION(Stald),  
QUEUE(FilaId),  
BLOCK(BlocoId),  
EVENT(NumEvento).  
Tempo - Tempo de ocorrência da chegada de entidades.  
Qty - Número de entidades que chegam.  
ValorAttr - Valores dos atributos das entidades.
- **ATTRIBUTES:** Número, Nome, Valor, ...:  
Repete;  
  
Número - Número do atributo.  
Nome - Nome do atributo.  
Valor - Valor inicial do atributo.
- **CONVEYORS:** Número, Nome, NumSegmento, Vel, TamCel, Status, MaxPorEnt,  
Tipo, CompAcc:  
Repete;  
  
Número - Número do conveyor.  
Nome - Nome do conveyor.  
NumSegmento - Número do segmento que contém as  
distâncias entre as estações ligadas pelo conveyor.  
Vel - Velocidade do conveyor.  
TamCel - Comprimento de cada célula do conveyor.  
Status - " Status " inicial do conveyor [ Ativo ], [ Inativo ].  
MaxPorEnt - Número máximo de células ocupadas por qualquer entidade.  
Tipo - Tipo do conveyor [ Acumulação ], [ Não-acumulação ]  
CompAcc - Comprimento de acumulação de uma entidade.
- **COUNTERS:** Número, Nome, Limite, InitOp, Arquivo:  
Repete;  
  
Número - Número do contador.  
Nome - Nome do contador.



- Limite - Limite de contagem.
- InitOp - Inicializa contador entre réplicas de simulação [Sim],[Não].
- Arquivo - Arquivo de saída.
  
- DISTANCES:Número,StaIdInit-StaIdFim,  $D_{i,i+1}, \dots, D_{i,j} / \dots / D_{j-1,i}$ :  
Repete;  
  
Número - Número do conjunto de distâncias.  
StaIdInit - Estação inicial.  
StaIdFim - Estação Final.  
 $D_{i,j}$  - Distâncias entre as estações.
  
- DSTATS:Número,Expressão,Nome,Arquivo:  
Repete;  
  
Número - Número do Dstats.  
Espressão - Expressão do SIMAN para avaliação estatística [ NR( ),NQ( ),NEC( ), etc].  
Nome - Nome do Dstats.  
Arquivo - Arquivo de saída.
  
- LAYOUTS:Arquivo,AttrAnima,Escala,TempoR,Tecla:  
Repete;  
  
Arquivo - Nome do aquivo ( CINEMA ).  
AttrAnima - Atributo de animação da entidade.  
Escala - Tempo simulado entre as atualizações da animação ( vídeo ).  
TempoR - Tempo real entre as atualizações da animação ( vídeo ).  
Tecla - Tecla para chamar " Layout " durante a execução da simulação.
  
- OUTPUTS:Número,Expressão,Arquivo:  
Repete;  
  
Número - Número do elemento " OUTPUT ".  
Expressão - Expressão do SIMAN a ser registrada.  
Arquivo - Arquivo de saída.
  
- PROJECT:Título,Analista,Data;  
  
Título - Título do trabalho.  
Analista - Nome do analista.  
Data - Data na forma de: dia/mês/ano.
  
- QUEUES:Número,Nome,Ranking:  
Repete;

Número - Número da fila.  
Nome - Nome da fila.  
Ranking - Critério de " Ranking " [ FIFO, LIFO, HVF(Atributo), LVF(Atributo)].  
HVF = High Value First.  
LVF = Low Value First.

- REPLICATE: NumRep, TempoInit, TempoFim, InitSist, InitStat, WarmUp.

NumRep - Número de réplicas de simulação a serem executadas.  
TempoInit - Tempo inicial de simulação.  
TempoFim - Tempo final de simulação.  
InitSist - Inicializa sistema entre réplicas [Sim],[Não].  
InisSta - Descarta observações anteriores entre as réplicas [Sim],[Não].  
WarmUp - Tempo de preparação do sistema para alcançar o regime permanente.

- RESOURCES: Número, Nome, Capacidade, ...:  
Repete;

Número - Número do recurso.  
Nome - Nome do recurso.  
capacidade - Capacidade do recurso.

- SCHEDULES: Número, Capacidade\*Duração, ...:  
Repete;

Número - Número do elemento "SCHEDULES".  
Capacidade - Capacidade do recurso.  
Duração - Duração da capacidade.

- SEEDS: Fluxo, Semente, InitOp:  
Repete;

Fluxo - Número do fluxo a ser inicializado.  
Semente - Valor da semente inicial.  
InitOp - Reinicializa fluxo entre réplicas[Sim,Não,Comum,Aritmético].

- SEGMENTS: Número, StaIdInit, ProxStaId-Distância, ...:  
Repete;

Número - Número do conjunto de distâncias entre as estações.  
StaIdInit - Estação inicial.  
ProxStaId - Próxima estação.  
Distância - Distância entre as estações.

- STATIONS: Número, Nome:  
Repete;  
  
Número - Número da estação.  
Nome - Nome da estação.
- STORAGES: Número, Nome:  
Repete;  
  
Número - Número do acumulador ( storage )  
Nome - Nome do acumulador ( storage ).
- TALLIES: Número, Nome, Arquivo:  
Repete;  
  
Número - Número do Tally.  
Nome - Nome do Tally.  
Arquivo - Arquivo de saída.
- TRACE: TempoInit, TempoFim, Condição, Expressão, ...;  
  
TempoInit - Tempo para iniciar o comando "TRACE".  
TempoFim - Tempo para terminar o comando "TRACE".  
Condição - Condição lógica do " TRACE ".  
Expressão - Expressão do SIMAN para utilizar com o comando " TRACE ".
- TRANSPORTERS: Número, Nome, NumUnid, Map, Vel, Pos-Status;  
  
Número - Número do transporte.  
Nome - Nome do transporte.  
NumUnid - Número de unidades do transporte.  
Map - Número do elemento " DISTANCES".  
Vel - Velocidade do transporte.  
Pos - Posição inicial do transporte.  
Status - " Status " inicial. [ Ativo ], [ Inativo ].
- VARIABLES: Número, Nome, Valor, ...:  
Repete;  
  
Número - Número da variável.  
Nome - Nome da variável.  
Valor - Valor da variável.



## CONCLUSÃO

Como proposta para avaliação de desempenho de sistemas, o método de simulação foi selecionado para solucionar o problema de modelagem e avaliação de desempenho da empresa *eliane* unidade de produção V, tendo em vista a complexidade do processo de revestimentos cerâmicos.

Com uma análise detalhada, o problema foi definido, os objetivos traçados e o modelo de simulação construído afim de solucionar este problema e alcançar a meta: avaliar o desempenho do sistema *eliane* unidade V através de índices ou medidas de interesse.

Para a construção deste modelo de simulação, partiu-se inicialmente do problema a ser solucionado e os objetivos a serem alcançados. Com estas questões definidas, construiu-se um modelo de simulação usando uma linguagem específica de simulação, o SIMAN, em conjunto com a animação do processo utilizando o pacote gráfico CINEMA.

Construído, o modelo foi verificado e comparado ao sistema real. Esta comparação foi realizada por engenheiros da fábrica *eliane* propondo alterações na lógica do modelo com objetivo de aproximar mais este modelo do sistema real.

Com o modelo validado representando aproximadamente o sistema real *eliane* unidade V em determinados níveis de detalhes, um conjunto de testes foi executado com objetivo de estimar os primeiros parâmetros de desempenho do sistema.

Por interesses dos engenheiros da *eliane* unidade V e o pouco tempo para a execução de testes mais apurados, apenas alguns parâmetros foram analisados: Os tempos de carregamento e descarregamento de carros boxes, os tempos no sistema e a estimação dos tempos de paradas das prensas no fim do segundo turno, adotando uma reflexão sobre os resultados colhidos no fim de um experimento. A questão da classificadeira também foi colocada sucintamente como parte do problema para estimar os tempos de paradas das prensa.

## PERSPECTIVAS

Devido a grande utilidade do modelo de simulação da empresa *eliane* unidade V, este projeto continuará a ser desenvolvido em conjunto com a empresa *eliane*. Neste sentido, as fases de testes e experimentações serão as fases mais desenvolvidas pois, o objetivo agora é testar e realizar experimentações sobre o modelo com o propósito de estudar o sistema, seja pela alteração do "layout" físico ou seja pela alteração de regras de produção, garantindo baixos custos nos testes realizados, segurança e facilidade.

Com este modelo de simulação poderá se realizar novos experimentos e testes, entre eles:

- Testar novas configurações do sistema implementando novas linhas para os carros boxes.
- Testar a implementação de uma segunda classificadeira e avaliar os resultados comparando com o desempenho do sistema com apenas uma classificadeira.
- Determinar o número adequado de carros boxes com a finalidade de evitar a falta de carros boxes vazios e os congestionamentos advindos do excesso destes carros.
- Determinar gargalos de produção.
- Alterar estratégias de produção.
- Determinar o tamanho do lote econômico de forma a reduzir os tempos de "setup".
- Analisar fluxos de produção.
- Prever comportamento futuro.
- Aplicações em "on line", entre outras.

O modelo desenvolvido pode ser aplicado para realizar todos estes testes com objetivo de obter uma resposta as questões levantadas sobre o desempenho do sistema *eliane* unidade V.

## Referências Bibliográficas

[PSS90], Pegden, C. Dennis, Robert E. SHANNON, Randall P. SADOWSKI, Introduction to Simulation Using SIMAN, 1990.

[Sim89], System Modelling Corporation, SIMAN IV Reference Guide, 1989.

[Sim9091], System Modelling Corporation, Introduction to Simulation with SIMAN, 1990, 1991.

[Bin93], BING, Wu Xiao, Relatório Técnico - A Guide to SIMAN/CINEMA, 1993.

[Cin90], System Modelling Corporation, CINEMA IV Reference Guide, 1990.

[BSC84], Banks, Jerry, John S. CARSON, II, Discrete-Event System Simulation, 1984.

[CAS93], CASSANDRAS, Christos G., Discrete Event Systems Modeling and Performance Analysis, 1993