

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

*Eduardo Cerqueira da Fonseca*

**AVALIAÇÃO DOS TEMPOS E CUSTOS IMPRODUTIVOS  
EM USINAGEM PESADA**

Dissertação submetida ao Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção como requisito parcial à obtenção do título de *Mestre em Ciências em Engenharia de Produção*.

*Orientador: Prof. Dr. João Roberto Ferreira*

*Itajubá, maio de 2006*

FONSECA, Eduardo Cerqueira da. *Avaliação dos tempos e custos improdutivos em um departamento de usinagem pesada*. Itajubá: UNIFEI, 2006. 139p. (Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Itajubá).

Palavras-Chaves: Tempos improdutivos – Custos improdutivos – Usinagem pesada – Simulação – Análise de regressão.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

*Eduardo Cerqueira da Fonseca*

**AVALIAÇÃO DOS TEMPOS E CUSTOS IMPRODUTIVOS  
EM USINAGEM PESADA**

Dissertação aprovada em 18 de maio de 2006,  
conferindo ao autor o título de *Mestre em  
Ciências em Engenharia de Produção*.

***Banca Examinadora:***

*Prof. Dr. João Roberto Ferreira (orientador) – UNIFEI*

*Prof. Dr. Nivaldo Lemos Coppini (1º examinador) - UNIMEP*

*Prof. Dr. José Arnaldo Barra Montevechi (2º examinador) - UNIFEI*



Dedicado a meus pais, Ana Maria e Jorge:  
Por acreditar no futuro de seus filhos.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à minha família, por me ensinar o valor da educação e à minha esposa, Ana Paula, pelo amor, paciência e dedicação. Ao professor João Roberto Ferreira, pela orientação, serenidade e por sempre acreditar no valor deste trabalho.

Aos engenheiros Clayton Borges, Augusto Ferreira e José Roberto Pires, por seu apoio, amizade e liderança. Aos operadores da usinagem pesada: Hilton, Prado, Fernando, Odair, Luis Fernando, Machado, Pavanetti, Albino e Pazzini. Obrigado pelo companheirismo, aprendizado e apoio nas medições executadas.

Enfim, a Deus, pela força e perseverança, necessárias a conclusão deste trabalho.

## **SUMÁRIO**

DEDICATÓRIA.....	iii
AGRADECIMENTOS.....	iv
SUMÁRIO.....	v
RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	ix
LISTA DE TABELAS.....	x
LISTA DE QUADROS.....	xi
LISTA DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE SÍMBOLOS.....	xiii
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 Objetivos .....	2
1.2 Justificativas .....	2
1.3 Descrição do trabalho .....	3
<b>2 TEMPOS DE MANUFATURA.....</b>	<b>4</b>
2.1 Introdução.....	4
2.2 Estudo de métodos e tempos de trabalho.....	5
2.2.1 Estudo do método.....	5
2.2.2 Estudo do tempo.....	6
2.3 Ciclos e fases de usinagem.....	8
2.4 Tempos de fabricação.....	9
2.4.1 Tempo total de fabricação por peça.....	9
2.4.2 Tempo de corte.....	10
2.4.3 Tempos secundários.....	12
2.4.4 Tempo de preparação.....	12
2.4.5 Tempo de reposição.....	12
2.5 Desgaste e vida da ferramenta.....	14
2.6 Tempo total de fabricação.....	16
2.7 Redução do tempo de fabricação.....	17
2.7.1 Redução do tempo de <i>setup</i> .....	18
2.7.2 Otimização dos processos.....	23
<b>3 CUSTOS EM USINAGEM.....</b>	<b>25</b>
3.1 Introdução.....	25
3.2 Terminologia em apuração de custos.....	26

3.3	Custos de uma empresa.....	27
3.4	Representação dos custos de usinagem.....	29
3.4.1	Custo devido ao tempo de corte.....	30
3.4.2	Custo dos tempos improdutivos.....	31
3.4.3	Custo devido ao tempo de reposição da ferramenta.....	33
3.4.4	Custo da ferramenta por vida.....	33
3.4.5	Custo da ferramenta por peça.....	33
3.4.6	Custo total de usinagem por peça.....	34
<b>4</b>	<b>MODELOS MATEMÁTICOS E SIMULAÇÃO.....</b>	<b>35</b>
4.1	Introdução.....	35
4.2	Modelos matemáticos.....	35
4.3	Análises estatísticas.....	38
4.3.1	Regressão linear.....	38
4.3.2	<i>Software</i> de análise estatística: <i>Minitab</i> .....	39
4.4	Simulação.....	40
4.4.1	Método de simulação de Monte Carlo.....	41
<b>5</b>	<b>METODOLOGIA E COLETA DE DADOS.....</b>	<b>42</b>
5.1	Introdução.....	42
5.2	Método de pesquisa: estudo de caso.....	42
5.3	Metodologia.....	44
5.3.1	Objetivo.....	44
5.3.2	O processo de usinagem pesada.....	45
5.3.3	A empresa estudada.....	45
5.3.4	Metodologia para medição dos tempos improdutivos e custeamento dos processos.....	46
<b>6</b>	<b>ANÁLISE DOS DADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>60</b>
6.1	Introdução.....	60
6.2	Metodologia para análise dos dados.....	60
6.2.1	Análise dos tempos improdutivos.....	61
6.2.2	Análise dos custos de improdutividade.....	82
<b>7</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS</b>	

<b>FUTUROS</b> .....	99
APÊNDICE 1: Tempos de fabricação das peças estudadas.....	101
APÊNDICE 2: Simulação de Monte Carlo – Tempos.....	115
APÊNDICE 3: Simulação de Monte Carlo – Custos.....	126
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	137

## RESUMO

A usinagem pode ser considerada um dos mais importantes processos de transformação existentes na indústria. Seu desenvolvimento acompanhou a evolução de vários setores, como a engenharia de produção e engenharia de produto. Em consequência novas ferramentas de corte foram criadas e novas máquinas, com potência e rigidez elevadas foram desenvolvidas. Neste contexto, o processo de usinagem pesada surgiu para atender às necessidades de um mercado particular, geralmente composto por fabricações sob encomenda de peças de grandes dimensões, tais como os componentes para usinas hidrelétricas, peças para grandes siderúrgicas, etc. Para este tipo de processo, ou para qualquer ramo empresarial, o mercado exige das empresas uma postura agressiva com relação ao aumento da qualidade de seus produtos e redução de seus custos. Com tais finalidades, é fundamental o conhecimento dos processos, de seus tempos operacionais e os custos associados. Este trabalho apresenta, para um departamento de usinagem pesada de uma indústria metalúrgica, um estudo da influência dos tempos improdutivos sobre o tempo total de fabricação e dos custos de improdutividade sobre o custo total de fabricação. Foram analisadas treze peças em processos de usinagem pesada, num total de 1776 horas de fabricação. A aplicação das técnicas de análise de regressão e simulação aos dados coletados revelou três fatores principais de improdutividade: preparação de máquina, preparação de ferramentas e tempo de manobra. Ao considerar os custos envolvidos, o estudo revelou uma pequena alteração nas causas principais: custo com preparação de máquina, custo com preparação de ferramentas e custo das paradas por manutenção.

## **ABSTRACT**

The machining can be considered a great process in the industry. Its development accompanied the evolution of the production engineering and product engineering. In consequence new tools and new machines were created. In this context, the heavy machining process appeared to assist of a private market, generally composed by pieces of great dimensions, such as the components for the energy plants and steel plants. Nowadays the companies need an aggressive posture to reduce costs and to increase the quality of your products. However, to reach these objectives, it is necessary to know the processes, their operational times and their costs. This work presents, for a heavy machining processes, the influence of the unproductive times on the total time of production. And the influence of the unproductive costs on the total cost of production. Thirteen pieces were analyzed in heavy machining processes, in a total of 1776 hours of production. The application of the techniques of sensibility analysis and simulation revealed three main factors of unproductiveness: machine preparation, tools preparation and maneuver time. When considered the involved costs, the study revealed a small alteration in the main causes: machine preparation costs, tools preparation costs and the maintenance costs.

## **LISTA DE TABELAS**

### **CAPÍTULO 5**

- 5.1 Compilação dos tempos de fabricação para os treze processos estudados;
- 5.2 Custo dos processos x custo total de fabricação.

## **CAPÍTULO 6**

- 6.1 Códigos de fabricação significativos à improdutividade;
- 6.2 Modelo matemático inicial para o tempo total improdutivo;
- 6.3 Análise de sensibilidade para o tempo total improdutivo;
- 6.4 Definição das variáveis realmente significativas à improdutividade;
- 6.5 Modelo matemático definitivo para o tempo total improdutivo;
- 6.6 Validação do modelo matemático definitivo;
- 6.7 Teste de correlação entre as variáveis de improdutividade;
- 6.8 Teste de normalidade para as variáveis de tempo improdutivo;
- 6.9 Intervalo de variação e distribuição de probabilidades acumulada;
- 6.10 Medidas estatísticas da simulação para os tempos improdutivos – mínimo;
- 6.11 Distribuição de freqüências na simulação do tempo total improdutivo – mínimo;
- 6.12 Medidas estatísticas da simulação para os tempos improdutivos – máximo;
- 6.13 Distribuição de freqüências na simulação do tempo total improdutivo – máximo;
- 6.14 Modelo matemático para o custo total improdutivo;
- 6.15 Validação do modelo para custo total improdutivo;
- 6.16 Análise de sensibilidade para o custo total improdutivo;
- 6.17 Teste de correlação entre as variáveis de custo improdutivo;
- 6.18 Teste de normalidade para os custos improdutivos;
- 6.19 Intervalo de variação e probabilidades acumulada para variáveis de custo improdutivo;
- 6.20 Medidas estatísticas da simulação para os custos improdutivos – mínimo;
- 6.21 Distribuição de freqüências na simulação do custo total improdutivo – mínimo;
- 6.22 Medidas estatísticas da simulação para os custos improdutivos – máximo;
- 6.23 Distribuição de freqüências na simulação do custo total improdutivo – máximo.

## **LISTA DE QUADROS**

### **CAPÍTULO 2**

- 2.1** Informações do sistema produtivo que influenciam na escolha da  $V_c$ .

### **CAPÍTULO 5**

- 5.1 Métodos de pesquisa em engenharia de produção;

5.2 Processos e tempos de fabricação medidos para cada máquina operatriz.

## LISTA DE FIGURAS

### **CAPÍTULO 2**

- 2.1 Torneamento com ferramenta atuando isoladamente;
- 2.2 Processo de torneamento;
- 2.3 Atuação de equipe de preparação de máquinas em setor de usinagem pesada;
- 2.4 Peça montada e preparada em torno vertical pesado;
- 2.5 Peça montada e preparada em mandriladora pesada;
- 2.6 Intervalo de máxima eficiência.

### **CAPÍTULO 3**

- 3.1 Curvas de custo total, variável e fixo.

### **CAPÍTULO 4**

- 4.1 Formas de estudo em um sistema;
- 4.2 Linha de regressão;

### **CAPÍTULO 5**

- 5.1 Preparação da placa giratória de torno vertical pesado para montagem de peça;
- 5.2 Torno vertical TVB;
- 5.3 Torno vertical *Shibaúra*;
- 5.4 Mandriladora *Schiess*;
- 5.5 Planilha de apontamento de horas para medição dos tempos de fabricação;
- 5.6 Improdutividade nas operações de usinagem pesada – resultado preliminar;
- 5.7 Influência dos custos improdutivos sobre o custo total de fabricação.

### **CAPÍTULO 6**

- 6.1 Análise dos resíduos para o modelo definitivo do tempo total improdutivo;
- 6.2 Teste da distribuição de probabilidades – Manutenção (904);
- 6.3 Teste da distribuição de probabilidades – Recuperações (117);
- 6.4 Distribuição de frequências e probabilidades para o tempo total improdutivo-mínimo;
- 6.5 Histograma e curva normal para o tempo total improdutivo-mínimo;

- 6.6 Distribuição de frequências e probabilidades para o tempo total improdutivo-máximo;
- 6.7 Histograma e curva normal para o tempo total improdutivo-máximo;
- 6.8 Simulação para o tempo total improdutivo através do *Crystal Ball*;
- 6.9 Análise de sensibilidade para o tempo total improdutivo através do *Crystal Ball*;
- 6.10 Análise dos resíduos para o modelo do custo total improdutivo;
- 6.11 Análise de sensibilidade para o custo total improdutivo (*Crystal Ball*);
- 6.12 Teste da distribuição de probabilidades – Recuperações ( $C_{rec}$ );
- 6.13 Teste da distribuição de probabilidades – Manutenção ( $C_{man}$ );
- 6.14 Distribuição de frequências e probabilidades para o custo total improdutivo – mínimo;
- 6.15 Histograma e curva normal para o custo total improdutivo – mínimo;
- 6.16 Distribuição de frequências e probabilidades para o custo total improdutivo – máximo;
- 6.17 Histograma e curva normal para o custo total improdutivo – máximo;
- 6.18 Simulação para o custo total improdutivo através do *Crystal Ball*..

## **APÊNDICE 1**

- A.1.1 Tempos de fabricação – tampa inferior 1;
- A.1.2 Tempos de fabricação – anel de regulação 1;
- A.1.3 Tempos de fabricação – tampa externa 1;
- A.1.4 Tempos de fabricação – cone suporte 1;
- A.1.5 Tempos de fabricação – anel de regulação 2;
- A.1.6 Tempos de fabricação – aranha;
- A.1.7 Tempos de fabricação – anel de regulação 3;
- A.1.8 Tempos de fabricação – pré distribuidor;
- A.1.9 Tempos de fabricação – caixa espiral;
- A.1.10 Tempos de fabricação – tampa superior 1;
- A.1.11 Tempos de fabricação – tampa superior 2;
- A.1.12 Tempos de fabricação – cone suporte 2;
- A.1.13 Tempos de fabricação – eixo da turbina.

## **APÊNDICE 2**

- A.2.1 Simulação de Monte Carlo – Tempos;
- A.2.2 Simulação de Monte Carlo – Parâmetros de resposta.
- A.2.3 Simulação de Monte Carlo – Teste de normalidade dos valores simulados para o tempo total improdutivo.

## APÊNDICE 3

A.3.1 Simulação de Monte Carlo – Custos;

A.3.2 Simulação de Monte Carlo – Parâmetros de resposta.

A.3.3 Simulação de Monte Carlo – Teste de normalidade dos valores simulados para o custo total improdutivo.

## LISTA DE SÍMBOLOS

$a_p$ :	profundidade de corte;
$c, e$ :	distâncias de aproximação da ferramenta;
$C_2$ :	custos de máquina;
$C_{af}$ :	custo de afiação;
$C_{co}$ :	custo do controle da peça pelo operador;
$C_{cq}$ :	custo do controle da qualidade;
$C_{esp}$ :	custo do tempo de esperas;
$C_f$ :	custos fixos anuais do centro de custos onde se localiza a máquina;
$C_{fe}$ :	custo das ferramentas (depreciação, troca, afiação);
$C_{ft}$ :	custo da ferramenta por vida;
$C_{if}$ :	custo indireto de fabricação, independente das condições de usinagem;
$C_m$ :	custo do tempo de manobra de peça;
$C_{man}$ :	custo do tempo de paradas por manutenção;
$C_{mi}$ :	custo indireto de matéria-prima;
$C_{mo}$ :	custo de mão-de-obra (ou salário) de usinagem;
$C_{oen}$ :	custo do tempo de otimização de programa CN;
$C_p$ :	custo atual da pastilha;
$C_{pf}$ :	custo do tempo de preparação de ferramentas;
$C_{pm}$ :	custo do tempo de preparação de máquina;
$C_{rec}$ :	custo do tempo de parada para recuperação de peça;
$C_t$ :	custo total de fabricação;
$C_{tc}$ :	custo devido ao tempo de corte;
$C_{ti}$ :	custo devido aos tempos improdutivos;
$C_{tr}$ :	custo devido ao tempo de reposição da ferramenta;
$C_u$ :	custo de usinagem ou confecção;
$C_{ui}$ :	custo indireto de usinagem;
$d$ :	diâmetro médio de usinagem;

- $d_1$ : diâmetro da peça em estado bruto;  
 $d_2$ : diâmetro da peça usinada;  
 $f$ : avanço da ferramenta;  
 $H$ : número de horas em atividades da máquina por ano, por turno;  
 $i$ : taxa mínima de atratividade para o investimento no equipamento;  
 $K^*$ : idade da máquina;  
 $l_f$ : percurso de avanço;  
 $n$ : rotação do eixo árvore;  
 $N_{af}$ : número de afiações da ferramenta efetuadas;  
 $N_{\bar{n}}$ : vida média do porta pastilhas expresso em quantidade de arestas cortantes;  
 $N_p$ : número de aresta cortante (vidas) da pastilha;  
 $N_t$ : nº de trocas da aresta cortante necessárias para a usinagem de  $Z$  peças.  
 $S_o$ : custo da mão-de-obra direta (operador) mais encargo social;  
 $T$ : é a vida da ferramenta;  
 $T_a$ : tempo de aproximação e afastamento da ferramenta;  
 $T_c$ : tempo de corte da ferramenta;  
 $T_{\bar{n}}$ : tempo de troca da aresta cortante;  
 $T_i$ : tempos improdutivos;  
 $T_p$ : tempo de preparação da máquina;  
 $T_r$ : tempo de ajuste e troca da pastilha;  
 $T_s$ : tempos secundários de usinagem;  
 $T_t$ : tempo total de fabricação por peça;  
 $V_c$ : velocidade de corte;  
 $V_f$ : velocidade de avanço da ferramenta;  
 $V_o^*$ : valor atual da máquina;  
 $V_{of}$ : valor atual do porta pastilha;  
 $V_r$ : valor residual da máquina;  
 $V_{rap}$ : velocidade em movimento rápido (m/min);  
 $x, y$ : constantes empíricas da fórmula expandida de Taylor;  
 $z, K_1$ : constantes empíricas da fórmula expandida de Taylor;  
 $Z$ : tamanho do lote de peças;  
 $Z_t$ : é o número de peças usinadas por vida.

# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

Dentre os diversos processos de obtenção de peças existentes na indústria, pode-se, sem a menor dúvida, afirmar que a usinagem se coloca como um dos mais importantes processos de transformação. As peças acabadas por este processo serão sempre provenientes de peças brutas, conferindo às mesmas suas formas geométricas, dimensões, tolerâncias dimensionais e os graus de acabamento superficiais existentes em projeto, através da remoção de material na forma de cavacos.

A evolução dos processos de usinagem ao longo dos tempos acompanhou a evolução de vários setores da indústria, como a engenharia de produtos e a engenharia de produção. A engenharia do produto, com o objetivo de melhorar a performance e diminuir o custo dos componentes, gerou a necessidade de se fabricar peças com perfis complexos, tolerâncias dimensionais e geométricas limitadas e com materiais de difícil usinabilidade (SOUZA, PAMPLONA e CARVALHO, 1998). Cita-se o caso das ligas leves, usadas nas indústrias aeronáutica e aeroespacial, bem como os materiais usados na indústria de componentes nucleares. Em processos de usinagem pesada, tais como os utilizados na fabricação de componentes para usinas hidrelétricas, alia-se às limitações geométricas e dimensionais, as grandes dimensões das peças envolvidas. Para atender a estas solicitações particulares, os fabricantes dos meios de produção desenvolveram máquinas com velocidades, potência e rigidez elevadas. Em consequência, novos materiais e novas geometrias de ferramentas de corte foram desenvolvidas, visando atender as exigências e limitações dos produtos e processos.

No campo da engenharia de produção, também houve grande desenvolvimento nos últimos anos. É importante citar a atenção dada à flexibilidade da produção, à diminuição dos tempos de *setup* e à constante preocupação em fabricar no menor custo possível (ALMEIDA, 2003). Entretanto, mesmo numa época onde se torna da mais alta importância a redução dos tempos de manufatura e a busca da qualidade, ainda se pode encontrar na maioria das empresas de usinagem uma grande carência dos conceitos e técnicas aplicadas ao processo. Gera-se baixa produtividade, obtenção de peças de má qualidade e um custo operacional elevado, afetando sensivelmente a competitividade no mercado de trabalho. Uma vez que o mercado exige das empresas uma postura agressiva com relação ao aumento da qualidade de

seus produtos e redução de seus custos, a racionalização dos sistemas produtivos deve ser implementada. Portanto, é necessário conhecer os tempos operacionais envolvidos em cada processo, separando as atividades que agregam valor ao produto das que não agregam valor. Só assim pode-se inferir na otimização dos processos e redução dos custos operacionais.

### ***1.1 Objetivos***

Este trabalho tem como objetivos principais, através do estudo de caso em uma empresa metalúrgica:

1. Avaliar os tempos improdutivos em um departamento de usinagem pesada e suas influências sobre o tempo total de fabricação;
2. Determinar o custo dos tempos improdutivos do departamento e sua influência sobre o custo total de fabricação.
3. Comprovar, através das técnicas de análise de regressão, análise de sensibilidade e simulação, os resultados encontrados nas medições para tempos e custos improdutivos do departamento.

### ***1.2 Justificativas***

O desafio principal de qualquer sistema produtivo é o controle de seus custos. Devido à globalização, o mercado exige das empresas uma postura agressiva com relação às suas políticas de redução de custos e aumento da qualidade de seus produtos. Portanto, cabe aos gestores da produção, conhecer seus processos e suas principais variáveis. Só assim poderão inferir na otimização e redução dos tempos operacionais e custos associados.

Especificamente em operações de usinagem pesada, os principais fatores de improdutividade ainda não foram considerados. Assim, não se conhece a ineficiência operacional deste processo em particular, e as variáveis que oferecem maiores oportunidades de ganho quando otimizadas. Portanto, procura-se avaliar o custo dos tempos improdutivos em usinagem pesada, através da medição dos tempos envolvidos neste processo, buscando assim, alternativas para o ganho de produtividade.

### ***1.3 Descrição do trabalho***

O capítulo 2 traz uma breve descrição dos tempos de manufatura e seus métodos de avaliação. É apresentada a equação para o tempo total de fabricação e suas parcelas: tempo de corte, tempos secundários, tempo de preparação e tempo de reposição. São apresentadas também, em resumo, duas técnicas para redução dos tempos de fabricação: redução do tempo de *setup* e otimização dos processos.

O terceiro capítulo trata especificamente dos custos de usinagem. São mostrados os conceitos básicos da contabilidade de custos e uma breve inserção destes conceitos nas operações de usinagem. É apresentada a equação para o custo total de fabricação em operações de usinagem, tendo como parcelas os custos com tempos de corte, custo com tempos improdutivos e custos com ferramentas.

No capítulo 4, são definidas as principais ferramentas utilizadas para análise, tratamento dos dados coletados e comprovação científica dos resultados encontrados para os tempos e custos improdutivos do departamento de usinagem estudado: regressão linear, análise de sensibilidade e simulação de Monte Carlo.

O capítulo 5 apresenta o estudo de caso em uma empresa metalúrgica. Através dos apontamentos de mão-de-obra, os tempos produtivos e improdutivos do departamento de usinagem pesada foram quantificados, assim como os custos associados aos tempos de fabricação. Apresenta, portanto, o estudo preliminar da influência dos tempos improdutivos sobre o tempo total de fabricação e dos custos improdutivos sobre o custo total de fabricação.

O sexto capítulo trata especificamente da exploração e análise dos dados coletados. Tem como objetivo principal comprovar e fundamentar, através das técnicas de análise de regressão, análise de sensibilidade e simulação os resultados de tempos e custos improdutivos do departamento de usinagem coletados no capítulo anterior. A análise é dividida em duas fases: análise dos tempos de fabricação e análise dos custos de fabricação.

No sétimo capítulo apresentam-se as conclusões do trabalho e algumas recomendações para trabalhos futuros, uma vez que o processo de usinagem pesada ainda não foi devidamente explorado academicamente.

# **CAPÍTULO 2**

## **TEMPOS DE MANUFATURA**

### **2.1 INTRODUÇÃO**

Definitivamente a manufatura global está colocada em termos de competição: produtos melhores precisam ser fabricados em tempos cada vez menores, com menos recursos e ainda atender às exigências da demanda de mercado. O tempo, um recurso absolutamente escasso, deve refletir a capacidade de flexibilização dos sistemas de manufatura. Flexibilidade no sentido do sistema poder sentir o mercado para alterar modelos, desenvolver, fabricar e comercializar novos produtos. Flexibilidade para melhorar a capacidade de produzir, movimentar o material dentro da fábrica e atender efetivamente ao cliente.

Seguramente, a sobrevivência das empresas industriais no futuro é dependente de seus desempenhos atuais relacionados com a qualidade e a produtividade, no que concerne ao gerenciamento dos recursos produtivos envolvidos. O conhecimento dos tempos de fabricação é de fundamental importância quando o objetivo é a racionalização das operações e redução dos custos de produção. É sem dúvida, mais uma variável na eterna busca pela sobrevivência e manutenção da competitividade.

Barnes (1958) enfatiza esta necessidade de se conhecer e estudar os métodos e tempos de fabricação. Entre as vantagens deste conhecimento estão:

- Encontrar a forma mais econômica para a execução de um determinado trabalho;
- Padronizar os métodos, materiais, ferramentas e instalações;
- Determinar exatamente o tempo necessário para que uma pessoa competente realize o trabalho em ritmo normal;
- Auxiliar na aprendizagem do operário em face de um novo padrão de tempo obtido.

Enfim, os tempos de fabricação devem ser enxergados como um guia, ou talvez como uma medida absoluta dos custos operacionais.

## **2.2 ESTUDO DE MÉTODOS E TEMPOS DE TRABALHO**

O estudo dos métodos e tempos de trabalho emergiu separadamente, porém relacionados, com os estudos de Frederick Taylor e Frank Gilbreth, iniciando o que se chamou de Administração Científica. Apresenta-se a seguir, um resumo destas duas áreas de estudo, conforme exposto por Slack; Chambers e Johnston (2002).

### **2.2.1 *Estudo do método***

O estudo do método é o registro sistemático e o exame crítico dos métodos existentes e propostos de fazer o trabalho. É um meio de desenvolver e aplicar métodos mais fáceis e eficazes para redução de custos. A abordagem do estudo do método envolve a seguir, sistematicamente, cinco passos:

1. Selecionar o trabalho a ser estudado: a maioria das operações produtivas apresenta várias atividades e tarefas discretas, que podem ser submetidas a estudo. O primeiro estágio é selecionar aquelas a serem estudadas, que darão o maior retorno sobre o investimento do tempo. Por outro lado, os tipos de trabalho que devem ser estudados como assunto prioritário são os que, por exemplo, oferecem o maior escopo para melhorias, ou que estão causando gargalos, atrasos ou problemas na operação.

2. Registrar o método atual: o registro do método atual pode trazer maior entendimento do próprio trabalho, e isso pode levar a novas formas de fazê-lo. Em segundo lugar, registrar o método atual é um bom ponto de partida para avaliar criticamente e, portanto, melhorar o método. A técnica de registro mais comumente utilizada no estudo do método é o fluxograma do processo.

3. Examinar os fatos criticamente e na seqüência: a idéia é examinar o método atual inteira e criticamente. É provavelmente o estágio mais importante do estudo do método. São feitas questões relativas ao propósito de cada elemento (o que é feito e por que é feito?), o local em que cada elemento é feito (onde é feito, por que é feito ali e onde deveria ser feito?), a seqüência em que cada elemento é feito (quando é feito e por que é feito nesse momento?), a pessoa que faz o elemento (quem faz e quem deveria fazer?) e os meios pelos quais cada elemento é feito (como é feito, por que é feito desta forma e de que outra forma poderia ser feito?).

4.Desenvolver um novo método: o exame crítico do método indica mudanças e melhorias, tais como eliminação de partes inteiras de uma atividade, combinação de elementos, mudança na seqüência dos eventos e simplificação da atividade para reduzir o conteúdo do trabalho.

5.Instalação e manutenção do novo método: trata de monitorar regularmente a eficácia do novo método depois de implantado.

### **2.2.2 *Estudo do tempo***

Estudo do tempo é uma técnica de medida do trabalho, utilizada para registrar os tempos e o ritmo de trabalho para os elementos de uma tarefa especializada. É utilizada também para obtenção do tempo necessário para a realização do trabalho com um nível definido de desempenho (SLACK *et al.* 2002).

A seguinte terminologia é comumente utilizada:

1.Tempo Base: o tempo necessário para que um operador trabalhando em ritmo normal execute todas as fases de uma operação, segundo um método previamente estabelecido.

2.Tempo Padrão: corresponde ao tempo resultante da soma dos tempos suplementares com o tempo base. Os tempos suplementares são aqueles que compensam eventuais variações das condições de trabalho, normalmente expressas em tolerâncias percentuais. Essas tolerâncias são:

- Tolerância para necessidades pessoais: geralmente 5% da jornada de trabalho, com descansos distribuídos ao longo do dia;
- Tolerância para fadiga mental e física: a fadiga aplica-se sobre o tempo manual e nunca sobre o tempo máquina. A tolerância para o fator fadiga varia conforme uma série de condições: trabalho sentado ou em pé, pesos a serem manipulados, fadiga visual, monotonia, etc. A tolerância aplicada dependerá da experiência e do bom senso do analista;

- Tolerância de inspeção: quando o desgaste de uma ferramenta é apreciável, este fará variar as dimensões da peça usinada. Isto obriga a efetuar, de vez em quando, pequenos ajustes na ferramenta que compensam esta variação por desgaste. A ferramenta pode também sair de ajuste por outros fatores: parada da máquina, aumentos ou reduções dos avanços ou velocidades de corte. Nos casos em que o operador pode verificar a peça sem interromper a produção, tal tolerância não é necessária;
- Outras tolerâncias: relativas a operações que não estão incluídas no ciclo normal de trabalho e que causam atrasos inevitáveis. Cita-se: leitura de desenhos, recebimento de instruções do chefe, limpeza do posto de trabalho.

A técnica para o estudo do tempo constitui-se de três etapas para obter o tempo básico para os elementos do trabalho:

- 1.Observar, medir e avaliar o tempo necessário para realizar cada elemento do trabalho: o trabalho é observado ao longo de diversos ciclos. Toda vez que um elemento do trabalho é realizado, ele é cronometrado. Simultaneamente à observação do tempo, é registrada uma avaliação do desempenho percebido da pessoa que está fazendo o trabalho.
- 2.Ajustar ou “normalizar” cada tempo observado: o ajuste para normalizar o tempo observado leva em consideração a avaliação do observador. Deste modo o tempo básico poderá ser igual ou menor ao tempo observado.
- 3.Calcular a média dos tempos ajustados para obter o tempo básico para o elemento.

Entender as conseqüências do tempo de trabalho é uma parte importante no projeto de sistemas produtivos. Além de estabelecer um valor comum para avaliação e comparação de todos os tipos de trabalho, o conhecimento da duração de uma determinada tarefa é um pré-requisito essencial para muitas decisões chave do projeto. Segue, por exemplo, algumas aplicações de dados sobre tempos (SLACK et al., 2002):

- Avaliar projetos alternativos de produtos, que têm diferentes métodos de montagem ou de manufatura;
- Avaliar os tempos de transporte em decisões de localização;
- Avaliar se uma determinada tarefa deve ser realizada na empresa ou fora dela;
- Avaliar o nível de capacidade que será necessário na operação;
- Avaliar as durações das tarefas em cada etapa de um processo;
- Avaliar rotas alternativas para uma operação produtiva;
- Identificação de gargalos;
- Avaliar tipos alternativos de tecnologias ou tamanhos alternativos de máquinas e equipamentos;
- Avaliar métodos alternativos de trabalho;
- Avaliar esquemas de remuneração e tempos estimados para o trabalho;
- Avaliar tolerâncias e desempenho de indivíduos ou grupos;
- Avaliar e identificar tempos perdidos em determinadas tarefas (tempos improdutivos – altos tempos de setup e movimentações de materiais).

É por causa dessa ampla variedade de uso das estimativas de tempo que todas as organizações precisam fazer algum tipo de estimativa da duração real e necessária de cada tarefa.

### **2.3 CICLOS E FASES DE USINAGEM**

Um ciclo de usinagem refere-se aos trabalhos manuais ou de máquinas, que possibilitam a execução de uma dada operação de corte. De acordo com Ferraresi (1977), o ciclo de usinagem de uma peça, pertencente a um lote  $Z$  de peças, é constituído diretamente pelas seguintes fases:

- a) Colocação e fixação da peça em bruto ou semi acabada na máquina ferramenta;
- b) Aproximação ou posicionamento da ferramenta para o início de corte;
- c) Operação de corte da ferramenta;
- d) Afastamento da ferramenta;
- e) Inspeção (se necessária) e retirada da peça usinada.

Além destas fases, tomam parte indireta no ciclo de usinagem as seguintes etapas:

- f)Preparo da máquina ferramenta para a execução de Z peças, que só ocorre no início da mesma;
- g)Remoção da ferramenta de seu suporte, para afiação ou substituição. Aqui se inclui a remoção das pastilhas que não mais satisfazem as condições de usinagem na peça. Nas operações de desbaste, tem-se como delimitante a possibilidade de perda da capacidade de corte ou quebra das ferramentas. Nas operações de acabamento os fatores delimitantes são, principalmente, as tolerâncias dimensionais e o acabamento superficial;
- h)Afiação da ferramenta;
- i)Recolocação e ajustagem da ferramenta em seu suporte.

As fases de usinagem correspondem a cada trabalho executado antes, durante e após cada ciclo de usinagem.

## 2.4 TEMPOS DE FABRICAÇÃO

### 2.4.1 Tempo total de fabricação por peça ( $T_t$ )

Apresenta-se abaixo, conforme Ferraresi (1977), Diniz et al. (2005) e Carvalho (1991), a **Equação 2.1**, para o tempo total de fabricação para um lote de Z peças:

$$T_t = T_c + T_s + T_a + \frac{T_p}{Z} + T_r \quad (2.1)$$

Onde:

$T_t$ : tempo total de fabricação por peça (min/pç);

$T_c$ : tempo de corte da ferramenta (min/pç)

(correspondente à fase c);

$T_s$ : tempos secundários de usinagem (min/pç)

(correspondentes às fases a, e, f, h);

$T_a$ : tempo de aproximação e afastamento da ferramenta (min/pç)

(corresponde às fases b, d);

$T_p$ : tempo de preparação da máquina (min)

(correspondente à fase i);

$T_r$ : tempo de ajuste e troca da pastilha (min/pç)

(corresponde à fase g);

Z: Tamanho do lote de peças.

### 2.4.2 Tempo de corte ( $T_c$ )

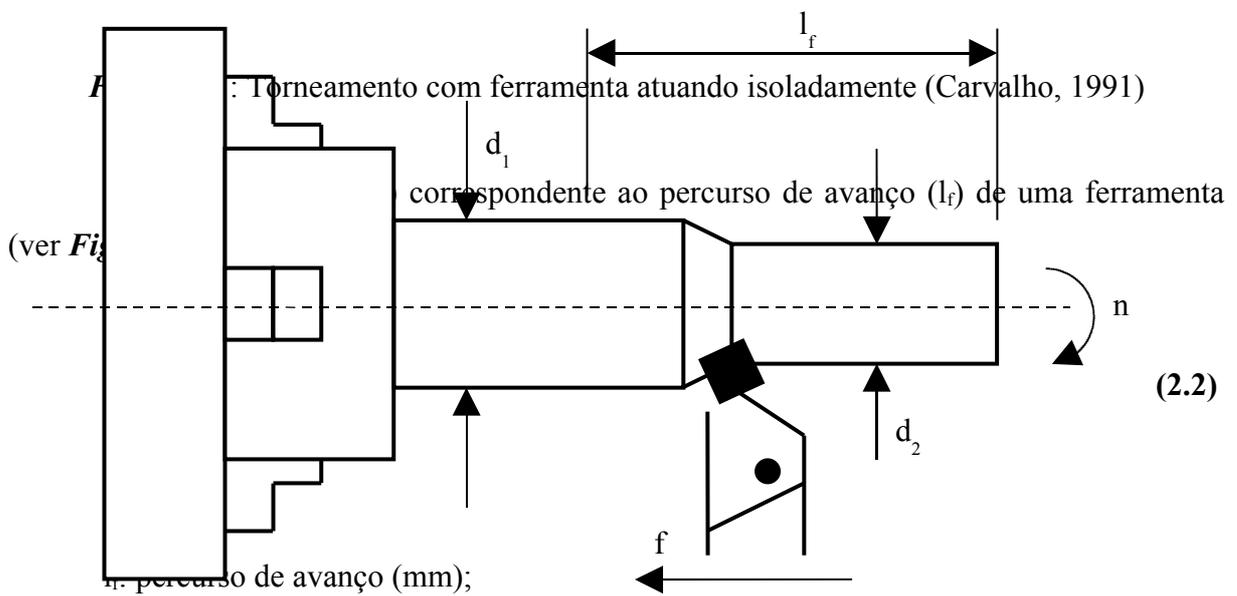
Define-se como tempo de corte ( $T_c$ ) de uma operação de usinagem, ao espaço de tempo em que as ferramentas, em avanço de usinagem, trabalham na remoção de cavacos da peça (FERRARESI, 1977).

O estudo analítico pode ser dividido em duas partes:

a) As ferramentas atuam isoladamente sem sobreposição dos tempos de corte.

b) As ferramentas atuam simultaneamente, com sobreposição dos tempos de corte.

Para este trabalho será estudado apenas o primeiro caso, sem sobreposição dos tempos, conforme **Figura 2.1**.



$V_f$ : velocidade de avanço da ferramenta (m/min);

$f$ : avanço da ferramenta (mm/rot);

$n$ : rotação do eixo árvore (rpm).

Sabendo que, da **Equação 2.3**:

$$V_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \quad (2.3)$$

Sendo:

$V_c$ : velocidade de corte (m/min);

$d$ : diâmetro médio de usinagem (mm);

$n$ : rotação do eixo árvore (rpm).

A **Equação 2.4** define o diâmetro médio de usinagem ( $d$ ) como sendo:

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2} \quad (2.4)$$

Onde:

$d_1$ : diâmetro da peça em estado bruto (mm);

$d_2$ : diâmetro da peça usinada (mm).

Logo, chega-se à **Equação 2.5** para o tempo de corte:

$$T_c = \frac{\pi \cdot d \cdot l_f}{100 \cdot f \cdot V_c} \quad (2.5)$$

Sendo:

$d$ : diâmetro médio de usinagem (mm);

$l_f$ : percurso de avanço (mm);

$f$ : avanço da ferramenta (mm/rot);

$V_c$ : velocidade de corte (m/min).

### **2.4.3 Tempos secundários ( $T_s$ )**

De acordo com Novaski (1983) e Ferraresi (1977) os tempos secundários devem ser analisados através de tempos e métodos, visando à economia de movimentos e a diminuição dos tempos envolvidos. Para tal fim, por exemplo, o emprego de dispositivos e ferramentas especiais podem ser estudados, visando à redução dos custos relativos a este tempo.

### **2.4.4 Tempo de preparação ( $T_p$ )**

Conforme Carvalho (1991), este tempo inclui todos os tempos preliminares empregados em preparar a máquina para usinagem. Teoricamente, o tempo de preparação para um determinado trabalho é o mesmo, tantas vezes quanto se repita este trabalho. Há de se notar, que a desmontagem da máquina devido a uma determinada operação de corte está intimamente ligada com a preparação da máquina para a operação seguinte.

Novaski (1983) reforça que, para efeito dos cálculos do tempo de fabricação, sempre se parte do tempo total de instalação, sem contar com a possibilidade de se aproveitar algo previamente instalado.

#### **2.4.5 Tempo de reposição ( $T_r$ )**

Entende-se por tempo de reposição ( $T_r$ ) de uma operação de usinagem, ao tempo efetivamente gasto por peça, para a troca e colocação de todas as ferramentas envolvidas na operação, que não mais satisfazem as condições de usinagem desejadas.

Segundo Novaski (1983) e Carvalho (1991) o tempo de reposição está diretamente ligado ao número de peças usinadas por vida ( $Z_i$ ), pois este define a frequência das paradas da máquina para troca e colocação da ferramenta.

Pallerosi (*apud* Novaski, 1983) define que o tempo de troca e colocação das ferramentas envolve as seguintes fases:

- a)acionamento dos comandos (manual ou automático) para a parada da máquina, do fluxo de fluido de corte, etc.
  
- b)desfixação da ferramenta e sua retirada do suporte. No caso de pastilhas de metal duro, corresponde à troca, giro ou inversão (uso da outra face da pastilha);
  
- c)afiação da ferramenta. Esta fase normalmente deve ser evitada, deixando-se sempre de espera uma ferramenta já afiada;
  
- d)fixação da ferramenta já afiada no seu suporte, ou da pastilha no seu encaixe.

Portanto, o tempo total de reposição é o tempo em que a máquina ferramenta fica parada para a troca e colocação das ferramentas, multiplicado pelo número de vezes em que isto ocorre, para um determinado lote de peças. Para Carvalho (1991), o tempo de troca de ferramentas pode ser dividido em dois casos:

a) Trocas não pré-determinadas: neste caso, as ferramentas são trocadas individualmente na ordem natural de sua ocorrência, quando elas não mais satisfazem as condições exigidas;

b) Trocas pré-determinadas: neste caso existe um intervalo pré-determinado de troca, com duas alternativas possíveis:

Todas as ferramentas são trocadas em um só grupo após a usinagem de uma pré-determinada quantidade de peças;

As ferramentas são trocadas em grupos selecionados, de acordo com a vida que elas apresentam.

A vida em minutos de uma ferramenta pode ser relacionada com o número de peças usinadas por vida através da **Equação 2.6**:

$$T = Z_t \cdot T_c \quad (2.6)$$

Onde:

T: é a vida da ferramenta (min);

$Z_t$ : é o número de peças usinadas por vida;

$T_c$ : é o tempo de corte (min/pç).

O tempo de reposição é dado pela **Equação 2.7**:

$$T_r = \frac{N_t}{Z} \cdot T_{ft} \quad (2.7)$$

Onde:

$T_{ft}$ : tempo de troca da aresta cortante (min);

$N_t$ : nº de trocas da aresta cortante necessárias para a usinagem de Z peças.

Uma vez que a máquina é preparada com pastilha nova, tem-se, pela **Equação 2.8**:

$$N_t = \frac{Z}{Z_t} - 1 \quad (2.8)$$

Substituindo as *Equações 2.6 e 2.8* na *Equação 2.7*, resulta a *Equação 2.9*:

$$T_r = \left( \frac{T_c}{T} - \frac{1}{Z} \right) T_{ft} \quad (2.9)$$

## 2.5 DESGASTE E VIDA DA FERRAMENTA

Vida da ferramenta é o tempo que a mesma trabalha na remoção de cavacos até perder sua capacidade de corte. Atingido este tempo a ferramenta deve ser reafiada ou substituída.

Ferraresi (1977), define alguns fatores que determinam a fixação de um determinado valor limite de desgaste para o fim de vida da ferramenta. A ferramenta deve ser retirada de uso quando:

- a) Os desgastes atingirem proporções tão elevadas que se receia a quebra da aresta de corte. Isto é crítico em operações de desbaste onde, por não ser necessária a obtenção de tolerâncias apertadas e bons acabamentos superficiais, permite-se que os desgastes cheguem a valores altos;
- b) Devido ao desgaste da superfície de folga da ferramenta, não é mais possível à obtenção de tolerâncias apertadas e/ou de bons acabamentos superficiais da peça. Isto é crítico em operações de acabamento;
- c) Os desgastes crescem muito, fazendo com que a temperatura da aresta cortante ultrapasse a temperatura na qual a ferramenta perde o corte (a aresta de corte se decompõe);
- d) O aumento da força de usinagem, proveniente dos desgastes elevados da ferramenta, interfere no funcionamento da máquina.

Seja a fórmula de Taylor para a vida da ferramenta, *Equação 2.10*, como sendo:

$$T.V_c^X . f^Y . (a_p)^Z = K_1 \quad (2.10)$$

Onde:

T: vida da ferramenta (min);  
 $V_c$ : velocidade de corte (m/min);  
 f: avanço da ferramenta (mm/rot);  
 $a_p$ : profundidade de corte (mm);  
 x, y, z e  $K_1$ : constantes empíricas da fórmula de Taylor.

Simplificando, obtém-se a **Equação 2.11** para a vida da ferramenta:

$$T = \frac{K_1}{V_c^x \cdot f^y \cdot (a_p)^z} \quad (2.11)$$

A vida da ferramenta, de acordo com a equação acima, é inversamente proporcional à velocidade de corte.

## 2.6 TEMPO TOTAL DE FABRICAÇÃO ( $T_t$ )

A equação final que determina o tempo total de fabricação é definida pela **Equação 2.12**:

$$T_t = \frac{\pi \cdot d \cdot l_f}{1000 \cdot f \cdot V_c} + T_s + T_a + \frac{T_p}{Z} + \left( \frac{\pi \cdot d \cdot l_f}{1000 \cdot f \cdot V_c} \cdot \frac{V_c^x \cdot f^y \cdot (a_p)^z}{K_1} - \frac{1}{Z} \right) T_{ft} \quad (2.12)$$

Onde:

d: diâmetro médio de usinagem (mm);  
 $l_f$ : percurso de avanço (mm);  
 f: avanço da ferramenta (mm/rot);  
 $V_c$ : velocidade de corte (m/min);  
 $T_s$ : tempos secundários (min);  
 $T_a$ : tempo de aproximação e afastamento (min);  
 $T_p$ : tempo de preparação (min);  
 Z: número de peças a usinar;  
 $a_p$ : profundidade de corte (mm);  
 x, y, z e  $K_1$ : constantes empíricas da fórmula expandida de Taylor;  
 $T_{ft}$ : tempo de troca da aresta cortante (min);

Sendo que, de acordo com a **Figura 2.2**, pode-se definir  $T_a$  pela **Equação 2.13**:

$$T_a = \frac{\sqrt{c^2 + e^2} + \sqrt{(l_f + c)^2 + e^2}}{V_{rap}} \quad (2.13)$$

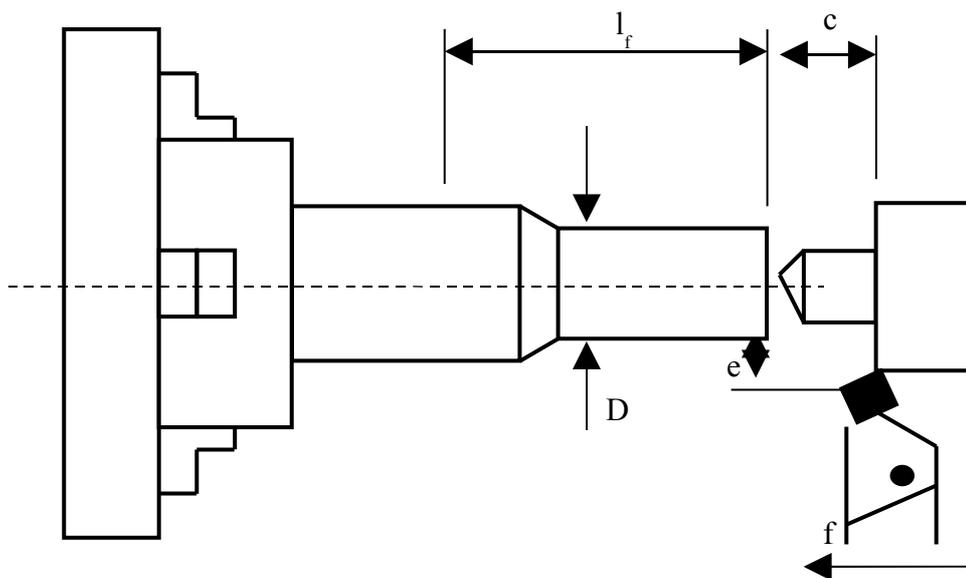
Onde:

$T_a$ : tempo de aproximação e afastamento (min);

$c, e$ : distâncias de aproximação da ferramenta (mm)

$l_f$ : percurso de avanço (mm);

$V_{rap}$ : velocidade em movimento rápido (m/min).



**Figura 2.2:** Processo de torneamento (Carvalho, 1991).

## 2.7 REDUÇÃO DO TEMPO DE FABRICAÇÃO

Os recursos produtivos são gerenciados de tal forma a executar suas funções de forma racional, sem desperdícios e com a máxima simplicidade possível. Para tanto, são utilizadas

técnicas capazes de, isoladamente ou conjuntamente, garantir a concretização de tais objetivos (ALMEIDA, 2003):

1. Migrar do layout funcional para o layout por fluxo;
2. Sincronização e redução das filas;
3. Balanceamento de linhas;
4. Redução do tempo de transporte e movimentação de materiais;
5. Redução do tempo de *setup*;
6. Otimização dos processos, pela redução dos tempos produtivos.

É necessário, no entanto, entender que o objetivo implícito é a redução do desperdício do tempo relativo às atividades do *lead-time* que não agregam valor, tais como o tempo de *setup*, tempo de preparação, tempo de movimentação e tempo demandado em filas (ALMEIDA, 2003).

A seguir, expõem-se duas maneiras pelas quais os tempos de fabricação podem ser reduzidos: redução do tempo de *setup* e otimização de processos.

### **2.7.1 Redução do tempo de *setup***

Atividades de *setup* são requeridas para adaptar sistemas produtivos a mudanças de processamento. *Setups* podem ser desde uma mera ajustagem com o equipamento em funcionamento até uma paralisação do mesmo para troca de ferramentas e dispositivos. Existem para recuperação das condições de uso (reposição de ferramentas devido ao desgaste) ou para alteração de produto, com exigência de novas formas de preparação de máquina, novas ferramentas, dispositivos e calibres. Atividades de *setup*, embora necessárias, são não agregadoras de valor e devem, portanto, ser reduzidas ao máximo possível (ALMEIDA, 2003).

Segundo Slack et al. (2003), os tempos de *setup* podem ser reduzidos por meio de uma variedade de métodos. Por exemplo, eliminar o tempo necessário para a busca de ferramentas e equipamentos, a pré-preparação de tarefas que retardam as trocas e a constante prática de rotinas de *setup*. Normalmente, mudanças mecânicas relativamente simples podem reduzir os tempos de *setup* consideravelmente.

Outra abordagem comum para a redução dos tempos de *setup* é converter o trabalho que era anteriormente executado enquanto a máquina estava parada (denominado *setup* interno), para ser executado enquanto a máquina está operando (denominado *setup* externo).

Têm-se as seguintes maneiras para se reduzir o *setup*, conforme Almeida (2003):

Separar as atividades de *setup* entre internas e externas;

Converter sempre que possível o *setup* interno em *setup* externo;

Eliminar processos de ajustagens dentro do *setup*. Tempo de ajustagem normalmente representa uma grande porcentagem do *setup* interno;

Utilizar tecnologia (servomecanismos, sensores, mecanismos de elevação e suporte) para posicionamento e troca de ferramentas e dispositivos;

Utilizar os conceitos de tecnologia de grupo para formação de família de peças, de tal forma que peças similares possam compartilhar os mesmos dispositivos, no caso de troca de modelos ao longo da linha;

Desenvolver equipes de *setup*, para preparação de máquinas e reposição de ferramentas, e estudar a possibilidade de jornadas diferenciadas para melhor atendimento à produção;

Eliminar o *setup* quando necessário.

Para os processos de usinagem, principalmente os de usinagem pesada, dois itens merecem atenção especial: a reposição de ferramentas e a preparação de máquinas.

### ***Reposição de ferramentas***

O tempo de reposição e o custo das ferramentas podem ser consideravelmente reduzidos pela adoção de programas de gerenciamento de ferramentas de corte. Segundo Boehs; Bortolo e Gonçalves (2002), o gerenciamento proporciona os seguintes benefícios:

Níveis elevados de utilização de máquinas;

Redução do tempo improdutivo, pela redução no tempo de *set-up* das máquinas;

Seleção ótima de ferramentas e compras industriais otimizadas.

Outros benefícios, de acordo com Turino e Possomai (2001), são:

Redução na variedade e quantidade de ferramentas usadas, devido a retirada de itens obsoletos ou inadequados;

Fornecimento *just-in-time* de ferramentas para as máquinas;

Incremento na qualidade dos produtos e disponibilidade imediata das informações;

Adequação aos requisitos das normas ISO 9000.

Para atingir estes benefícios, o gerenciamento deve focar, simultaneamente e de forma integrada, as seguintes questões:

1.Planejamento estratégico: padronização das ferramentas, diminuição de variedades, compra de ferramentas, redução dos componentes em estoque e acompanhamento preciso do consumo;

2.Planejamento logístico: armazenamento das ferramentas, manutenção, a disponibilização, a preparação (montagens/*preset*/desmontagem) e o transporte até a máquina ferramenta;

3.Planejamento técnico: para análise do produto e definição das ferramentas a serem utilizadas, as composições das montagens e determinação dos parâmetros de corte. É importante, neste item, o envolvimento do departamento de métodos e processos.

Em estudo realizado por Boehs; Bortolo e Gonçalves (2002), a constituição de uma equipe responsável pela administração de ferramentas, e a correta gestão deste recurso, significaram uma importante redução nos custos de fabricação, chegando em até 75%.

Com isso, conseguiram reduzir os custos diretos e ainda diminuir falhas na produção, causadas por ferramentas. Os custos indiretos também foram reduzidos, pois diminuíram os tempos de preparação, tempos secundários de fabricação, número de paradas e de peças defeituosas.

### ***Preparação de máquinas***

Uma maneira de aumentar a produtividade nas operações de usinagem é minimizar o tempo total de montagens de máquinas. Isto pode ser obtido reduzindo-se o número de montagens através do aumento do tamanho do lote de peças a usinar.

Uma outra maneira de minimizar o tempo de montagem é selecionar a seqüência de lotes de modo a obter o menor número de ajustes da máquina. Os conceitos de tecnologia de grupo, neste caso, procuram aumentar a eficiência da produção através do agrupamento de peças similares (VILELLA, 1988).

Entretanto, em empresas que trabalham com produção por encomenda, como é o caso de algumas empresas de usinagem pesada, os conceitos de tecnologia de grupo não são totalmente aplicáveis. Assim, outras formas para redução dos tempos de preparação das máquinas devem ser encontradas.

Uma alternativa que pode se mostrar eficiente trata do desenvolvimento de equipes de preparação de máquinas, ou equipes de *setup* (**Figura 2.3**).



**Figura 2.3:** Atuação de equipe de preparação de máquinas em empresa de usinagem pesada.

Esta equipe atuaria no planejamento das montagens de máquina (método de preparação, acessórios de fixação, dispositivos, equipamentos de levantamento) e auxílio ao operador na efetiva preparação. Desta forma, em processos de usinagem pesada, devido às

grandes dimensões e massas das peças envolvidas, os especialistas em preparação seriam responsáveis pela diminuição do tempo de preparação e conseqüente redução do tempo total de fabricação.

A *Figura 2.4* e *Figura 2.5* mostram o resultado final do trabalho de uma equipe de preparação de máquinas em empresa do setor.



*Figura 2.4:* Peça montada e preparada em torno vertical pesado.

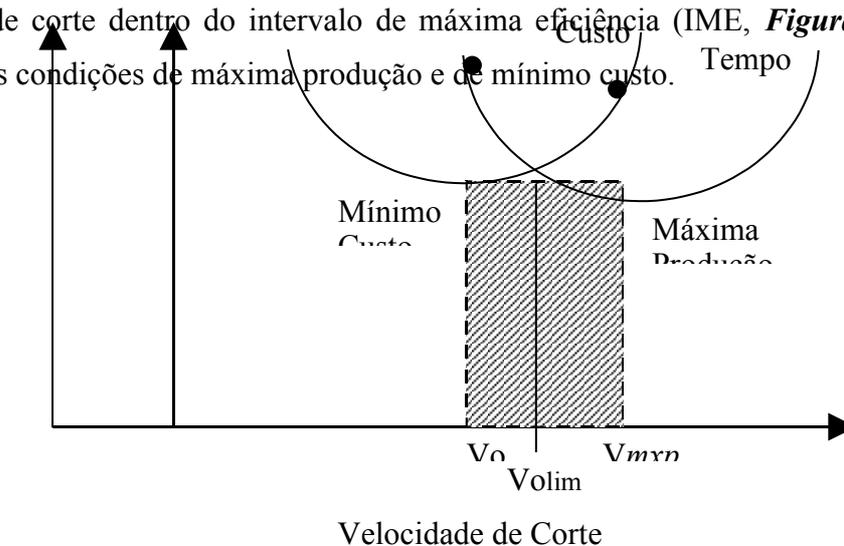


**Figura 2.5:** Peça montada e preparada em mandriladora pesada.

### 2.7.2 Otimização dos processos

A otimização do tempo despendido para a fabricação da peça, quando esta permanece na máquina ferramenta, é importante por ser um dos fatores que determinam o investimento em equipamento e ferramental, que são elementos importantes na formação dos custos industriais. Uma das maneiras de se otimizar a produção diária de peças é a diminuição dos tempos de utilização da máquina ferramenta. Uma análise do processo permite a redução destes tempos através da escolha correta da ferramenta, utilização de avanços e profundidades de corte coerentes com a capacidade da máquina ferramenta, utilização adequada do fluido de corte, etc (Vilella, 1988).

Baptista e Coppini (2002) citam que alguns trabalhos tratam da otimização dos parâmetros de corte para o sistema máquina-ferramenta-peça envolvido, adequando a velocidade de corte dentro do intervalo de máxima eficiência (IME, **Figura 2.6**). Ou seja, com base nas condições de máxima produção e de mínimo custo.



**Figura 2.6:** Intervalo de Máxima Eficiência (BAPTISTA e COPPINI, 2002)

A otimização da velocidade de corte pela determinação do IME em ambiente fabril pode apresentar significativa redução dos tempos de corte, com conseqüente redução dos custos. Entretanto, a determinação do IME não é suficiente para a otimização, pois ele é composto pelas velocidades de corte de máxima produção ( $V_{m\text{xp}}$ ), de mínimo custo limite ( $V_{\text{olim}}$ ) e de mínimo custo ( $V_o$ ).

A definição entre qual destas velocidades de corte será utilizada como referência para otimização merece atenção especial, pois o sistema produtivo possui restrições e/ou características que podem influenciar nesta escolha, conforme mostrado na **Quadro 2.1**.

SITUAÇÕES QUE INFLUENCIAM NA ESCOLHA DO CENÁRIO	INFORMAÇÕES QUE INFLUENCIAM NA ESCOLHA DA $V_c$ (Velocidade de Corte)
Quantidade de peças na programação diária (PG)	Tempo de preparação
Tamanho do lote de cada peça	Situação da carga da máquina
Tamanho do lote formado pela soma de toda a PG	Custo de ferramental
As peças da PG utilizam tecnologia de grupo?	Tempo de troca da ferramenta
Todas as peças da PG são usinadas com a mesma ferramenta? (Para as operações correspondentes)	Utiliza ferramenta padrão
	Situação do estoque da ferramenta
	Sistema de custeio
Os materiais das peças da PG são iguais?	Política do usuário
	Cenário de fabricação

**Quadro 2.1:** Informações que influenciam na escolha da  $V_c$  (BAPTISTA e COPPINI, 2002).

As situações em que a carga da máquina é definida como gargalo são bons exemplos. Obviamente, não é indicada a velocidade de corte de mínimo custo ( $V_0$ ) como velocidade de referência para a otimização, em virtude da necessidade de acelerar o processo produtivo. Portanto, a otimização da velocidade deve ser realizada respeitando, ao mesmo tempo, o IME e o sistema produtivo envolvido. O processo otimizado nesta condição deve apresentar-se, principalmente, pela redução de custos.

# **CAPÍTULO 3**

## **CUSTOS EM USINAGEM**

### **3.1 INTRODUÇÃO**

A meta de toda empresa, sob qualquer sistema econômico, é a produção de bens e serviços, os quais deverão satisfazer as necessidades de seus clientes. Entretanto, a satisfação do cliente é condição necessária, mas não suficiente, para a obtenção de um nível de rentabilidade satisfatória e garantia da sobrevivência num mercado altamente competitivo. Neste contexto, a contabilidade de custos tem duas funções relevantes: no auxílio ao controle e na ajuda às tomadas de decisões. No que diz respeito ao controle, sua mais importante missão é fornecer dados para o estabelecimento de padrões, orçamentos e outras formas de previsão. No que tange à decisão, seu papel consiste na alimentação de informações que dizem respeito às conseqüências de curto e longo prazo sobre medidas de corte de produtos, fixação de preço de venda, opção de compra ou fabricação (MARTINS, 1998).

Com o significativo aumento de competitividade que vem ocorrendo na maioria dos mercados, sejam industriais, comerciais ou de serviços, os custos tornaram-se altamente relevantes quando da tomada de decisões de uma empresa. Isto porque as empresas já não podem mais definir seus preços de acordo com os custos incorridos, e sim com base nos preços praticados no mercado em que atuam.

Nas empresas de manufatura, é de vital importância a existência de um sistema de custeio eficiente. Através deste poder-se-á conhecer os custos alocados ao produto, ou até mesmo inferir no custeamento dos processos. A partir daí os gerentes de fabricação terão um excelente recurso para otimização do processo, baseada na otimização dos custos (SOUZA, PAMPLONA e CARVALHO, 1998).

Com o objetivo de determinar das condições ótimas de usinagem, as quais acarretam os menores custos de produção, é necessário inicialmente se conhecer os custos envolvidos nas operações de usinagem. Com tal conhecimento, e a partir da equação de custo total de fabricação, pode-se inferir na otimização deste processo.

## 3.2 TERMINOLOGIA EM APURAÇÃO DE CUSTOS

Conforme Martins (1998) e Dutra (1992) tem-se a seguinte nomenclatura:

- **Gastos** são sacrifícios financeiros com que a entidade arca para a obtenção de um produto ou serviço qualquer, sacrifício este representado pela entrega ou promessa de entrega de ativos (normalmente dinheiro). Ou seja, gasto é o valor pago ou assumido para se obter a propriedade de um bem, incluindo ou não a elaboração e comercialização;

- **Investimentos** são gastos ativados em função de sua vida útil ou de benefícios atribuíveis a futuros períodos. Todos os gastos que são “estocados” nos ativos da empresa para baixa ou amortização quando de sua venda, de seu consumo, de seu desaparecimento ou de sua desvalorização (depreciação) são chamados investimentos.

- **Custo** é uma parcela do gasto, apenas reconhecido como tal, isto é, como custo, no momento da utilização dos fatores de produção (bens e/ou serviços), para a fabricação de um produto ou execução de um serviço. Pode ser definido também como a soma de todos os valores agregados ao bem desde a sua aquisição até a sua comercialização;

- **Despesa** é um bem ou serviço, consumidos direta ou indiretamente, para a obtenção de receitas. Todos os custos que são ou foram gastos se transformam em despesas quando da entrega dos bens ou serviços a que se referem.

- **Desembolso** é o pagamento resultante da aquisição do bem ou serviço. Pode ocorrer antes, durante ou após a entrada da utilidade comprada, portanto defasada ou não do gasto.

- **Perda** é um bem ou serviço, consumidos de forma anormal e involuntária. Citam-se as perdas com incêndio, obsolescência de estoques, etc.

## 3.3 CUSTOS DE UMA EMPRESA

Dutra (1992) classifica os custos de fabricação, quanto à sua formação, em fixos, variáveis e mistos. Esta classificação, em detrimento à classificação como diretos e indiretos, leva em consideração a relação entre os custos e o volume de atividade numa unidade de tempo. Define os custos fixos como os custos de estrutura que ocorrem período após período sem variações, ou cujas variações não ocorrem como consequência da variação no volume de atividade. Os custos variáveis são definidos como os custos que variam em função da variação do volume da atividade, ou seja, da variação da quantidade produzida no período. Quanto maior o volume de atividade no período, maior será o custo variável e, conseqüentemente, quanto menor o volume de atividade no período, menor será o custo variável.

Os custos podem ser ainda classificados (DUTRA, 1992):

- a) Quanto à sua função: deve ser considerado a função ou centro de custo que está gerando o custo. São classificados em custos de produção, custos administrativos e custos de comercialização;
- b) Quanto à apuração: são classificados em diretos (pode ser apropriado diretamente ao produto) e indiretos (é necessário algum critério de rateio, pois não há como alocar estes custos diretamente aos produtos).

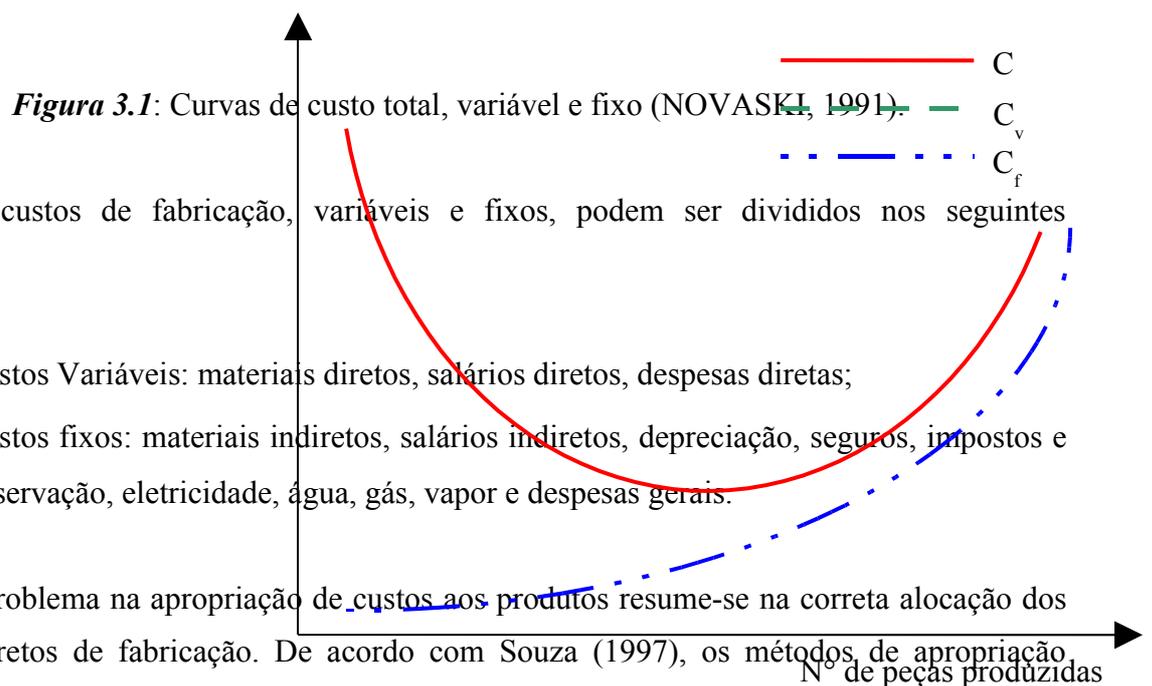
Segundo Novaski (1991), o custo total de fabricação forma-se dos seguintes elementos:

- Uma parcela invariável correspondente aos custos fixos ( $C_f$ );
- Uma parcela que corresponde ao produto dos custos variáveis unitários ( $C_v$ ) pelo número de unidades produzidas ( $Z$ ), num determinado período.

Desta forma, o custo total de fabricação para um número  $Z$  de peças, produzidas num determinado período será, conforme *Equação 3.1* e *Figura 3.1*:

$$C_t = C_v \cdot Z + C_f \quad (3.1)$$

Custos/peça



Uma empresa pode usar mais de uma base para a apropriação de diferentes tipos de custos ou para diferentes departamentos. Quando os produtos recebem atenção e esforços desiguais, à medida que se deslocam pelos diferentes departamentos, as taxas departamentais são preferíveis às taxas calculadas para toda a fábrica. Um benefício adicional dessa forma de

rateio é que os gerentes dos centros de custos ou departamentos são responsabilizados pelos custos indiretos incorridos em suas áreas.

Se para alguns produtos deve ser atribuída uma porção maior dos custos indiretos, a apropriação por linha de produtos é preferível. Este método pode ser usado tanto para decisões de preço quanto para decisões de manutenção ou retirada de um produto, baseadas em margens de lucro. Ainda de acordo com Souza (1997), as apropriações por centros de custos ou linhas de produtos permitem o uso de bases múltiplas, onde as mais usadas são:

- As unidades físicas produzidas;
- O material direto;
- As horas máquina;
- O valor em moeda corrente da mão-de-obra direta;
- As horas de mão-de-obra direta.

As duas últimas são as mais comuns por serem as mais facilmente obtidas.

### **3.4 REPRESENTAÇÃO DOS CUSTOS DE USINAGEM**

Ferraresi (1977) define os seguintes custos por peça, em operações de usinagem:

- $C_t$ : custo total de fabricação;
- $C_{ma}$ : custo da matéria-prima;
- $C_{mi}$ : custo indireto de matéria-prima;
- $C_u$ : custo de usinagem ou confecção;
- $C_{mo}$ : custo de mão-de-obra (ou salário) de usinagem;
- $C_{ui}$ : custo indireto de usinagem;
- $C_{fe}$ : custo das ferramentas (depreciação, troca, afiação);
- $C_m$ : custo da máquina (juros, depreciação, manutenção, espaço ocupado, energia consumida);
- $C_{cq}$ : custo do controle da qualidade;
- $C_{if}$ : custo indireto de fabricação, independente das condições de usinagem;
- $C_v$ : custo proporcional às variações de custo de operações anteriores ou posteriores podendo ser positivos ou negativos.

Destas definições decorre, conforme *Equação 3.2*:

$$C_t = (C_{ma} + C_{mi}) + C_{mo} + C_m + C_{fe} + (C_{cq} + C_{if} + C_v) \quad (3.2)$$

Nesta equação de custo (*Equação 3.2*), há uma parte considerável do custo indireto de usinagem que depende das condições de trabalho, em especial da velocidade de corte ou avanço, ou seja, do tempo de usinagem. Os demais custos podem ser admitidos constantes em primeira aproximação (FERRARESI, 1977).

No presente estudo interessam particularmente os custos que dependem do tempo de usinagem, ou sejam:

- a)  $C_{mo}$ : custo de mão-de-obra;
- b)  $C_m$ : custo da máquina;
- c)  $C_{fe}$ : custo das ferramentas.

Desta forma, a *Equação 3.3*, que define o custo total de usinagem será:

$$C_t = C_{tc} + C_{ti} + C_{tr} + C_{fe} \quad (3.3)$$

Onde:

- $C_t$ : custo total de fabricação (\$/pç);
- $C_{tc}$ : custo devido ao tempo de corte (\$/pç);
- $C_{ti}$ : custo devido aos tempos improdutivos (\$/pç);
- $C_{tr}$ : custo devido ao tempo de reposição da ferramenta (\$/pç);
- $C_{fe}$ : custo das ferramentas (\$/pç).

### 3.4.1 Custo devido ao tempo de corte ( $C_{tc}$ )

O custo do tempo de corte é dado pela *Equação 3.4*:

$$C_{tc} = \frac{(C_m + S_o)}{60} \cdot T_c \quad (3.4)$$

Simplificando, obtém-se a *Equação 3.5*:

$$C_{tc} = \frac{C_m + S_o}{60} \cdot T_c = \frac{C_2}{60} \cdot T_c \quad (3.5)$$

Onde:

$C_{tc}$ : custo do tempo de corte (\$/hora);

$C_m$ : custo da máquina (\$/hora);

$S_o$ : é o custo da mão-de-obra direta (operador) mais encargo social (\$/hora);

$T_c$ : é o tempo de corte (min/pç);

$C_2$ : custos relativos ao tempo de corte (\$/hora).

Novaski (1991) e Carvalho (1991) tratam o custo da máquina como sendo o custo de depreciação da mesma, mais os custos fixos anuais do centro de custo onde ela está localizada, conforme **Equação 3.6**.

$$C_m = \frac{1}{H} \cdot \left[ \left( V_o^* - \frac{K^* \cdot (V_o^* - V_r)}{n} \right) i + C_f \right] \quad (3.6)$$

Onde:

H: número de horas em atividades da máquina por ano, por turno (horas);

$V_o^*$ : valor atual da máquina (\$);

$K^*$ : idade da máquina (anos);

$V_r$ : valor residual da máquina (\$);

n: vida prevista para a máquina (anos);

i: taxa mínima de atratividade para o investimento no equipamento (%);

$C_f$ : custos fixos anuais do centro de custos onde se localiza a máquina (\$).

### 3.4.2 Custo dos tempos improdutivos ( $C_{ti}$ )

O custo dos tempos improdutivos é dado pela **Equação 3.7**:

$$C_{ti} = \frac{C_2}{60} \cdot T_i \quad (3.7)$$

Onde, pela **Equação 3.8**:

$$T_i = T_s + T_a + \frac{T_p}{Z} \quad (3.8)$$

Sendo:

$T_i$ : tempos improdutivos (min);

$T_s$ : tempos secundários;

$T_a$ : tempo de aproximação (min);

$T_p$ : tempo de preparação (min);

$Z$ : número de peças.

### 3.4.3 Custo devido ao tempo de reposição da ferramenta ( $C_{tr}$ )

Este custo é dado, conforme **Equação 3.9**, por:

$$C_{tr} = \frac{C_2}{60} \cdot \left( \frac{1}{Z_t} - \frac{1}{Z} \right) T_{ft} = \frac{C_2}{60} \cdot \left( \frac{T_c}{T} - \frac{1}{Z} \right) T_{ft} \quad (3.9)$$

Onde:

$C_{tr}$ : custo do tempo de reposição (\$/hora);

$C_2$ : custos relativos ao tempo de corte (\$/hora).

$Z_t$ : é o número de peças usinadas por vida (pç/vida);

$Z$ : número de peças a serem usinadas (pç);

$T_{ft}$ : tempo de troca da aresta cortante (min).

### 3.4.4 Custo da ferramenta por vida ( $C_{ft}$ )

O custo da ferramenta por vida, segundo Ferraresi (1977), corresponde ao custo do conjunto intercambiável do porta-pastilha com a pastilha. É dado pela **Equação 3.10**:

$$C_{ft} = \left( \frac{V_{of}}{N_{ft}} + \frac{C_p}{N_p} \right) \quad (3.10)$$

Onde:

$C_{ft}$ : custo da ferramenta por vida (\$/vida);

$V_{of}$ : valor atual do porta pastilha (\$);

$N_{ft}$ : vida média do porta pastilhas expresso em quantidade de arestas cortantes;

$C_p$ ;  $N_p$ : custo atual da pastilha (\$); número de aresta cortante (vidas) da pastilha.

Para Ferraresi (1977), o custo da ferramenta por vida,  $C_{ft}$ , para ferramentas soldadas, é representado pela **Equação 3.11**:

$$C_{ft} = \frac{V_{of}}{N_{ft}} + \frac{C_p}{N_p} + C_{af} \cdot \frac{N_{af}}{N_p} \quad (3.11)$$

Onde:

$C_{af}$ : custo de afiação (\$);

$N_{af}$ : número de afiações da ferramenta efetuadas.

### 3.4.5 Custo da ferramenta por peça ( $C_{fe}$ )

O custo das ferramentas, que compreende o porta-pastilhas e as pastilhas intercambiáveis, expresso em unidades monetárias por peça, á dado pela **Equação 3.12**:

$$C_{fe} = \frac{C_{ft}}{Z_t} = \frac{T_c}{T} \cdot C_{ft} \quad (3.12)$$

Onde:

$C_{fe}$ : custo da ferramenta por peça (\$/pç);

$C_{ft}$ : custo da ferramenta por vida (\$/vida);

$Z_t$ : é o número de peças usinadas por vida.

$T_c$ : é o tempo de corte (min/pç);

$T$ : vida da ferramenta (min).

### 3.4.6 Custo total de usinagem por peça ( $C_t$ )

A equação final do custo de usinagem, **Equação 3.13**, expresso em (\$/pç) é dada por:

$$C_t = \frac{C_2}{60} \cdot \frac{\pi \cdot d \cdot l_f}{1000 \cdot f \cdot V_c} + \frac{C_2}{60} \left( T_a + T_s + \frac{T_p}{Z} \right) + \frac{C_2}{60} \left( \frac{\pi \cdot d \cdot l_f}{1000 \cdot f \cdot V_c} \cdot \frac{V_c^x \cdot f^y \cdot (a_p)^z}{K_1} - \frac{1}{Z} \right) T_{ft} + \frac{\pi \cdot d \cdot l_f}{1000 \cdot f \cdot V_c} \cdot \frac{V_c^x \cdot f^y \cdot (a_p)^z}{K_1} \cdot C_{ft} \quad (3.13)$$

Onde:

$C_2$ : custos relativos ao tempo de corte (\$/hora);

$d$ : diâmetro médio de usinagem (mm);

$l_f$ : percurso de avanço (mm);

$f$ : avanço da ferramenta (mm/rot);

$V_c$ : velocidade de corte (m/min);

$T_s$ : tempos secundários (min);

$T_a$ : tempo de aproximação (min);

$T_p$ : tempo de preparação (min);

$Z$ : número de peças a usinar;

$a_p$ : profundidade de corte (mm);

$x, y, z$  e  $K_1$ : constantes empíricas da fórmula expandida de Taylor;

$T_{ft}$ : tempo de troca da aresta cortante (min);

$C_{ft}$ : custo da ferramenta por vida (\$/vida).

O termo  $T_a$  é dado pela **Equação 2.13**.



# CAPÍTULO 4

## MODELOS MATEMÁTICOS E SIMULAÇÃO

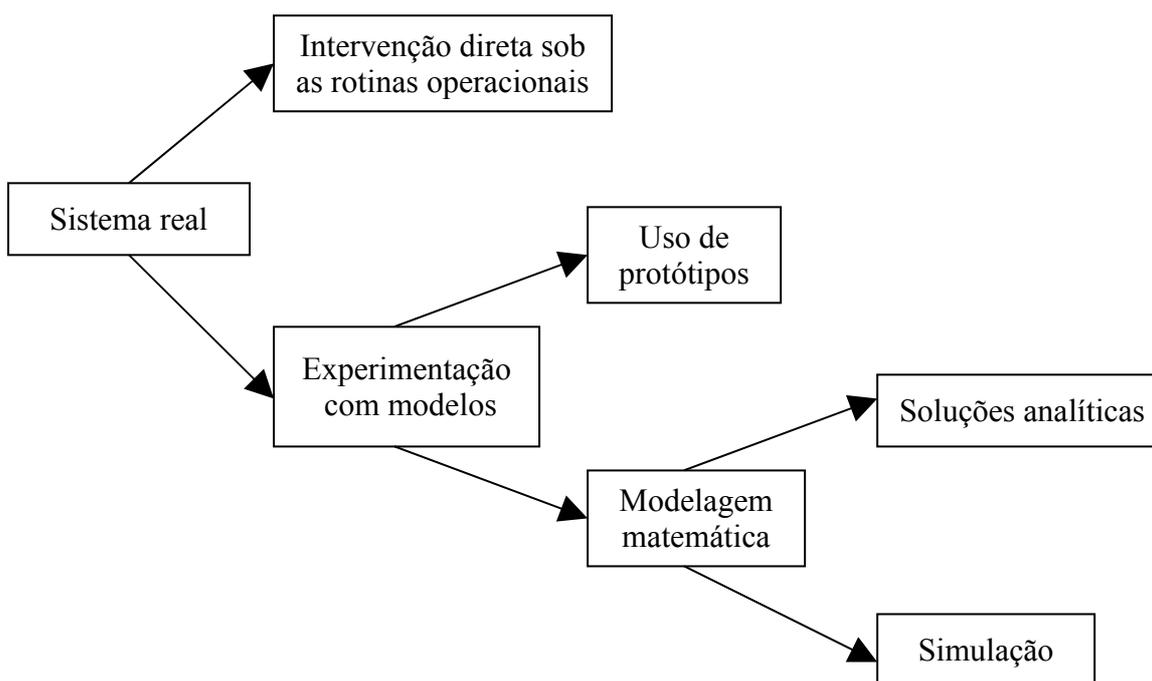
### 4.1 INTRODUÇÃO

A modelagem matemática e a simulação são ferramentas que permitem a geração de cenários, a partir dos quais pode-se: orientar o processo de tomada de decisão, proceder a análises e avaliações de sistemas e propor soluções para melhoria de desempenho. No caso específico das engenharias, a adoção das técnicas de modelagem e simulação pode trazer benefícios, tais como: previsão de resultados na execução de uma determinada tarefa, redução dos riscos na tomada de decisão, identificação de problemas antes de suas ocorrências, eliminação de procedimentos em arranjos industriais que não agregam valor a produção, realização de análises de sensibilidade, redução de custos no emprego de recursos de mão-de-obra, máquinas, energia, água e estrutura física, e a avaliação da integridade e viabilidade de um determinado projeto em termos técnicos e econômicos. Para cada uma destas funções, cabe ao tomador de decisão a condução de estudos preliminares e experiências, de tal forma que a performance do sistema não seja alterada e os resultados procurados sejam alcançados com a confiabilidade necessária. (SILVA, 2006)

### 4.2 MODELOS MATEMÁTICOS

O estudo de sistemas pode ser realizado sob diferentes formas de abordagem, conforme mostrado na *Figura 4.1*. A intervenção direta sob as rotinas do sistema consiste em implementar e/ou alterar rotinas com o objetivo de alcançar uma situação ideal. Este tipo de procedimento requer experiência do profissional de tal forma que as tomadas de decisões não impactem negativamente a performance do sistema.





**Figura 4.1:** Formas de estudo em um sistema (SILVA, 2006).

A experimentação com modelos implica na criação de um modelo que deve representar e/ou demonstrar a forma de funcionamento do sistema real. Os modelos matemáticos se apresentam como soluções analíticas ou soluções numéricas. Os de soluções analíticas, tais como os modelos de regressão linear, constituem uma composição de equações matemáticas destinadas à solução de uma classe específica de problemas. Quanto às soluções numéricas, resultam no emprego de um conjunto de equações para descrever um determinado processo, o que pode dar origem a um modelo matemático de simulação.

Segundo Silva (2006), os modelos matemáticos podem ser classificados em:

**Modelos estáticos:** são estáticos aqueles que possibilitam a descrição do estado do sistema somente para dado momento. Deste modo, geralmente estes modelos não envolvem a variável tempo;

**Modelos estocásticos ou determinísticos:** são modelos estocásticos quando uma ou mais variáveis do modelo são do tipo variável aleatória, enquanto os modelos determinísticos não utilizam variáveis aleatórias;

Modelos discretos ou contínuos: para modelos contínuos o avanço de tempo é procedido de forma contínua em incrementos de tempo com valores iguais. Para modelos discretos o avanço da variável tempo é procedido quando da ocorrência de um evento.

O desenvolvimento de um modelo segue os seguintes passos:

1. Formular o problema:

- a) Selecionar os elementos do sistema global de interesse no estudo a ser realizado;
- b) Fixar a fronteira do novo sistema o qual engloba os elementos selecionados;
- c) Definir os objetivos do estudo;
- d) Selecionar o conjunto de parâmetros de medida de performance do sistema;
- e) Estabelecer o horizonte de tempo;
- f) Identificar os anseios do usuário final.

1. Obter e analisar dados do sistema: isto implica que valores das variáveis de entrada, parâmetros do sistema e medidas de performance devem ser levantados. Por meio da análise estatística, os dados serão caracterizados. E no caso de variáveis aleatórias poderá ser definido o tipo de distribuições mais apropriadas para descrevê-las;

2. Formular e desenvolver o modelo: nesta fase o modelo conceitual deverá ser traduzido em relações lógicas ou matemáticas para que este venha a tomar a forma de modelo computacional;

3. Verificar e validar o modelo: certificar se as rotinas computacionais implementadas geram os valores esperados. Validação consiste na comparação dos dados gerados pelo modelo com os obtidos do sistema real.

4. Documentar o modelo: deve-se documentar as suposições consideradas, os detalhes do desenvolvimento das rotinas computacionais. Isto facilita procedimentos futuros, quando da necessidade de readequação do modelo;

5. Definir tipos de experimentos: visa estabelecer para quais condições dos valores das variáveis de entrada e parâmetros do sistema os resultados gerados pelo modelo são confiáveis;

6. Estabelecer as condições de uso: por meio dos experimentos realizados é definida para quais condições é aplicável o uso do modelo.

### 4.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os métodos estatísticos foram inventados como ferramentas para explicar e prever fenômenos observados no mundo natural. Os modelos desenvolvidos por estes métodos se tornaram essenciais nos negócios e nas ciências. Por exemplo, para projetar um produto, um engenheiro se baseia fortemente em modelos de sistemas físicos. Para avaliar um plano de negócios, um administrador baseia-se em modelos de sistemas econômicos e humanos. (COSTA NETO, 1995)

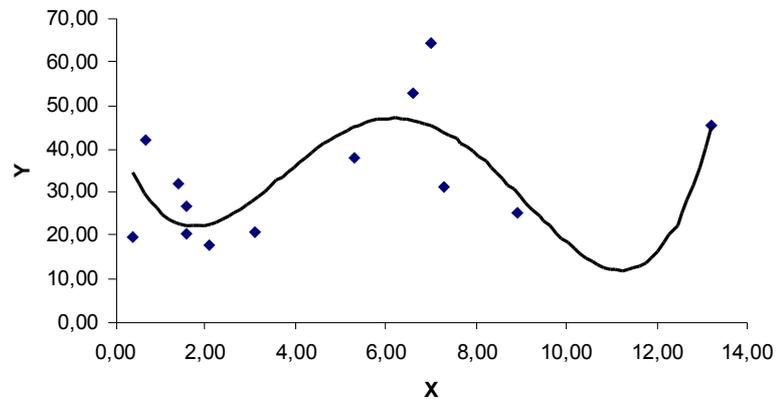
O processo geral de desenvolvimento de um modelo estatístico começa com o planejamento do experimento. Em seguida, quando da execução do experimento, os dados são coletados. Os dados coletados são processados e analisados, resultando finalmente em um modelo matemático. O processo pode se repetir com *loops* adicionais para verificar ou reavaliar o modelo construído. Uma das formas de modelagem matemática através da estatística é a regressão linear.

#### 4.3.1 Regressão linear

Muitas vezes a posição dos pontos experimentais no diagrama de dispersão sugerem a existência de uma relação funcional entre as duas variáveis. Surge então, o problema de se determinar uma função que exprima este relacionamento segundo uma análise de regressão (COSTA NETO, 1995).

Assim, se os pontos experimentais se apresentarem como na **Figura 4.2**, admite-se existir um relacionamento funcional entre os valores Y e X, responsável pelo aspecto do diagrama, e que explica grande parte da variação de Y com X, e vice-versa. Uma parcela da variação, entretanto, permanece em geral sem ser explicada, sendo atribuída ao acaso. Em outras palavras, admite-se existir uma função que justifica, em média, a variação de uma das variáveis com a outra. Na prática, os pontos experimentais terão uma variação em torno da

linha representativa desta função, devido à existência de uma variação aleatória adicional, chamada de variação residual.



**Figura 4.2:** Linha de regressão - Costa Neto (1995)

Para o caso e que se deseja estudar o comportamento de uma variável dependente  $Y$  em função de duas ou mais variáveis independentes, tem-se então, uma regressão múltipla.

#### 4.3.2 *Software de análise estatística: Minitab*<sup>®</sup>

O Minitab<sup>®</sup> é um programa completo para análise estatística e visualização de dados. É uma ferramenta para “virtualizar” qualquer tarefa estatística envolvendo dados reais. Além de projetar e analisar experimentos tem extensas capacidades para projetar gráficos de dados, análise de regressão, séries temporais e previsão, análise de confiabilidade e sobrevivência, análise multivariada, controle estatístico de processos, análise de sistemas de medição, etc.

## 4.4 SIMULAÇÃO

A palavra simulação refere-se a qualquer método analítico cuja intenção é imitar algum sistema real, especialmente quando outras análises são matematicamente complexas. Num contexto mais moderno, em que as simulações são auxiliadas pela informática, Prado

(*apud* Teles e Blanaru, 2002) define: “Simulação é a técnica de solução de um problema pela análise de um modelo que descreve o comportamento do sistema”.

Segundo Barros (2005), as análises por simulação podem ser apropriadas pelas seguintes razões:

1. Permite estudar e experimentar interações internas complexas de um dado sistema;
2. Pode avaliar quais variáveis são mais importantes no sistema e quais destas variáveis se interagem;
3. Serve como um “teste conservativo” para tentar novas saídas e regras de decisões para um sistema de operações;
4. Pode-se estudar os efeitos de uma certa informação, organização ou mudança no meio ambiente sobre operações de um sistema;
5. Quando novos componentes são introduzidos em um sistema, simulações podem ser usadas para ajudar a prever enganos ou outros problemas que podem surgir na operação do sistema;
6. O conhecimento obtido no planejamento de um estudo de simulação freqüentemente sugere modificações do sistema inicialmente simulado;
7. Observações detalhadas do sistema inicialmente simuladas podem levar a um melhor entendimento do sistema e a algumas sugestões para melhorá-los, sugestões estas que de outra maneira não seriam aparentes.

#### ***4.4.1 Método de simulação de Monte Carlo***

O método de simulação de Monte Carlo tem por base a geração de números aleatórios de acordo com parâmetros definidos para as variáveis que compõem o modelo a ser utilizado.

De acordo com Evans e Olson (*apud* Teles e Blanaru, 2002), “a simulação de Monte Carlo é basicamente um experimento amostral cuja proposta é estimar a distribuição de uma variável de saída que dependem de diversas variáveis probabilísticas de entrada”.

O termo “Método de Monte Carlo” se originou do nome da cidade de Mônaco, no Mediterrâneo, conhecida pelos seus cassinos. É uma analogia aos jogos de azar, como a roleta, por exemplo, que é um simples gerador de números aleatórios. Esta técnica foi aplicada inicialmente pelo matemático John Von Neumann, quando ele e seus colegas usaram este método para estudar a difusão de nêutrons durante o desenvolvimento da bomba atômica.

Simulações de Monte Carlo podem ser desenvolvidas em planilhas eletrônicas comuns, como o *Microsoft Excel*, por exemplo, ou com o auxílio de ferramentas desenvolvidas especialmente para essa finalidade, como é o caso do *software Crystal Ball*.

Basicamente, o modelo tem como entradas variáveis que respeitam um certo padrão de distribuição. A partir disso, são gerados números aleatórios para cada uma das variáveis, seguidos os diversos parâmetros da distribuição. A cada iteração, o resultado é armazenado. Ao final de todas as iterações, a seqüência de resultados gerados é transformada em uma distribuição e seus parâmetros, como média e desvio-padrão, por exemplo, podem ser calculados.

A simulação segue, portanto, os seguintes passos:

1. Confecção do modelo matemático a ser utilizado;
2. Definição o formato da distribuição e dos parâmetros para cada uma das variáveis que serão simuladas. Neste passo é definido, por exemplo, o intervalo de variação de cada variável e sua distribuição acumulada de probabilidades;
3. Obtenção de amostras aleatórias para cada variável independente, com base na distribuição acumulada de probabilidades;
4. Através de um número de iterações escolhidas obter as saídas do modelo;
5. As saídas obtidas devem ser armazenadas. É criada, então, uma distribuição de freqüências para a variável de resposta do modelo.

# CAPÍTULO 5

## METODOLOGIA E COLETA DE DADOS

### 5.1 INTRODUÇÃO

A palavra metodologia vem do grego *méthodos*, que significa a arte de dirigir o espírito na investigação da verdade. Sua importância é grandiosa, pois impõe disciplina à investigação, limitando o campo de estudo e fornecendo maior consistência ao resultado da análise e do diagnóstico final (SOARES, COSENZA e GOMES, 2001). A metodologia pode ser vista como conhecimento geral e habilidade que são necessários ao pesquisador para se orientar no processo de investigação, tomar decisões oportunas, selecionar conceitos, hipóteses, técnicas e dados adequados (THIOLLENT, 1986).

O método pode ser definido como um caminho ou o processo pelo qual se chega a um determinado resultado. Difere do conceito de metodologia, pois se ocupa da técnica aplicada na captação da informação, enquanto a metodologia determina como se deve explicar ou interpretar a informação colhida.

Dentre os métodos de pesquisa, quantitativos ou qualitativos, utilizados em engenharia de produção (método experimental, *survey*, estudo de caso, pesquisa participante, pesquisa-ação), apesar da aparente simplicidade de classificação, nem sempre parece possível uma distinção tão clara. Na prática de pesquisa, pode-se encontrar várias situações em que há superposição de conceitos. Portanto, o principal para o pesquisador é uma base de conhecimento a cerca da metodologia de pesquisa suficientemente sólida para que possa conduzir seu trabalho de forma consciente, que leve a resultados válidos (NAKANO e FLEURY, 1996).

### 5.2 MÉTODO DE PESQUISA: ESTUDO DE CASO

O *Quadro 5.1* traz um resumo dos principais métodos de pesquisa utilizados em engenharia de produção e os principais instrumentos de pesquisa utilizados.

<b>Método de Pesquisa</b>	<b>Abordagem principal</b>	<b>Instrumentos</b>
<b>Experimental</b>	Quantitativo	Experimentos
<i>Survey</i>	Quantitativo	Questionários
<b>Estudo de Caso</b>	Qualitativo	Entrevistas e outras fontes
<b>Pesquisa participante</b>	Qualitativo	Observação direta
<b>Pesquisa-ação</b>	Qualitativo	Observação e participação direta

**Quadro 5.1:** Métodos de pesquisa em engenharia de produção (NAKANO e FLEURY ,1996).

O método de pesquisa escolhido foi o estudo de caso. Este método documenta e analisa, com um nível de detalhe apropriado, a atividade de uma organização ou de um pequeno grupo dentro dela. A unidade de análise é a organização como um todo ou um departamento ou setor. Para Yin (*apud* Nakano e Fleury, 1996), o estudo de caso:

- Investiga um fenômeno contemporâneo dentro do contexto da vida real;
- Estuda situações onde as fronteiras entre o fenômeno e seu contexto não são claras;
- Usa múltiplas fontes de informação.

Este tipo de pesquisa se caracteriza pelo estudo detalhado do mundo natural pelo pesquisador e pela tentativa de evitar qualquer comprometimento anterior com qualquer tipo de teoria. Apesar de ser designado como pesquisa qualitativa, pode fazer uso de evidência quantitativa e, em alguns casos, faz uso somente deste tipo de evidência (NAKANO e FLEURY, 1996).

A maior dificuldade neste tipo de pesquisa é a possibilidade de generalização dos resultados. Por outro lado esse é um método bastante utilizado e difundido na engenharia de produção, principalmente para a construção de teorias e prescrições.

## 5.3 METODOLOGIA DE PESQUISA

### 5.3.1 O processo de usinagem pesada

Poderia-se pensar na caracterização de um processo de usinagem pesada de duas formas distintas: pela diferenciação dos parâmetros de corte utilizados (velocidade de corte, avanços ou profundidade de corte) ou pelas capacidades das máquinas e dimensões das peças. Em primeira análise, não seria adequado caracterizar este processo pelos parâmetros de corte. Estes são determinados pelas limitações das ferramentas utilizadas (definidas em catálogos pelos fabricantes) e as próprias limitações do processo produtivo (geometria da peça, rugosidade da peça exigida, etc.). Portanto, opta-se por caracterizar o processo pela capacidade das máquinas e dimensões das peças a serem usinadas.

As dimensões das peças e capacidades das máquinas já pressupõem, intuitivamente, um processo que demanda consideráveis tempos de manobra (colocação e retirada das peças nas máquinas operatrizes, por exemplo), tempos de preparação de máquina e tempos de preparação de ferramentas. Os altos tempos de preparação de ferramentas são traduzidos, por exemplo, pela troca de cabeçotes de usinagem, pesados e de difícil montagem. Os altos tempos de preparação de máquinas e de manobra podem ser traduzidos, por exemplo, pela necessidade de montagem da peça a ser usinada e montagem de dispositivos especiais de fixação (*Figura 5.1*).



*Figura 5.1:* Preparação da placa giratória de torno vertical pesado para montagem de peça.

### 5.3.2 A empresa estudada

A empresa está localizada no interior do estado de São Paulo, sendo especializada em projeto, fabricação e montagem dos principais equipamentos de uma usina hidrelétrica. Seu departamento de fabricação se divide nas seguintes áreas: caldeiraria leve e pesada, usinagem leve e pesada, montagem mecânica, jato, pintura e controle da qualidade. A razão para esta

divisão está no custo associado a cada departamento (taxas horárias diferentes em função da capacidade produtiva), o que determina para cada um deles um centro de custos específico. O objeto de estudo, para medição e análise dos tempos e custos improdutivos, será o departamento de usinagem pesada.

O departamento de usinagem pesada possui, em sua estrutura produtiva, seis máquinas operatrizes, conforme listadas a seguir:

- Três tornos verticais CNC;
- Uma mandriladora CNC;
- Uma mandriladora CN;
- Um torno paralelo CNC.

Sua estrutura de apoio compõe-se, basicamente, de quatro pontes rolantes com capacidades de levantamento que variam de 50 toneladas a 150 toneladas, além de vagões e carretas para transporte das peças em processo.

### ***5.3.3 Caracterização do problema a ser estudado***

Nos processos de usinagem pesada, pela ausência de trabalhos científicos neste setor, ainda não é conhecida a eficiência operacional relativa aos tempos de fabricação. Intuitivamente, devido às características do processo (dimensão e massa das peças e ferramentas, por exemplo), pressupõe-se que sejam altos os tempos de preparação de máquinas, tempos de manobra de peças e reposição de ferramentas. Em relação ao tempo de corte, estima-se que represente de 50% a 60% do tempo total de fabricação. Entretanto, os valores para os tempos improdutivos (preparação, manobra, reposição de ferramentas) e produtivos (tempo de corte) ainda não foram quantificados, impedindo qualquer atuação inicial sobre as causas principais de improdutividade e estudos sobre otimização de processos de corte.

Definindo como foco de pesquisa a improdutividade de um departamento e não dos processos de usinagem pesada, o conhecimento de seus tempos operacionais é o primeiro passo a ser dado quando se deseja controlar e otimizar tempos e custos.

### ***5.3.4 Ensaios e resultados***

Tendo como método de pesquisa o estudo de caso, o objetivo principal nesta etapa é medir e apresentar os tempos improdutivos do departamento de usinagem pesada estudado. Com base nos tempos medidos procura-se, também, avaliar previamente a influência dos custos de improdutividade no custo total de fabricação.

Para medição dos tempos de fabricação e avaliação do custo de improdutividade o estudo foi direcionado pela seguinte metodologia:

1. Delimitações da pesquisa;
2. Escolha das máquinas para medição dos tempos;
3. Definição do método de medição;
4. Medição dos tempos de fabricação;
5. Compilação dos dados de tempos de fabricação e análise dos tempos improdutivos;
6. Custeamento dos processos e análise dos custos de improdutividade.

A seguir são destacados estes pontos para detalhamento.

### ***1. Delimitações da pesquisa***

As seguintes considerações devem ser feitas:

Não há interesse na improdutividade das máquinas ou processos, mas sim na improdutividade do departamento;

Para simplificação do estudo e das medições, a ***Equação 2.1***, que define o tempo total de fabricação, será interpretada por duas parcelas: o tempo de corte e os tempos improdutivos. Onde:

- Tempo de Corte ( $T_c$ ): será composto pelo tempo de remoção de cavacos e pelos tempos de aproximação e afastamento das ferramentas.
- Tempos improdutivos ( $T_i$ ): composto pelos tempos secundários (colocação e retirada da peça, inspeções de qualidade, otimizações de programas CN, ensaios não destrutivos dentro do processo), tempos de preparação de máquinas e tempos de reposição de ferramentas.

Como tempo de preparação de máquinas consideram-se: o tempo de limpeza da placa do torno ou mesa da mandriladora para recebimento de uma nova peça, posicionamento dos elementos de apoio e fixação, nivelamento, alinhamento e centragem da peça. Ou seja, todas as operações necessárias para deixar a peça bruta em condições efetivas de corte.

Como tempo de reposição considera-se todo o tempo necessário para colocação da ferramenta em condições de corte. Inclui, portanto, os tempos de espera na entrega de ferramentas e pastilhas, troca de insertos e afiações, montagens de cabeçotes de usinagem. Os problemas relacionados com tempos gastos por falha na montagem ou qualidade das ferramentas são tratados separadamente.

O tempo para colocação e retirada da peça na máquina não é considerado como tempo de preparação, mas sim como tempo de manobra;

A medição do tempo de fabricação de uma determinada peça inicia-se após a retirada da peça anterior.

## ***2. Escolha das máquinas para medição dos tempos***

Definiu-se uma amostra de três máquinas para medição dos tempos improdutivos do departamento (50% das máquinas operatrizes do setor): dois tornos verticais e uma mandriladora. As características básicas das máquinas escolhidas são listadas nas ***Figuras 5.2 a 5.4***.

### ***1 - Torno vertical Insse TVB:***

Máquina: Torno Vertical Insse TVB	Características Básicas
	Deslocamento do eixo X: 14.600 mm
	Deslocamento do eixo Y: 3.250 mm
	Deslocamento do eixo Z: 5.750 mm
	Altura máxima usinável: 6.000 mm
	Diâmetro máximo usinável: 13.800 mm
	Diâmetro da placa: 10.000 mm
	Carga máxima sobre a placa: 400.000 kg
	Massa do torno: 600.000 kg
	Potência do motor principal: 160 kW
Comando CNC: Fanuc 15M	

**Figura 5.2:** Torno vertical TVB.

## 2 – Torno vertical Shibaúra:

Máquina: Torno Vertical Shibaúra	Características Básicas
	Deslocamento do eixo X: 13.000 mm
	Deslocamento do eixo Z: 2.600 mm (torneamento)
	Deslocamento do eixo Z: 1.250 mm (fresamento)
	Altura máxima usinável: 6.000 mm
	Diâmetro máximo usinável: 12.500 mm
	Diâmetro da placa: 8.000 mm
	Carga máxima sobre a placa: 300.000 kg
	Massa do torno: 480.000 kg
	Potência do motor principal: 200 kW
Comando CNC: Fanuc 18T	

**Figura 5.3:** Torno vertical Shibaúra.

## 3 – Mandriladora Schiess:

Máquina: Mandrilhadora Schiess	Características Básicas
	Altura máxima do fuso à mesa: 5750 mm
	Curso longitudinal do suporte do fuso: 700 mm
	Curso transversal do montante: 15000 mm
	Curso vertical do cabeçote: 5000 mm
	Curso longitudinal do cabeçote: 1700 mm
	Dimensões da mesa: 20000 x 6000 mm
	Carga sobre a mesa fixa: 15000 kg / m <sup>2</sup>
	Potência do motor principal: 85 kW
	Cone do fuso: ISO 70
	Comando CNC: não disponível

*Figura 5.4: Mandriladora Schiess.*

### **3. Definição do método de medição**

O método escolhido para coleta dos tempos de fabricação foi o apontamento de mão-de-obra, realizado pelos próprios operadores de máquina. Foi criada uma planilha específica para apontamento das horas e, para facilitar a compilação dos dados e o próprio preenchimento da planilha pelos operadores, foram criadas duas classes de códigos de improdutividade, conforme descritos a seguir.

#### **- Códigos 900:**

Referem-se aos “tempos mortos” ou tempos improdutivo não relacionados ao processo de usinagem. São elementos de improdutividade em que há pouco ou nenhum controle dentro do processo produtivo. São eles:

- 901: aguardando documentos e decisões;
- 902: aguardando ponte rolante;
- 904: máquina em manutenção;
- 905: treinamento, cursos, aprendizagem;

- 906: palestras, reuniões, saídas autorizadas;
- 907: falta de energia elétrica, ar comprimido, água industrial;
- 908: limpeza e arrumação do setor de trabalho;
- 931: problemas com dispositivos e ferramentas;
- 935: problemas diversos.

### **- Códigos 100:**

São códigos de improdutividade diretamente relacionados ao processo de usinagem. Foram criados de forma a traduzir as fases de um ciclo de usinagem e estão em conformidade com a equação de tempo total de fabricação. São eles:

- 110: preparação de máquina para a peça;
- 111: manobra de peça (entrada na máquina, intermediária, retirada da peça);
- 112: preparação de ferramentas e troca de insertos;
- 113: controle dimensional pelo operador da máquina;
- 114: controle dimensional pelo controle da qualidade;
- 115: otimização de programas CN;
- 116: ensaios não destrutivos (líquido penetrante e ultra-som);
- 117: recuperações dentro do processo (montagens e solda);
- 118: espera pos soldadores e montadores.

### **- Tempo de corte:**

Trata-se do tempo produtivo das operações de usinagem. Conforme já mencionado, os tempos de aproximação e afastamento das ferramentas estão embutidos no tempo de corte.

Na planilha de apontamento de horas de fabricação, o tempo produtivo aparece codificado pelo número da ordem de produção da peça em usinagem. A **Figura 5.5** mostra uma réplica da folha de apontamentos utilizada para coleta dos tempos.



QUADRO DE PROCESSOS MAPEADOS					
Máquina	Processos		Tempo (min)	Tempo (h)	Total (h)
Torno Shibaura	1	Tampa Inferior 1	5190,0	86,5	697,9
	2	Anel de Regulação 1	3167,0	52,8	
	3	Tampa Externa 1	6829,0	113,8	
	4	Cones Suporte 1	3494,0	58,2	
	5	Anel de Regulação 2	6233,0	103,9	
	6	Aranha	16959,0	282,7	
Torno TVB	7	Anel de Regulação 3	13824,0	230,4	521,6
	8	Pré Distribuidor	8225,0	137,1	
	9	Caixa Espiral	9247,0	154,1	
Mandrilhadora Schiess	10	Tampa Superior 1	9129,0	152,2	556,3
	11	Tampa Superior 2	5755,0	95,9	
	12	Cones Suporte 2	3660,0	61,0	
	13	Eixo da Turbina	14831,0	247,2	
<b>Tempo Total de Medição</b>			<b>106543,0</b>	<b>1775,7</b>	<b>1775,7</b>

*Quadro 5.2:* Processos e tempos de fabricação medidos para cada máquina operatriz.

#### ***4. Medição dos tempos de fabricação***

Para organização dos dados, os apontamentos de horas foram recolhidos após o término de cada peça em fabricação. Todos os códigos de fabricação foram somados e, para cada máquina, organizados em planilhas, conforme mostradas no *Apêndice 1*.

#### ***5. Compilação dos dados de tempos de fabricação e análise preliminar dos tempos improdutivos***

Os tempos de fabricação das treze peças foram compilados na *Tabela 5.1*. Todos os valores estão representados em porcentagem do tempo total de fabricação. Apresenta-se, também, as primeiras medidas estatísticas e o teste de normalidade dos dados, obtidos com auxílio do *software* estatístico *Minitab*<sup>®</sup>. Esta tabela será a base de toda a análise dos tempos improdutivos.

Em análise preliminar, verifica-se que os dados estão normalmente distribuídos apenas para os tempos de corte ( $T_c$ ), tempos de preparação de máquina (110), tempos de manobra (111) e tempos de preparação de ferramenta (112). Para os dados em que a distribuição de probabilidades não está normalmente distribuída, deverão ser realizados testes para verificar qual a distribuição de probabilidades que melhor se ajusta.

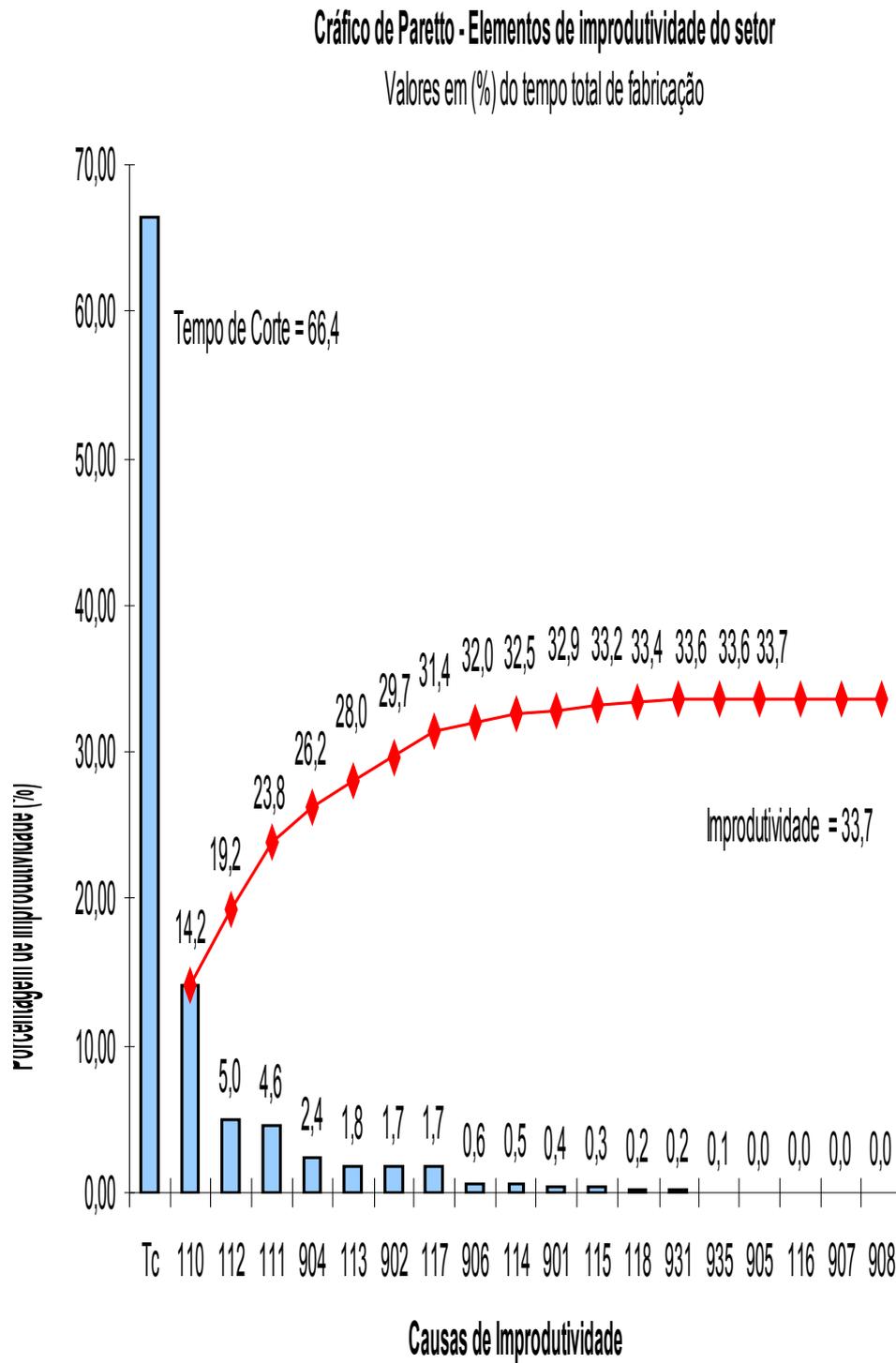
A **Figura 5.6** mostra, pelas médias dos tempos de cada código de fabricação, quais fatores são, em primeira análise, mais significantes à improdutividade. Vê-se que os tempos improdutivos são responsáveis por 33,7% do tempo total de fabricação. A produtividade (ou tempo de corte) está inicialmente quantificada em 66,3% do tempo total. Os fatores mais significantes à improdutividade são: tempo de preparação de máquinas (14,2%), tempo com preparação de ferramentas (5,0%) e o tempo gasto com manobras (4,6%).

Os resultados acima apresentados são baseados numa análise simplista dos dados. Mas são importantes, pois mostraram que os tempos improdutivos são altos e merecem uma análise mais apurada.

DISTRIBUIÇÃO GERAL DOS DADOS POR PROCESSOS / TESTE DE NORMALIDADE DAS VARIÁVEIS																			
CÓDIGOS DE FABRICAÇÃO		PROCESSOS												Teste de Normalidade (Fonte: Minitab)					
		Torno Shibaúra					Torno TVB			Mandrilladora Schiess				Média	Desvio Padrão	A-squared	P-value	Distribuição Normal? P-value > 0,05	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12						13
Tempo de Corte	Tc	74,60	47,00	54,90	35,30	68,00	57,90	80,40	68,80	73,10	82,00	79,10	61,90	79,50	66,35	14,32	0,421	0,275	Sim
Tempo Total Improdutivo	Ti	25,50	52,90	45,30	64,60	32,10	42,10	19,60	31,20	26,90	18,00	20,80	38,00	20,60	33,66	14,30	0,421	0,275	Sim
Preparação de Máquina	110	11,10	17,90	12,20	34,10	8,50	17,80	5,70	7,80	18,00	8,20	8,10	22,10	13,20	14,21	7,82	0,636	0,075	Sim
Manobra	111	8,90	6,60	13,20	7,00	1,40	0,70	0,40	7,30	1,60	2,10	3,10	5,30	1,60	4,55	3,87	0,558	0,119	Sim
Preparação de Ferramenta	112	4,50	7,40	10,70	3,50	7,20	9,70	5,10	9,40	2,30	2,00	1,30	0,00	2,40	5,04	3,52	0,356	0,401	Sim
Controle pelo Operador	113	0,60	4,50	1,80	5,20	5,70	1,20	2,40	0,40	0,80	0,00	0,00	0,00	0,50	1,78	2,05	1,045	0,006	Não
Controle pelo CQ	114	0,00	0,20	0,30	4,30	1,00	0,30	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,70	0,55	1,17	2,547	0,000	Não
Otimização de Programa CN	115	0,00	1,10	0,40	0,10	0,30	0,20	1,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	0,55	2,038	0,000	Não
Ensaio Não Destrutivo	116	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	Não
Recuperações	117	0,00	11,40	0,00	0,00	3,90	0,20	0,90	0,00	0,40	2,30	3,10	0,00	0,00	1,71	3,20	1,975	0,000	Não
Aguardando Soldador/Montador	118	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	0,00	0,00	0,00	0,18	0,37	3,018	0,000	Não
Aguardando Decisões	901	0,00	0,00	4,20	0,00	0,20	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,35	1,16	4,009	0,000	Não
Aguardando Ponte Rolante	902	0,00	2,80	0,00	1,10	1,50	2,20	0,00	0,00	0,90	1,20	1,30	9,80	1,60	1,72	2,58	1,783	0,000	Não
Parada por Manutenção	904	0,00	0,00	0,80	9,30	0,90	8,80	2,10	3,10	0,60	1,60	3,60	0,00	0,60	2,42	3,16	1,379	0,001	Não
Treinamento de Operador	905	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,08	4,408	0,000	Não
Palestras e Reuniões	906	0,40	0,00	1,70	0,00	0,50	0,70	0,40	3,20	0,30	0,00	0,30	0,00	0,00	0,58	0,91	1,818	0,000	Não
Falta de Energia, Água e Ar	907	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	Não
Limpeza	908	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,000	Não
Problemas com Dispositivos	931	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	0,55	3,826	0,000	Não
Problemas Diversos	935	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	0,00	0,80	0,00	0,08	0,23	3,474	0,000	Não

Valores representados em (%) do Tempo Total de Fabricação

**Tabela 5.1:** Compilação dos tempos de fabricação para as treze peças estudadas.



**Figura 5.6:** Improdutividade do departamento de usinagem pesada – resultado preliminar.

## ***6. Custeamento dos processos e análise preliminar dos custos de improdutividade***

Para custeamento dos processos e avaliação preliminar da influência dos custos de improdutividade sobre o custo total de fabricação, a equação para custo total de fabricação foi reescrita conforme a ***Equação 5.1***:

$$C_t = C_{tc} + C_{pm} + C_{pf} + C_{man} + C_{mat} + C_{co} + C_{esp} + C_{cq} + C_{ocn} \quad (5.1)$$


Custos dos tempos improdutivos

Onde:

Custo do tempo de corte ( $C_{tc}$ ):

(custo máquina + custo operador). tempo de corte

Custo de preparação de máquina ( $C_{pm}$ ):

(custo máquina + custo operador).tempo de preparação de máquina

Custo de preparação de ferramenta ( $C_{pf}$ ):

(custo máquina + custo operador).tempo de preparação de ferramenta

Custo de manobra ( $C_m$ ):

(custo máquina+ custo operador + custo manobrista).tempo de manobra

Custo de manutenção ( $C_{man}$ ):

(custo máquina + custo operador + custo manutenção).tempo de manutenção

Custo de controle pelo operador ( $C_{co}$ ):

(custo máquina + custo operador).tempo de controle

Custo de espera ( $C_{esp}$  – ponte, solda e montagem):

(custo máquina + custo operador).tempo de espera

Custo de controle pela qualidade ( $C_{cq}$ ):

(custo máquina + custo operador + custo controlador).tempo de controle

Custo de Otimização de Programas ( $C_{ocn}$ ):

(custo máquina + custo operador).tempo de otimização de programa CN

Custo de recuperações ( $C_{rec}$ ):

(custo máquina + custo operador + custo soldador/montador).tempo recuperação

Baseando-se na **Equação 5.1**, e nos tempos de fabricação medidos, todos os processos estudados foram custeados. O custeamento foi realizado aplicando-se, para cada tempo de fabricação, as taxas horárias referentes ao custo do operador de máquina, custo da máquina, custo do controlador de qualidade, etc. A **Tabela 5.2** apresenta, em valores percentuais, para cada uma das treze peças, a influência do custo dos tempos de corte e dos custos de improdutividade sobre o custo total de fabricação.

Uma melhor visualização do impacto dos custos improdutivos sobre o custo total de fabricação pode ser obtida através da **Figura 5.7**. Observa-se, em primeira análise, que os custos improdutivos representam 34,7% do custo total de fabricação no departamento estudado. Os custos com tempo de corte correspondem a 65,3% do custo total.

Analogamente aos tempos de fabricação, os resultados inicialmente apresentados são baseados numa análise simplista dos dados. Entretanto, os custos dos tempos improdutivos representam uma grande parcela do custo total de fabricação. Merecem, portanto, uma análise mais detalhada.



INFLUÊNCIA DOS CUSTOS IMPRODUTIVOS NO CUSTO TOTAL DE FABRICAÇÃO															
CÓDIGOS DE FABRICAÇÃO		PROCESSOS											Média		
		Torno Shibaúra					Torno TVB			Mandrilhadora Schiess					
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		12	13
Tc	Tempo de Corte	74,3%	44,6%	54,6%	34,9%	66,5%	55,7%	79,4%	68,8%	72,8%	80,4%	76,7%	61,6%	79,0%	65,3%
Tl	Tempo Total Improdutivo	25,7%	55,4%	45,4%	65,1%	33,5%	44,3%	20,6%	31,2%	27,2%	19,6%	23,3%	38,4%	21,0%	34,7%
110	Preparação de Máquina	11,0%	17,0%	12,1%	33,8%	8,3%	17,1%	5,6%	7,8%	17,9%	8,0%	7,8%	22,0%	13,1%	14,0%
111	Manobra de Peça	9,6%	6,8%	14,2%	7,5%	1,4%	0,8%	0,4%	7,9%	1,7%	2,2%	3,3%	5,7%	1,7%	4,9%
112	Preparação de Ferramenta e Troca de Insertos	4,4%	7,0%	10,6%	3,5%	7,0%	9,3%	5,0%	9,4%	2,3%	1,9%	1,3%	0,0%	2,3%	4,9%
113	Controle Dimensional pelo Operador	0,6%	4,3%	1,7%	5,2%	5,6%	1,2%	2,3%	0,4%	0,8%	0,0%	0,0%	0,0%	0,5%	1,7%
114	Controle Dimensional pelo CQ	0,0%	0,2%	0,4%	0,1%	1,2%	0,3%	0,4%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,9%	0,3%
115	Otimização de Programa CN	0,0%	1,0%	0,4%	0,1%	0,3%	0,2%	1,8%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,3%
116	Ensaio Não Destrutivos (LPIUS)	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
117	Recuperações (Solda/Montagem)	0,0%	15,3%	0,0%	0,0%	5,5%	0,3%	1,2%	0,0%	0,6%	3,2%	4,3%	0,0%	0,0%	2,3%
118	Aguardando Soldador e Montador	0,0%	1,0%	0,0%	0,0%	0,9%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,2%
901	Aguardando Disp., Fer., Doc., e Decisões	0,0%	0,0%	4,2%	0,0%	0,2%	0,0%	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,4%
902	Aguardando Ponte Rolante	0,0%	2,7%	0,0%	1,1%	1,5%	2,2%	0,0%	0,0%	0,9%	1,1%	1,3%	9,8%	1,6%	1,7%
904	Máquina em Manutenção	0,0%	0,0%	1,2%	13,8%	1,3%	12,6%	3,1%	4,6%	1,0%	2,4%	5,3%	0,0%	0,9%	3,6%
905	Treinamento, Cursos, Aprendizagem	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
906	Palestras, Reuniões, Saídas Autorizadas	0,1%	0,0%	0,6%	0,0%	0,2%	0,2%	0,1%	1,1%	0,1%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,2%
907	Falta de Energia Elétrica, Ar, Água Industrial	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
908	Limpeza e Arrumação	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
931	Problemas com Disp., Ferramentas e Fixação	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,3%	0,0%	2,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,2%
935	Problemas Diversos	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,3%	0,0%	0,8%	0,0%	0,1%
Total		100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

**Tabela 5.2:** Custos dos processos x custo total de fabricação





# CAPÍTULO 6

## ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 INTRODUÇÃO

No capítulo 5 são apresentados os resultados preliminares das medições dos tempos de fabricação em processos de usinagem pesada. Verificou-se que os tempos improdutivos e os custos a eles associados respondem por uma parcela significativa do tempo e custo total de fabricação. É justificável, portanto, que os dados coletados recebam um melhor tratamento e análise. Através de ferramentas apropriadas à análise dos dados, será possível avaliar com maior segurança e comprovar o real impacto da improdutividade sobre os tempos e custos de fabricação do departamento. Assim, as futuras ações e decisões para aumento da produtividade e redução dos custos estarão fundamentadas pelo rigor científico utilizado no tratamento dos dados coletados.

### 6.2 MÉTODO PARA ANÁLISE DOS DADOS

Para atender aos objetivos propostos, foi criado o seguinte método para direcionamento da análise dos dados e resultados:

***- Para análise dos tempos improdutivos:***

1. Determinação inicial dos códigos de fabricação significativos à improdutividade;
2. Construção do modelo matemático inicial para o tempo total improutivo;
3. Análise de sensibilidade do tempo total improutivo em função dos códigos inicialmente definidos como os mais significativos;
4. Determinação final dos códigos de fabricação realmente significativos à improdutividade;
5. Construção e validação do modelo matemático definitivo para o tempo total improutivo;
6. Simulação de Monte Carlo (através do *Microsoft Excel* e *Crystal Ball*).

**- Para análise dos custos improdutivos:**

1. Determinação dos custos de improdutividade significativos;
2. Construção e validação do modelo matemático para o custo total improdutivo;
3. Análise da sensibilidade do custo total improdutivo em função dos custos de improdutividade significativos;
4. Simulação de Monte Carlo (através do *Microsoft Excel* e *Crystal Ball*).

### **6.2.1 Análise dos tempos improdutivos**

As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do *software* estatístico *Minitab*.

#### **1. Determinação inicial dos códigos de fabricação significativos à improdutividade**

A determinação das variáveis significativas à improdutividade foi realizada através de regressão linear. Alguns códigos de fabricação foram desconsiderados na análise, pois apresentaram valores nulos em todas as observações. São eles:

- Ensaio não destrutivo (código 116);
- Falta de energia (código 907);
- Limpeza do setor de trabalho (código 908).

A **Tabela 6.1** mostra, através da regressão, que os tempos improdutivos significativos são:

- Preparação de Máquina (código 110);
- Manobra (código 111);
- Preparação de ferramentas (código 112);
- Controle dimensional pelo controle da qualidade (código 114);
- Recuperações (código 117);
- Espera por decisões (código 901);

Espera por ponte rolante (código 902);

Parada de máquina por manutenção (código 904);

Horas de treinamento de funcionário (código 905).

DETERMINAÇÃO INICIAL DOS FATORES SIGNIFICATIVOS À IMPRODUTIVIDADE														
Fonte: Minitab (Best Subsets Regression: Tempo Total Improdutivo x Códigos de Fabricação)														
Vars	R-Sq	R-Sq (adj)	c-p	S	Preparação de Máquina	Manobra	Preparação de Ferramentas	Controle pelo CQ	Recuperações	Aguardando Decisões	Aguardando Ponte Rolante	Paradas por Manutenção	Treinamento	Problemas Diversos
					110	111	112	114	117	901	902	904	905	935
1	62,5	59,0	240,0	9,1654	X									
1	40,7	35,3	384,0	11,516				X						
2	89,2	87,0	64,7	5,1589	X		X							
2	74,1	68,9	164,8	7,984	X	X								
3	93,9	91,9	35,2	4,0695	X		X		X					
3	92,2	89,6	46,7	4,616	X		X						X	
4	96,4	94,6	21,0	3,3355	X	X	X		X					
4	95,7	93,5	25,6	3,6455	X		X		X				X	
5	97,3	95,4	16,6	3,0563	X	X	X	X	X					
5	97,1	95,0	18,4	3,2072	X	X	X		X			X		
6	98,9	97,7	8,6	2,1709	X	X	X	X	X		X			
6	98,7	97,4	9,5	2,293	X	X	X	X	X					X
7	99,2	98,2	8,0	1,9359	X	X	X	X	X		X	X		
7	99,1	97,9	8,7	2,0569	X	X	X		X		X	X	X	
8	99,5	98,6	8,2	1,7162	X		X		X	X	X	X	X	
8	99,5	98,4	8,5	1,79	X	X	X	X	X	X	X	X		
9	99,7	98,8	9,0	1,5771	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
9	99,5	98,1	10,2	1,9816	X	X	X		X	X	X	X	X	X
10	99,7	98,2	11,0	1,9265	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Tabela 6.1: Códigos de fabricação significativos à improdutividade

## 2. Construção do modelo matemático inicial para o tempo total improdutivo

Para construção do modelo matemático inicial, utilizou-se os códigos de fabricação definidos como significativos no item anterior. O modelo matemático, representado pela *Equação 6.1*, foi construído através de regressão linear múltipla.

$$TI = -1,22 + 1,13.(110) + 0,554.(111) + 1,83.(112) + 1,50.(114) + 1,19.(117) + (6.1) + 1,05.(901) + 1,13.(902) + 0,991.(904) - 23,0.(905)$$

A *Tabela 6.2* apresenta as medidas estatísticas utilizadas na obtenção da equação de regressão.

MODELO MATEMÁTICO INICIAL PARA DETERMINAÇÃO DO TEMPO TOTAL IMPRODUTIVO					
Fonte: Minitab (Regression - Regression)					
$TI = -1,22 + 1,13*(110) + 0,554*(111) + 1,83*(112) + 1,50*(114) + 1,19*(117) + 1,05*(901) + 1,13*(902) + 0,991*(904) - 23,0*(905)$					
Predictor		Coef	SE coef	T	P
Constant		-1,222	1,940	-0,63	0,573
Preparação de Máquina	110	1,1317	0,1478	7,66	0,005
Manobra	111	0,5543	0,2297	2,41	0,095
Preparação de Ferramenta	112	1,8339	0,2675	6,85	0,006
Controle pelo CQ	114	1,502	1,114	1,32	0,279
Recuperações	117	1,186	0,1708	6,94	0,006
Aguardando Decisões	901	1,0502	0,6121	1,72	0,185
Aguardando Ponte Rolante	902	1,1323	0,2666	4,25	0,024
Paradas por Manutenção	904	0,9913	0,3833	2,59	0,081
Treinamento	905	-23,01	15,68	-1,47	0,239
S = 1,572		R-Sq = 99,7%		R-Sq(adj) = 98,8%	
Análise de Variância					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	9	2453,53	272,61	109,61	0,001
Residual Error	3	7,46	2,49		
Total	12	2460,99			

*Tabela 6.2*: Modelo matemático inicial para o tempo total improdutivo.

Da *Tabela 6.2*, observa-se que o modelo matemático obtido é válido, pois permite prever, com um coeficiente de determinação de 98,8%, o tempo total improdutivo em função dos códigos improdutivos de fabricação.

### ***3. Análise de sensibilidade do tempo total improdutivo em função dos códigos inicialmente definidos como os mais significativos***

A análise de sensibilidade tem como função principal estudar a sensibilidade do tempo total improdutivo com relação à variação individual de cada um dos códigos improdutivos de fabricação. Procura, portanto, estabelecer uma ordem de significância para as variáveis independentes.

Verifica-se que, tendo como base a *Equação 6.1*, para um acréscimo individual de 10% em cada um dos tempos improdutivos de fabricação, o tempo total improdutivo responde com maior significância às seguintes variáveis, em ordem decrescente de importância:

1.Preparação de máquinas (110):	+ 4,77% no tempo total improdutivo
2.Preparação de ferramentas (112):	+ 2,74% no tempo total improdutivo
3.Manobra (111):	+ 0,75% no tempo total improdutivo
4.Parada por manutenção (904):	+ 0,71% no tempo total improdutivo
5.Recuperações de peça (117):	+ 0,60% no tempo total improdutivo
6.Espera por ponte rolante (902):	+ 0,58% no tempo total improdutivo
7.Controle pelo CQ (114):	+ 0,25% no tempo total improdutivo
8.Espera por decisões (901):	+ 0,11% no tempo total improdutivo
9.Treinamento (905):	- 0,14% no tempo total improdutivo

O mesmo comportamento se repete em todas as variações percentuais testadas individualmente em cada um dos tempos improdutivos. Portanto, a sensibilidade do tempo total de fabricação em relação aos códigos de fabricação obedece à ordem definida acima.

#### ***4.Determinação final dos códigos de fabricação realmente significativos à improdutividade***

Deseja-se uma maior simplificação do modelo matemático para o tempo total improdutivo, com menos variáveis independentes, mas que ainda permita prever a improdutividade total com um nível aceitável de confiança. Com um número menor de variáveis, a construção da simulação será também simplificada.

Nesta nova análise de regressão, representada na **Tabela 6.4**, foram definidas como realmente significativas à improdutividade as seguintes variáveis:

Preparação de máquinas (110);

Preparação de ferramentas (112);

Recuperações (117);

Manobra (111).

Observa-se, na **Tabela 6.4**, que o código 904 (paradas por manutenção) foi descartado como significativo. Entretanto, ao observar os resultados da análise de sensibilidade, vê-se que o tempo total improdutivo é mais sensível às variações do código 904 (manutenção) do que às variações do código 117 (recuperações). Portanto, para construção do modelo matemático definitivo, foi incluído o código 904 (manutenção).

Em ordem de significância, as variáveis realmente significativas à improdutividade serão, portanto:

1.Preparação de máquinas (110);

2.Preparação de ferramentas (112);

3.Manobra (111);

4.Parada por manutenção (904);

5.Recuperações de peça (117).

DETERMINAÇÃO FINAL DAS VARIÁVEIS SIGNIFICATIVAS À IMPRODUTIVIDADE									
Fonte: Minitab (Regression - Stepwise)									
Alpha - to - Enter: 0,15		Alpha - to - Remove: 0,15							
Response is Tempo Total Improdutivo on 9 predictors, with N = 13									
Step	1	2	3	4					
Constant	13,0811	-0,2812	-1,6636	-1,9856					
Preparação de Máquina - 110	1,45	1,63	1,65	1,56					
T - Value	4,28	8,4	10,74	11,93					
P - Value	0,001	0,000	0,000	0,000					
Preparação de Ferramentas - 112		2,14	2,04	1,74					
T - Value		4,97	5,96	5,62					
P - Value		0,001	0,000	0,000					
Recuperações - 117			0,98	1,04					
T - Value			2,66	3,41					
P - Value			0,026	0,009					
Manobra - 111				0,65					
T - Value				2,32					
P - Value				0,049					
S	9,17	5,16	4,07	3,34					
R-Sq	62,45	89,19	93,94	96,38					
R-Sq (adj)	59,04	87,02	91,92	94,57					
C - p	362,5	100	54,9	32,8					
Variáveis Envolvidas na Análise									
	110	111	112	114	117	901	902	904	905

**Tabela 6.4:** Definição das variáveis realmente significativas à improdutividade

### ***5. Construção e validação do modelo matemático definitivo para o tempo total improdutivo***

Analogamente ao caso anterior, o modelo matemático definitivo representado pela **Equação 6.2**, foi obtido através da regressão linear múltipla.

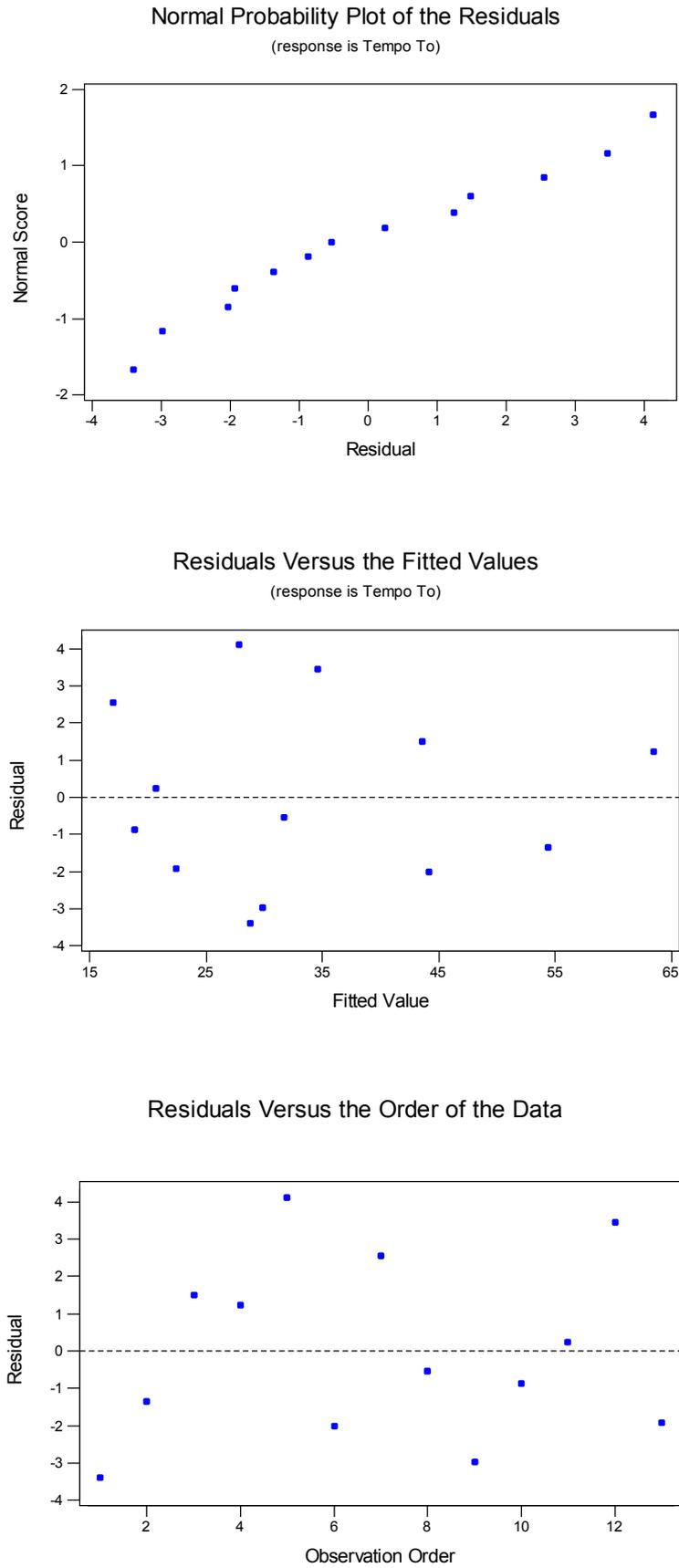
$$TI = -1,20 + 1,41.(110) + 0,857.(111) + 1,48.(112) + 1,20.(117) + 0,559.(904) \quad (6.2)$$

MODELO MATEMÁTICO DEFINITIVO PARA O TEMPO TOTAL IMPRODUTIVO					
Fonte: Minitab (Regression - Regression)					
$TI = -1,20 + 1,41*(110) + 0,857*(111) + 1,48*(112) + 1,20*(117) + 0,559*(904)$					
Predictor		Coef	SE coef	T	P
Constant		-1,197	2,641	-0,45	0,664
Preparação de Máquina	110	1,4148	0,1691	8,37	0,000
Manobra	111	0,8566	0,3134	2,73	0,029
Preparação de Ferramenta	112	1,4788	0,358	4,13	0,004
Recuperações	117	1,2004	0,3187	3,77	0,007
Paradas por Manutenção	904	0,5585	0,4344	1,29	0,239
S = 3,207		R-Sq = 97,1%		R-Sq(adj) = 95,0%	
Análise de Variância					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	5	2388,99	477,80	46,45	0,000
Residual Error	7	72,00	10,29		
Total	12	2460,99			

**Tabela 6.5:** Modelo matemático definitivo para o tempo total improdutivo

A **Tabela 6.5** apresenta as medidas estatísticas para obtenção da equação de regressão. Observa-se que o modelo matemático definitivo, apesar da diminuição do número de variáveis, ainda é capaz de representar, com uma confiança de 95,0%, o tempo total improdutivo em função dos códigos improdutivos de fabricação. A análise dos resíduos, apresentada na **Figura 6.1**, também apresentou resultado satisfatório, pois os resíduos estão normalmente distribuídos.

Para comprovação final da eficácia do modelo matemático representado pela **Equação 6.2**, é necessário submetê-lo a uma validação com os dados reais coletados no chão de fábrica. A validação do modelo, apresentada pela **Tabela 6.6**, apresentou um desvio médio de -3,2% no valor do tempo total improdutivo calculado pelo modelo, em relação ao tempo total improdutivo real. Portanto, o modelo pode ser considerado eficaz.



**Figura 6.1:** Análise dos resíduos para o modelo definitivo do tempo total improdutivo.

VALIDAÇÃO DO MODELO DEFINITIVO PARA ESTIMATIVA DO TEMPO TOTAL IMPRODUTIVO								
Valores Reais Medidos				Valor Calculado através do Modelo Definitivo para Improdutividade				
Processo	Tempo Total de Fabricação	Tempos Improdutivos		Tempo Total Improdutivo	Tempo Total Improdutivo	Tempo Total Improdutivo	Tempo de Corte	Desvio
	min	min		min	(%) * Tempo Total de Fabricação	min	min	%
1	5190	110	11,10	1316,00	28,74	1491,52	5161,26	13,34
		111	8,90					
		112	4,50					
		117	0,00					
		904	0,00					
2	3167	110	17,90	1679,00	54,33	1720,54	3112,67	2,47
		111	6,60					
		112	7,40					
		117	11,40					
		904	0,00					
3	6829	110	12,20	3080,00	43,20	2949,96	6785,80	-4,22
		111	13,20					
		112	10,70					
		117	0,00					
		904	0,80					
4	3494	110	34,10	2262,00	58,61	2047,79	3435,39	-9,47
		111	7,00					
		112	3,50					
		117	0,00					
		904	9,30					
5	6233	110	8,50	1995,00	27,37	1706,22	6205,63	-14,48
		111	1,40					
		112	7,20					
		117	3,90					
		904	0,90					
6	16959	110	17,80	7144,00	39,61	6717,99	16919,39	-5,96
		111	0,70					
		112	9,70					
		117	0,20					
		904	8,80					
7	13824	110	5,70	2708,00	15,93	2202,40	13808,07	-18,67
		111	0,40					
		112	5,10					
		117	0,90					
		904	2,10					
8	8225	110	7,80	2565,00	30,15	2479,76	8194,85	-3,32
		111	7,30					
		112	9,40					
		117	0,00					
		904	3,10					
9	9247	110	18,00	2487,00	29,47	2725,15	9217,53	9,58
		111	1,60					
		112	2,30					
		117	0,40					
		904	0,60					
10	9129	110	8,20	1644,00	17,98	1641,04	9111,02	-0,18
		111	2,10					
		112	2,00					
		117	2,30					
		904	1,60					
11	5755	110	8,10	1200,00	18,73	1078,15	5736,27	-10,15
		111	3,10					
		112	1,30					
		117	3,10					
		904	3,60					
12	3660	110	22,10	1395,00	34,50	1262,81	3625,50	-9,48
		111	5,30					
		112	0,00					
		117	0,00					
		904	0,00					
13	14831	110	13,20	3046,00	22,37	3317,78	14808,63	8,92
		111	1,60					
		112	2,40					
		117	0,00					
		904	0,60					

-3,20

Tabela 6.6: Validação do modelo matemático definitivo.

## 6. Simulação de Monte Carlo

O objetivo da simulação é fornecer distribuições de probabilidade para o tempo total improdutivo, para análise de sua influência sobre o tempo total de fabricação.

### *Definição do intervalo de variação e da distribuição de probabilidades acumuladas para cada tempo improdutivo*

Interessa-nos apenas as variáveis utilizadas na construção do modelo matemático definitivo (*Equação 6.2*). Para estas variáveis, a *Tabela 6.7* mostra que não há correlação entre elas, pois  $P > 0,05$  (valores P destacados em negrito).

TESTE DE CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS INDEPENDENTES				
	Preparação Máquina	Manobra	Preparação Ferramenta	Recuperações
Manobra	0,189 <b>0,537</b>			
Preparação de Ferramentas	-0,188 <b>0,539</b>	0,365 <b>0,220</b>		
Recuperações	-0,061 <b>0,843</b>	-0,032 <b>0,916</b>	0,123 <b>0,689</b>	
Manutenção	0,477 <b>0,099</b>	-0,123 <b>0,689</b>	0,199 <b>0,514</b>	-0,247 <b>0,415</b>

*Tabela 6.7:* Teste de correlação entre as variáveis de improdutividade.

O intervalo de variação é determinado pelos valores de mínimo e máximo dos dados coletados para cada variável improdutiva. Para obtenção da distribuição acumulada de probabilidades de cada variável é preciso conhecer a distribuição que melhor se ajusta aos dados coletados.

Pela *Tabela 6.8*, observa-se que são normalmente distribuídos:

Tempo de preparação de máquina (110);

Tempo de preparação de ferramenta (112);

Tempo de manobra (111).

TESTE DE NORMALIDADE DAS VARIÁVEIS						
TEMPOS DE FABRICAÇÃO		Teste de Normalidade (Fonte: <i>Minitab</i> )				
		Média	Desvio Padrão	A-squared	P-value	Distribuição Normal? P-value > 0,05
Tempo de Corte	Tc	66,35	14,32	0,421	0,275	Sim
Tempo Total Improdutivo	Tl	33,66	14,30	0,421	0,275	Sim
Preparação de Máquina	110	14,21	7,82	0,636	0,075	Sim
Manobra	111	4,55	3,87	0,558	0,119	Sim
Preparação de Ferramenta	112	5,04	3,52	0,356	0,401	Sim
Controle pelo Operador	113	1,78	2,05	1,045	0,006	Não
Controle pelo CQ	114	0,55	1,17	2,547	0,000	Não
Otimização de Programa CN	115	0,30	0,55	2,038	0,000	Não
Ensaio Não Destrutivos	116	0,00	0,00	0,000	0,000	Não
Recuperações	117	1,71	3,20	1,975	0,000	Não
Aguardando Soldador/Montador	118	0,18	0,37	3,018	0,000	Não
Aguardando Decisões	901	0,35	1,16	4,009	0,000	Não
Aguardando Ponte Rolante	902	1,72	2,58	1,783	0,000	Não
Parada por Manutenção	904	2,42	3,16	1,379	0,001	Não
Treinamento de Operador	905	0,02	0,08	4,408	0,000	Não
Palestras e Reuniões	906	0,58	0,91	1,818	0,000	Não
Falta de Energia, Água e Ar	907	0,00	0,00	0,000	0,000	Não
Limpeza	908	0,00	0,00	0,000	0,000	Não
Problemas com Dispositivos	931	0,18	0,55	3,826	0,000	Não
Problemas Diversos	935	0,08	0,23	3,474	0,000	Não

Valores representados em (%) do Tempo Total de Fabricação

**Tabela 6.8:** Teste de normalidade para as variáveis de tempo improdutivo

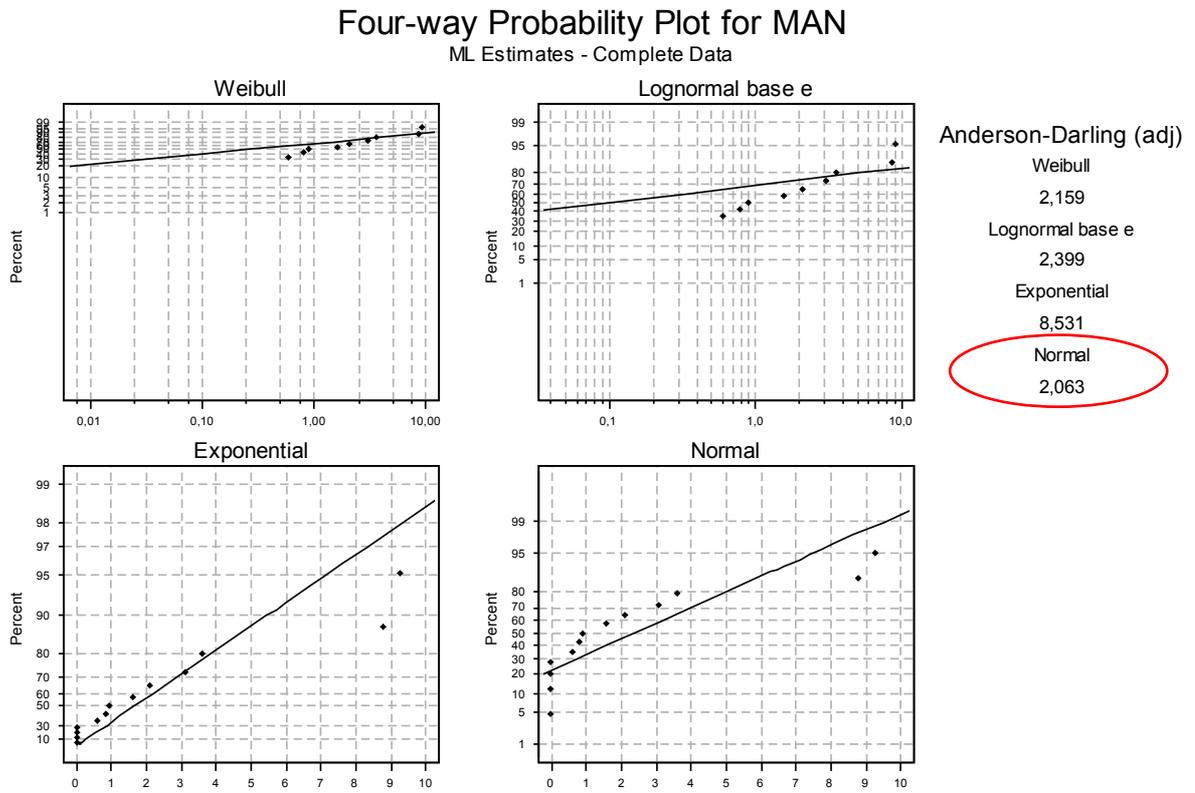
Os dados para tempos de manutenção (904) e tempos de recuperação (117) precisam ser testados, pois inicialmente não podem ser representados por uma distribuição normal.

Verificou-se que as distribuições que melhor se ajustam a estes dados são:

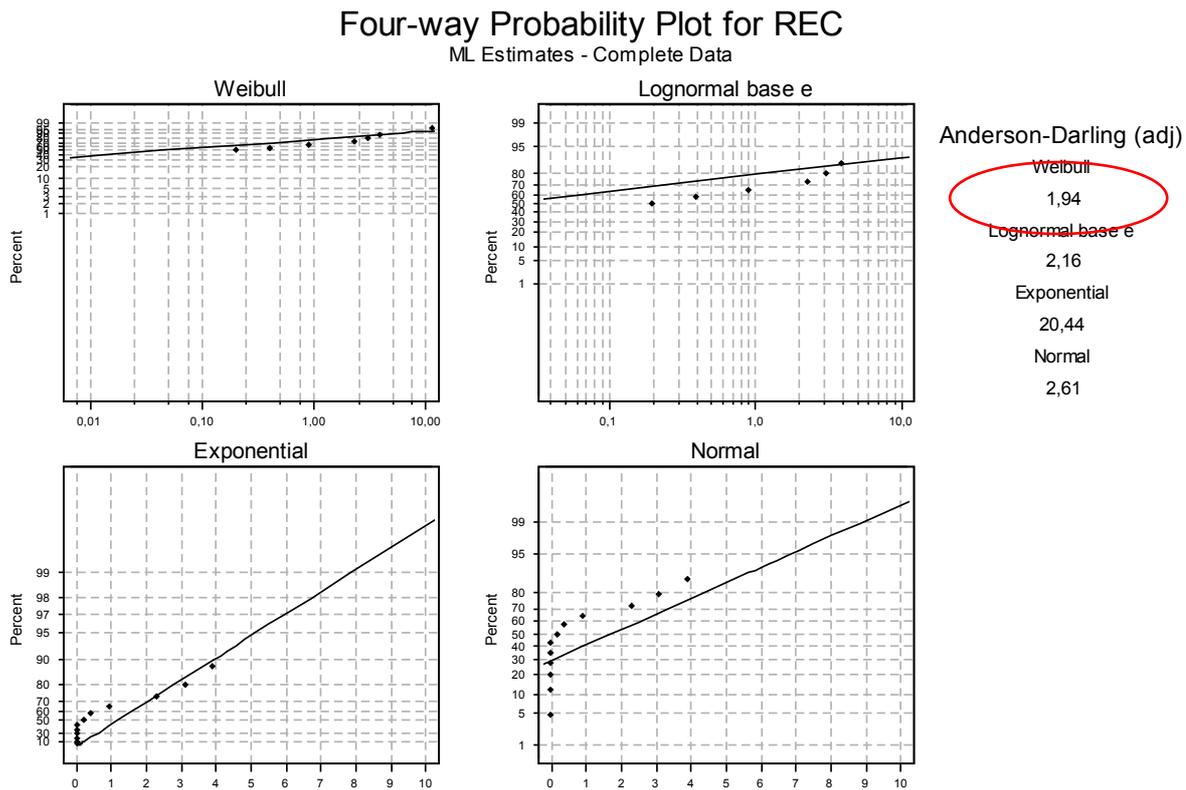
Distribuição normal: para os tempos de manutenção (**Figura 6.2** – menor estatística no teste de Anderson Darling:  $A^2 = 2,06$ );

Distribuição de *Weibull*: para os tempos de recuperação (**Figura 6.3** – menor estatística no teste de Anderson Darling:  $A^2 = 1,94$ ).

A **Tabela 6.9** apresenta, finalmente, os intervalos de variação e as distribuições de probabilidade para cada variável significativa de tempo improdutivo.



**Figura 6.2:** Teste da distribuição de probabilidades - Manutenção (904).



**Figura 6.3:** Teste da distribuição de probabilidades - Recuperações (117)

DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADE - TEMPOS IMPRODUTIVOS									
Preparação de Máquina		Manobra		Preparação Ferramenta		Recuperações		Paradas por Manutenção	
110		111		112		117		904	
Distribuição Normal		Distribuição Normal		Distribuição Normal		Distribuição Weibull		Distribuição Normal	
Intervalo de Variação (%)	Distribuição Acumulada	Intervalo de Variação (%)	Distribuição Acumulada	Intervalo de Variação (%)	Distribuição Acumulada	Intervalo de Variação (%)	Distribuição Acumulada	Intervalo de Variação (%)	Distribuição Acumulada
1,00	0,046	0,00	0,120	0,00	0,076	0,00	0,000	0,00	0,222
5,00	0,119	2,00	0,255	2,00	0,194	0,20	0,181	0,30	0,251
10,00	0,295	5,00	0,546	5,00	0,496	0,40	0,330	0,90	0,315
15,00	0,540	7,00	0,736	7,00	0,711	3,10	0,955	3,35	0,616
20,00	0,771	10,00	0,920	10,00	0,921	11,40	1,000	9,30	0,985
25,00	0,916	11,00	0,952	10,70	0,946				
30,00	0,978	12,00	0,973						
34,10	0,995	13,20	0,987						

**Tabela 6.9:** Intervalo de variação e distribuição de probabilidades acumuladas.

### ***Cálculo do tempo total improdutivo através da simulação***

O tempo total improdutivo foi calculado em trezentos experimentos, variando em cada um deles, aleatoriamente e conjuntamente, os valores das variáveis de improdutividade (110, 111, 112, 117 e 904).

A simulação foi executada repetidas vezes para cada conjunto de trezentos experimentos. Como resultados, interessam os valores de mínimo, máximo, as distribuições de frequência (relativa e acumulada) e as probabilidades para os valores de tempo total improdutivo. Em cada simulação os valores para o tempo total improdutivo apresentaram distribuição normal. Extraíram-se os seguintes resultados nas simulações (ver *Apêndice 2*):

	Mínimo	Máximo
Tempo total improdutivo	38,18%	41,15%
Preparação de Máquina	15,93%	17,43%
Preparação de ferramenta	5,84%	6,28%
Manobra	5,59%	5,88%
Manutenção	4,44%	4,59%
Recuperações	2,72%	2,62%

Obs: Valores dados em porcentagem do tempo total de fabricação

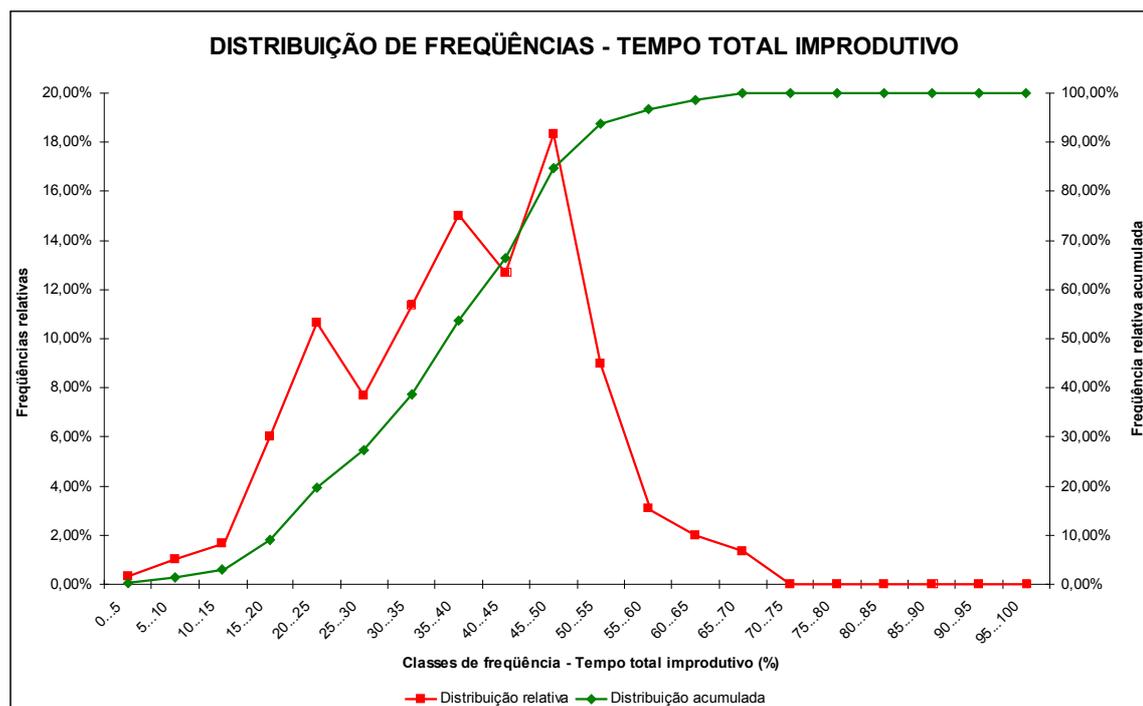
A *Tabela 6.10* e a *Tabela 6.12* apresentam as medidas estatísticas dos tempos improdutivos obtidas através da simulação. A *Tabela 6.11* e a *Tabela 6.13* apresentam as distribuições de frequências para o tempo total improdutivo, respectivamente, para o valor mínimo e máximo de improdutividade obtida através da simulação. A *Figura 6.4*, *Figura 6.5*, *Figura 6.6* e *Figura 6.7* representam as respectivas distribuições de frequência e de probabilidades para o tempo total improdutivo do setor.

ESTATÍSTICAS DA SIMULAÇÃO - TEMPOS IMPRODUTIVOS							
	Preparação de Máquina	Preparação de Ferramenta	Manobra	Recuperações	Paradas por Manutenção	Tempo Total Improdutivo	Tempo de Corte
Média (%)	15,93	5,84	5,59	2,72	4,44	38,18	61,82
Desvio Padrão (%)	7,56	3,34	3,58	2,43	3,87	12,45	12,45
$t_{0,05,299}$	1,97						
Intervalo 95%	15,07	5,46	5,18	2,44	4,00	36,77	60,40
	16,79	6,22	5,99	2,99	4,88	39,60	63,23

**Tabela 6.10:** Medidas estatísticas da simulação para os tempos improdutivo – mínimo.

DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIAS - TEMPO TOTAL IMPRODUTIVO						
Intervalo de Classes	Frequência Absoluta	Frequência Relativa	Frequência Relativa Percentual	Frequência Absoluta Acumulada	Frequência Relativa Acumulada	Freq. Relativa Percentual Acumulada
0...5	1,00	0,00	0,33%	1,00	0,00	0,33%
5...10	3,00	0,01	1,00%	4,00	0,01	1,33%
10...15	5,00	0,02	1,67%	9,00	0,03	3,00%
15...20	18,00	0,06	6,00%	27,00	0,09	9,00%
20...25	32,00	0,11	10,67%	59,00	0,20	19,67%
25...30	23,00	0,08	7,67%	82,00	0,27	27,33%
30...35	34,00	0,11	11,33%	116,00	0,39	38,67%
35...40	45,00	0,15	15,00%	161,00	0,54	53,67%
40...45	38,00	0,13	12,67%	199,00	0,66	66,33%
45...50	55,00	0,18	18,33%	254,00	0,85	84,67%
50...55	27,00	0,09	9,00%	281,00	0,94	93,67%
55...60	9,00	0,03	3,00%	290,00	0,97	96,67%
60...65	6,00	0,02	2,00%	296,00	0,99	98,67%
65...70	4,00	0,01	1,33%	300,00	1,00	100,00%
70...75	0,00	0,00	0,00%	300,00	1,00	100,00%
75...80	0,00	0,00	0,00%	300,00	1,00	100,00%
80...85	0,00	0,00	0,00%	300,00	1,00	100,00%
85...90	0,00	0,00	0,00%	300,00	1,00	100,00%
90...95	0,00	0,00	0,00%	300,00	1,00	100,00%
95...100	0,00	0,00	0,00%	300,00	1,00	100,00%
Total	300,00	1,00	100,00%			

**Tabela 6.11:** Distribuição de frequências na simulação do tempo total improdutivo – mínimo.



PROBABILIDADES - TEMPO TOTAL IMPRODUTIVO							
$P(0 < TI (\%) < 10)$	$P(10 < TI (\%) < 20)$	$P(20 < TI (\%) < 30)$	$P(30 < TI (\%) < 40)$	$P(40 < TI (\%) < 50)$	$P(50 < TI (\%) < 60)$	$P(60 < TI (\%) < 70)$	$P(70 < TI (\%) < 80)$
1,32%	6,40%	18,78%	30,17%	26,58%	12,83%	3,39%	0,49%

Figura 6.4: Distribuição de frequências e probabilidades para o tempo total improdutivo – mínimo.

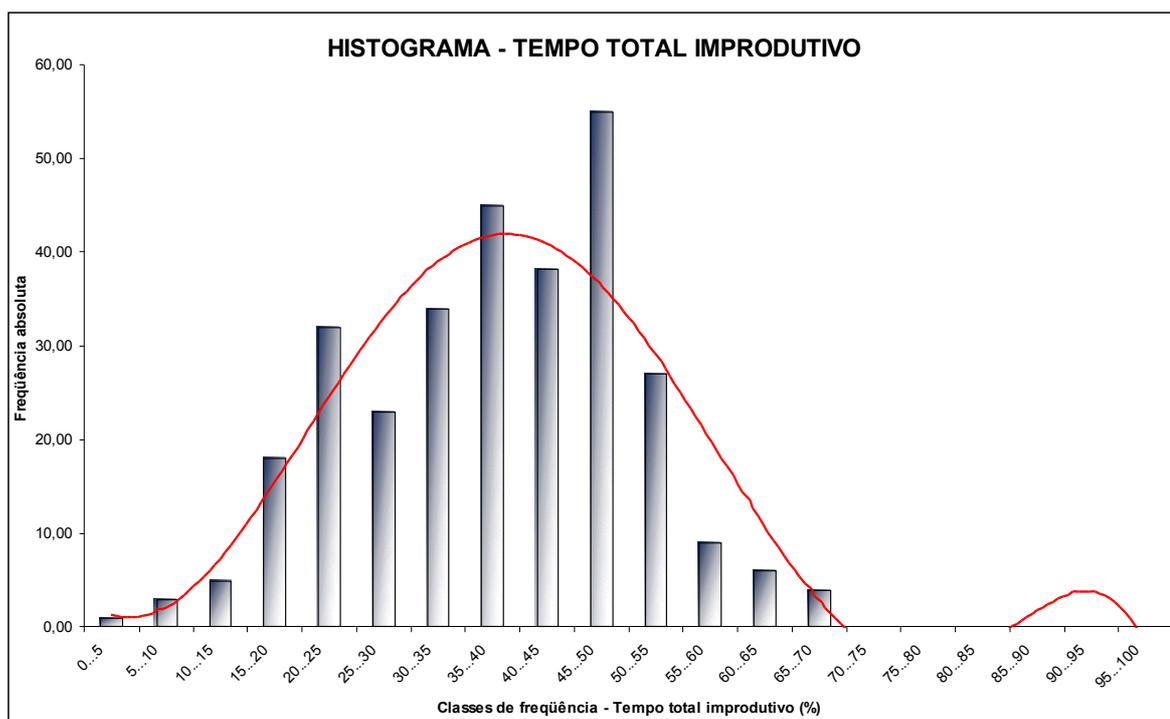


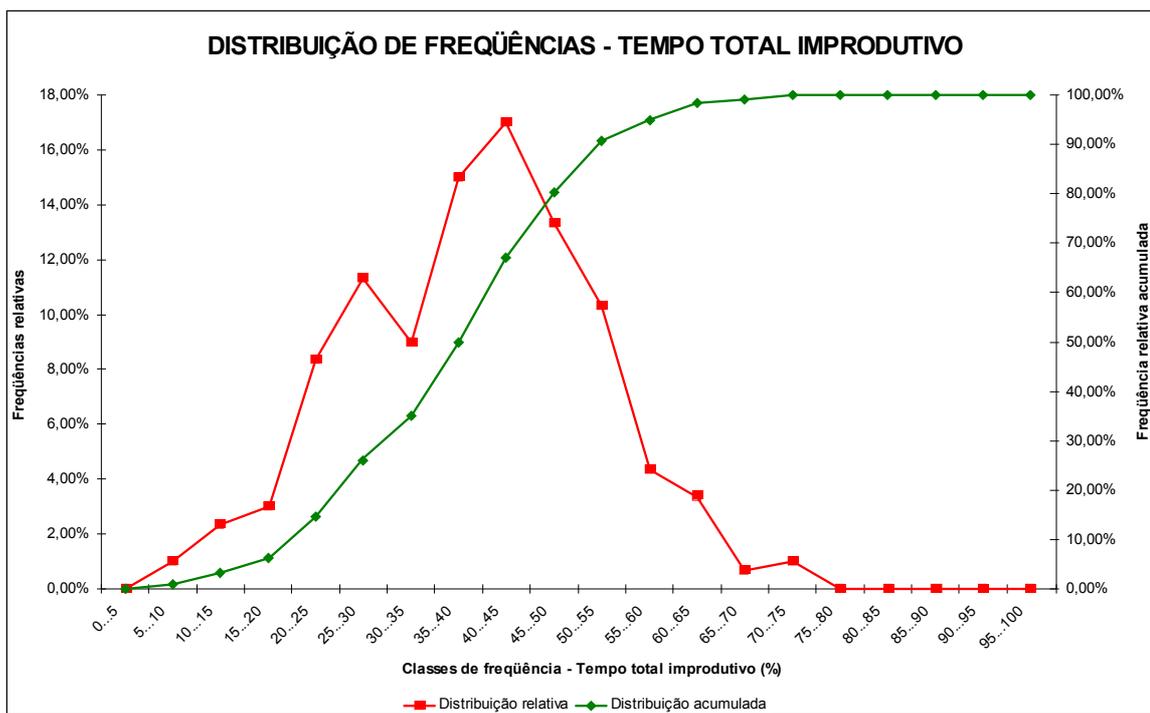
Figura 6.5: Histograma e curva normal para o tempo total improdutivo – mínimo.

ESTATÍSTICAS DA SIMULAÇÃO - TEMPOS IMPRODUTIVOS							
	Preparação de Máquina	Preparação de Ferramenta	Manobra	Recuperações	Paradas por Manutenção	Tempo Total Improdutivo	Tempo de Corte
Média (%)	17,43	6,28	5,88	2,62	4,59	41,15	58,85
Desvio Padrão (%)	8,07	3,26	3,30	2,40	3,93	12,52	12,52
$t_{0,05,299}$	1,97						
Intervalo 95%	16,51	5,91	5,51	2,35	4,14	39,73	57,42
	18,35	6,66	6,26	2,90	5,03	42,58	60,27

**Tabela 6.12:** Medidas estatísticas da simulação para tempos improdutivo – máximo

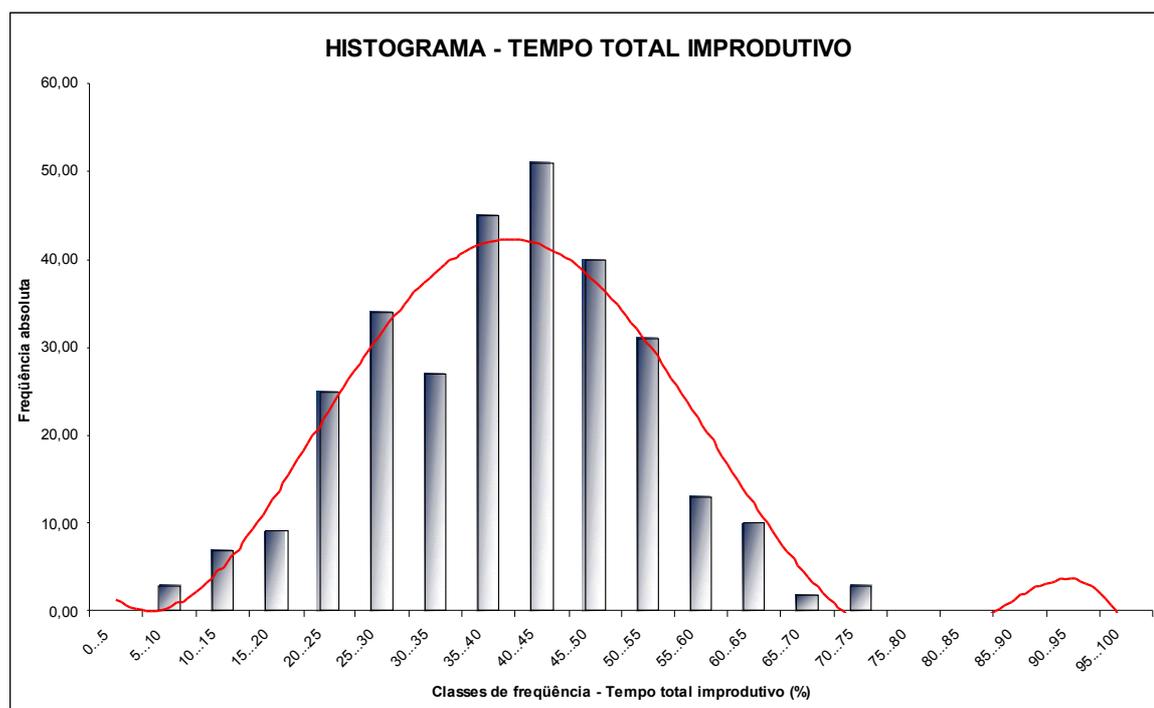
DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIAS - TEMPO TOTAL IMPRODUTIVO						
Intervalo de Classes	Frequência Absoluta	Frequência Relativa	Frequência Relativa Percentual	Frequência Absoluta Acumulada	Frequência Relativa Acumulada	Freq. Relativa Percentual Acumulada
0...5	0,00	0,00	0,00%	0,00	0,00	0,00%
5...10	1,00	0,00	0,33%	1,00	0,00	0,33%
10...15	2,00	0,01	0,67%	3,00	0,01	1,00%
15...20	7,00	0,02	2,33%	10,00	0,03	3,33%
20...25	18,00	0,06	6,00%	28,00	0,09	9,33%
25...30	37,00	0,12	12,33%	65,00	0,22	21,67%
30...35	34,00	0,11	11,33%	99,00	0,33	33,00%
35...40	44,00	0,15	14,67%	143,00	0,48	47,67%
40...45	55,00	0,18	18,33%	198,00	0,66	66,00%
45...50	31,00	0,10	10,33%	229,00	0,76	76,33%
50...55	26,00	0,09	8,67%	255,00	0,85	85,00%
55...60	23,00	0,08	7,67%	278,00	0,93	92,67%
60...65	10,00	0,03	3,33%	288,00	0,96	96,00%
65...70	8,00	0,03	2,67%	296,00	0,99	98,67%
70...75	4,00	0,01	1,33%	300,00	1,00	100,00%
75...80	0,00	0,00	0,00%	300,00	1,00	100,00%
80...85	0,00	0,00	0,00%	300,00	1,00	100,00%
85...90	0,00	0,00	0,00%	300,00	1,00	100,00%
90...95	0,00	0,00	0,00%	300,00	1,00	100,00%
95...100	0,00	0,00	0,00%	300,00	1,00	100,00%
Total	300,00	1,00	100,00%			

**Tabela 6.13:** Distribuição de frequências na simulação do tempo total improdutivo – máximo.



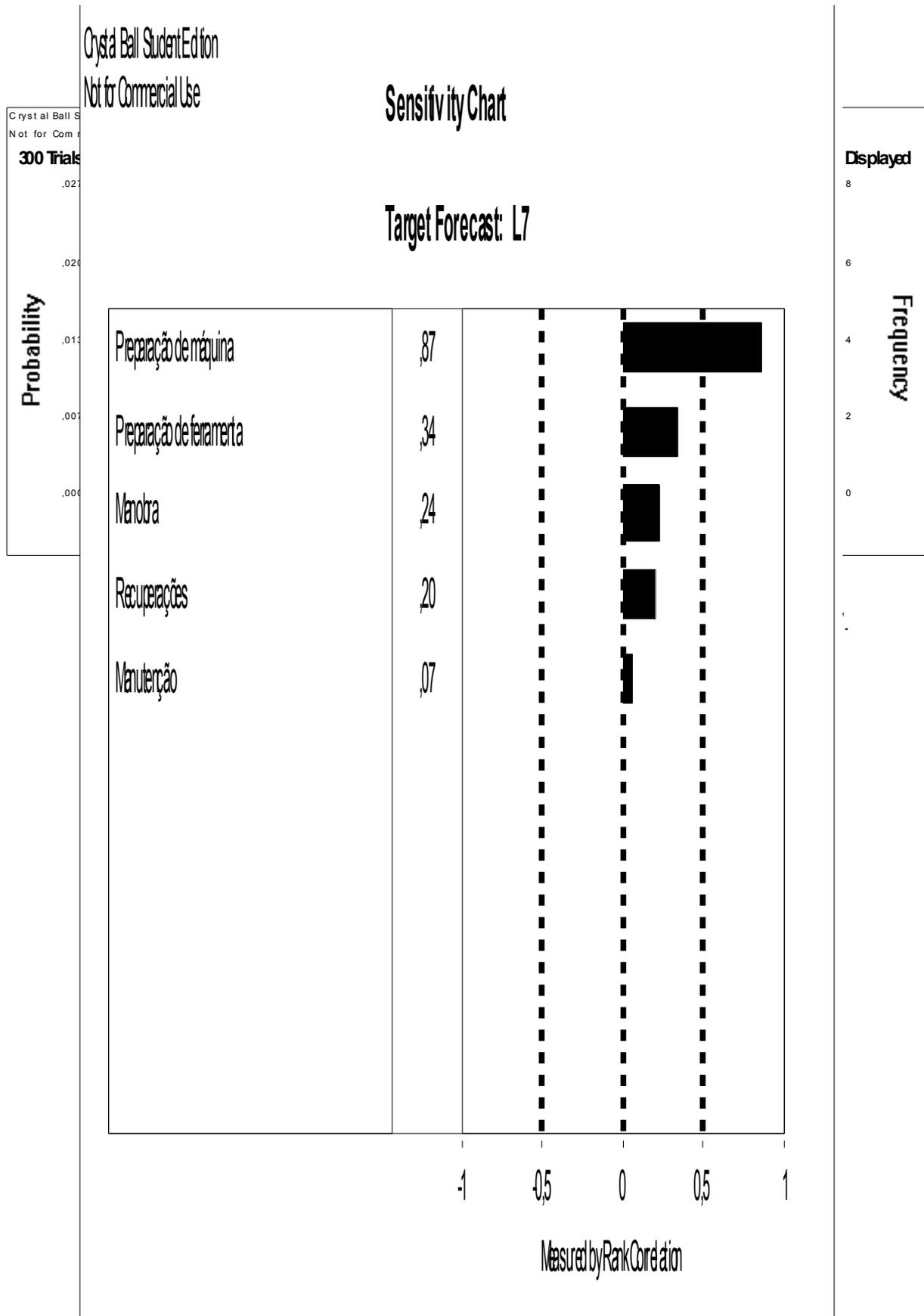
PROBABILIDADES - TEMPO TOTAL IMPRODUTIVO							
P (0 < TI (%) < 10)	P (10 < TI (%) < 20)	P (20 < TI (%) < 30)	P (30 < TI (%) < 40)	P (40 < TI (%) < 50)	P (50 < TI (%) < 60)	P (60 < TI (%) < 70)	P (70 < TI (%) < 80)
1,04%	5,38%	16,86%	29,16%	27,85%	14,69%	4,28%	0,68%

**Figura 6.6:** Distribuição de frequências e probabilidades para o tempo total improdutivo – máximo.



**Figura 6.7:** Histograma e curva normal para o tempo total improdutivo – máximo.

Nas simulações anteriores para os tempos improdutivos, foram criadas planilhas específicas em *Microsoft Excel* para extração de dados particulares. Uma outra ferramenta de simulação, *software Crystal Ball*, poderia ser utilizada. Os seguintes resultados para o tempo total improdutivo simulado (**Figura 6.8**) e análise de sensibilidade (**Figura 6.9**) são apresentados quando da utilização deste *software*.



**Figura 6.9:** Análise de sensibilidade para o tempo total improdutivo através do *Crystal Ball*.

Para melhor compreensão do estudo realizado até o momento, algumas considerações devem ser feitas sobre a coleta, análise e resultados obtidos com o tratamento dos tempos improdutivos. No capítulo 5 foi apresentado um resultado preliminar para os tempos improdutivos em usinagem pesada. Os dados coletados nos treze processos apresentaram, para cada variável improdutiva significativa, as seguintes médias (em porcentagem do tempo total de fabricação):

Tempo total improdutivo:	33,66	%
Preparação de máquina:	14,21	%
Preparação de ferramenta:	5,04	%
Manobra:	4,55	%
Manutenção:	2,42	%
Recuperações:	1,71	%

Ao comparar os resultados da análise de sensibilidade com os valores médios de improdutividade mostrados acima, verificou-se que a ordem de significância das variáveis improdutivo não foi alterada. Tem-se, portanto, um bom indicador da validade do modelo matemático inicial para o tempo total improdutivo (*Equação 6.1*), sobre o qual foi construída a análise de sensibilidade.

Este comportamento, entretanto, não surpreende, pois o ajuste da regressão mostrou que o modelo matemático inicial apresenta um ajuste de 98,8% para o tempo total improdutivo em função das variáveis de improdutividade.

Para comprovação dos resultados da análise determinística dos dados novas análises foram feitas. Um novo modelo matemático para o tempo total improdutivo foi construído através da regressão linear múltipla (*Equação 6.2*). Neste modelo, considerado como definitivo, foram utilizadas apenas cinco variáveis improdutivo, definidas estatisticamente como as realmente significativas: preparação de máquina (110), preparação de ferramenta (112), manobra (111), manutenção (904) e recuperações (117). O modelo encontrado apresentou um ajuste aos dados de 95,0% para o tempo total improdutivo em função dos códigos improdutivo de fabricação (ver *Tabela 6.5*).

Para legitimar o valor prático do modelo definitivo, o tempo total improdutivo foi calculado, para cada um dos treze processos estudados, através de sua equação representativa (*Equação 6.2*). O desvio apresentado para o tempo calculado foi de -3,2% em relação aos dados reais, confirmando, portanto, a validade prática do modelo adotado.

Finalmente, com base na *Equação 6.2* e nas distribuições de probabilidade de cada variável improdutivo (*Tabela 6.9*), os tempos improdutivo foram simulados através do método de simulação de Monte Carlo. Com o objetivo de extrapolar estatisticamente o número de processos estudados (300 iterações), os resultados da simulação, para o tempo total improdutivo, apresentaram valores médios entre 38% e 41% do tempo total de fabricação, conforme mostrado nas *Tabelas 6.10 e 6.12*. Para comparação de resultados a simulação foi também executada através do software Crystal Ball, apresentando um resultado de improdutividade de 39,8%. Vê-se, através da simulação, que a improdutividade é maior do que a inicialmente apresentada (33,66%).

Os resultados iniciais obtidos através do tratamento determinístico dos dados não devem ter sua importância diminuída. Apesar de não representarem a realidade estatística, foram eles que demonstraram inicialmente que os tempos improdutivo são altos e que mereceriam melhor análise.

### **6.2.2 Análise dos custos de improdutividade**

As análises estatísticas dos dados foram realizadas com auxílio do *software* estatístico *Minitab*.

### ***1.Determinação dos custos de improdutividade significativos***

Para simplificação do estudo, os custos de improdutividade significativos serão definidos com base nos tempos improdutivos significativos a que estão associados. Portanto:

Custo da preparação de máquina (C<sub>pm</sub>)

Custo da preparação de ferramentas (C<sub>pf</sub>)

Custo das manobras (C<sub>m</sub>)

Custo das manutenções (C<sub>man</sub>)

Custo das recuperações (C<sub>rec</sub>)

### ***2.Construção e validação do modelo matemático para o custo total improdutivo***

Foram utilizados os custos de improdutividade para os tempos definidos como realmente significativos . O modelo, ***Equação 6.3***, foi obtido pela regressão linear múltipla.

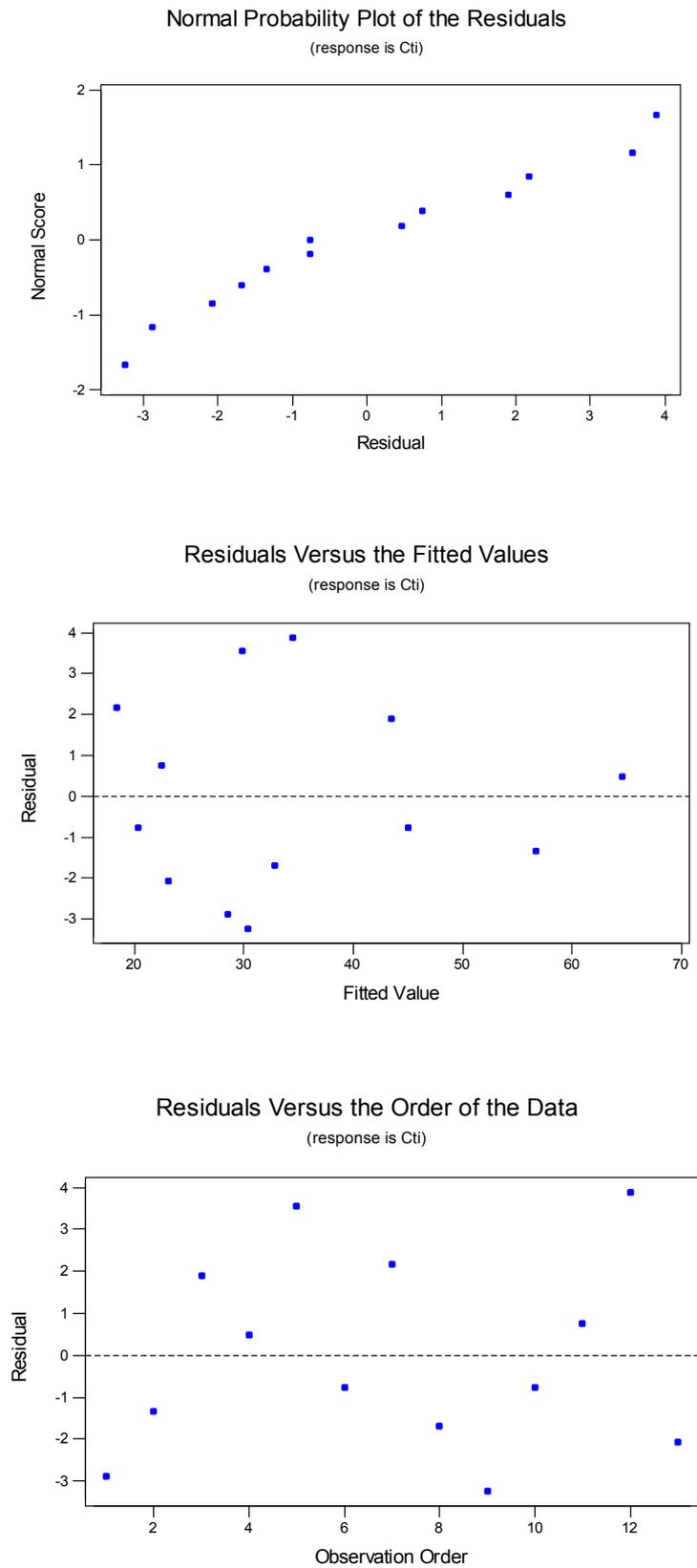
$$C_{ti} = -0,41 + 1,40.(C_{pm}) + 0,723.(C_m) + 1,51.(C_{pf}) + 1,17.(C_{rec}) + 0,522.(C_{man}) \quad (6.3)$$

MODELO MATEMÁTICO PARA O CUSTO TOTAL IMPRODUTIVO					
Fonte: Minitab (Regression - Regression)					
<b>Cti = -0,41 + 1,40*(Cpm) + 0,723*(Cm) + 1,51*(Cpf) + 1,17*(Crec) + 0,522*(Cman)</b>					
Predictor		Coef	SE coef	T	P
Constant		-0,41	2,553	-0,16	0,877
Custos de Preparação de Máquina	Cpm	1,3959	0,1645	8,49	0,000
Custos de Manobra	Cm	0,7234	0,2826	2,56	0,038
Custos de Preparação de Ferramenta	Cpf	1,5102	0,3509	4,3	0,004
Custos das Recuperações	Crec	1,1683	0,2245	5,2	0,001
Custos das Paradas por Manutenção	Cman	0,5217	0,2816	1,85	0,106
S = 3,07		R-Sq = 97,3%		<b>R-Sq(adj) = 95,4%</b>	
Análise de variância					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	5	2401,55	480,31	50,94	0,000
Residual Error	7	66,00	9,43		
Total	12	2467,55			
As variáveis mais significativas ao custo de improdutividade são as mesmas dos tempos improdutivo.					

**Tabela 6.14:** Modelo matemático para o custo total improdutivo.

A **Tabela 6.14** apresenta as medidas estatísticas para obtenção da equação de regressão. Observa-se que o modelo matemático obtido é válido, pois permite explicar, com uma confiança de 95,4%, a variação do custo total improdutivo em função dos custos improdutivo de fabricação. A análise dos resíduos, apresentada na **Figura 6.10**, também apresentou resultado satisfatório, pois os resíduos estão normalmente distribuídos.

Para comprovação final da eficácia do modelo é necessário submetê-lo a uma validação com os dados reais coletados. A validação do modelo, apresentada na **Tabela 6.15**, apresenta um desvio médio de 0,71% no valor do custo total improdutivo calculado, em relação ao custo total improdutivo real. Portanto, o modelo pode ser considerado eficaz.



**Figura 6.10:** Análise dos resíduos para o modelo do custo total improdutivo.

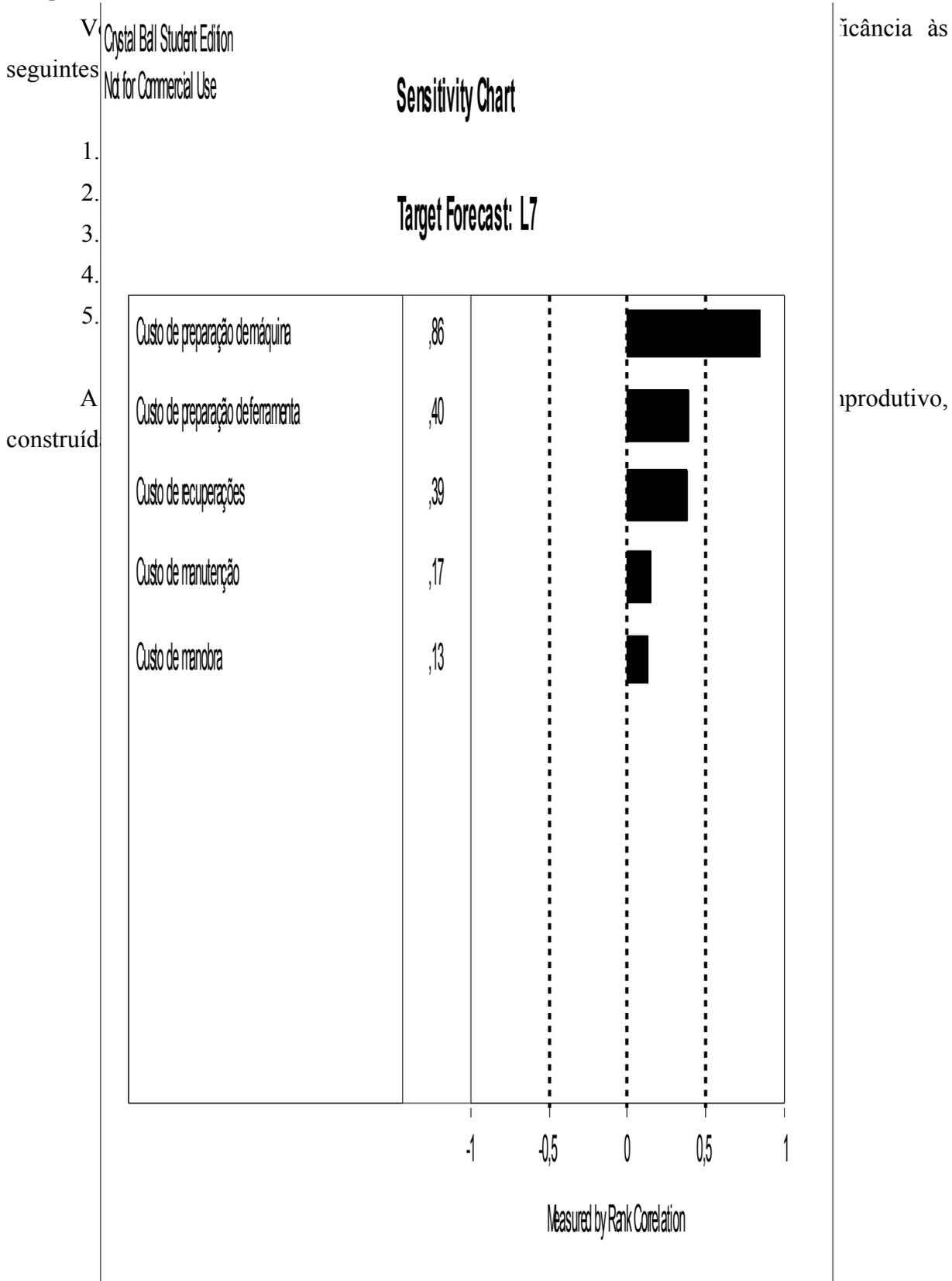
VALIDAÇÃO DO MODELO PARA CUSTO TOTAL IMPRODUTIVO					
Processo	Valores reais medidos		Valor calculado pelo modelo para custo total improdutivo		
	Custos Improdutivo		Custo Total Improdutivo	Desvio	Desvio Médio
	(%)*Custo total de fabricação	(%)*Custo total de fabricação	(%)*Custo total de fabricação	%	%
1	Cpm	11,03	25,71	28,63	11,37
	Cm	9,56			
	Cpf	4,43			
	Crec	0,00			
	Cman	0,00			
2	Cpm	17,00	55,40	56,84	2,60
	Cm	6,82			
	Cpf	7,04			
	Crec	15,29			
	Cman	0,00			
3	Cpm	12,10	45,36	43,50	-4,11
	Cm	14,21			
	Cpf	10,64			
	Crec	0,00			
	Cman	1,20			
4	Cpm	33,79	65,10	64,77	-0,51
	Cm	7,52			
	Cpf	3,46			
	Crec	0,00			
	Cman	13,81			
5	Cpm	8,28	33,45	29,92	-10,55
	Cm	1,45			
	Cpf	7,03			
	Crec	5,45			
	Cman	1,34			
6	Cpm	17,15	44,32	45,16	1,89
	Cm	0,77			
	Cpf	9,29			
	Crec	0,32			
	Cman	12,64			
7	Cpm	5,64	20,57	18,42	-10,47
	Cm	0,43			
	Cpf	5,02			
	Crec	1,21			
	Cman	3,11			
8	Cpm	7,84	31,22	32,93	5,47
	Cm	7,90			
	Cpf	9,42			
	Crec	0,00			
	Cman	4,65			
9	Cpm	17,88	27,20	30,52	12,21
	Cm	1,75			
	Cpf	2,26			
	Crec	0,61			
	Cman	0,97			
10	Cpm	8,05	19,58	20,38	4,08
	Cm	2,21			
	Cpf	1,93			
	Crec	3,20			
	Cman	2,42			
11	Cpm	7,83	23,32	22,61	-3,04
	Cm	3,28			
	Cpf	1,26			
	Crec	4,29			
	Cman	5,30			
12	Cpm	22,03	38,39	34,59	-9,90
	Cm	5,75			
	Cpf	0,00			
	Crec	0,00			
	Cman	0,00			
13	Cpm	13,10	21,04	23,17	10,12
	Cm	1,71			
	Cpf	2,34			
	Crec	0,00			
	Cman	0,90			

0,71

Tabela 6.15: Validação do modelo para custo total improdutivo.

**3. Análise da sensibilidade do custo total improdutivo em função dos custos de improdutividade significativos**

A análise de sensibilidade tem como função principal estudar a sensibilidade do custo total improdutivo com relação à variação individual de cada um dos custos improdutivos de fabricação. Procura, portanto, estabelecer uma ordem de significância para as variáveis independentes.



*Figura 6.11:* Análise de sensibilidade para o custo total improdutivo (*Crystal Ball*)

#### ***4.Simulação de Monte Carlo***

O objetivo da simulação é fornecer distribuições de probabilidade para o custo total improdutivo, para análise de sua influência sobre o custo total de fabricação.

***Definição do intervalo de variação e da distribuição de probabilidades acumuladas para cada variável improdutiva***

Inicialmente, pela **Tabela 6.16** mostra-se que não há correlação entre as variáveis independentes da equação para custo total improdutivo (**Equação 6.3**), pois  $P > 0,05$  (valores P destacados em vermelho).

TESTE DE CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS INDEPENDENTES				
	Custo de preparação máquina	Custo de manobra	Custo de preparação ferramenta	Custo das recuperações
Custo de manobra	0,195 <b>0,524</b>			
Custo de preparação ferramenta	-0,205 <b>0,501</b>	0,378 <b>0,202</b>		
Custo das recuperações	-0,092 <b>0,764</b>	-0,060 <b>0,846</b>	0,101 <b>0,742</b>	
Custo de manutenção	0,480 <b>0,097</b>	-0,127 <b>0,679</b>	0,177 <b>0,563</b>	-0,260 <b>0,391</b>

**Tabela 6.16:** Teste de correlação entre as variáveis de custo improdutivo.

O intervalo de variação é determinado pelos valores de mínimo e máximo dos dados coletados para cada custo improdutivo. Para a distribuição acumulada de probabilidades de cada variável é preciso conhecer a distribuição que melhor se ajusta aos dados coletados.

Pela **Tabela 6.17**, observa-se que são normalmente distribuídos:

Custo de preparação de máquina ( $C_{pm}$ );

Custo de preparação de ferramenta ( $C_{pf}$ );

Custo de manobra ( $C_m$ ).

TESTE DE NORMALIDADE DAS VARIÁVEIS						
CUSTOS DE FABRICAÇÃO		Teste de Normalidade (Fonte: <i>Minitab</i> )				
		Média	Desvio Padrão	A-squared	P-value	Distribuição Normal? P-value > 0,05
Custo do Tempo de Corte	Ctc	65,33%	14,34%	0,472	0,202	Sim
Custo Total de Improdutividade	Cti	34,67%	14,34%	0,472	0,202	Sim
Custo da Preparação de Máquina	Cpm	13,98%	7,73%	0,636	0,075	Sim
Custo da Manobra	Cm	4,87%	4,16%	0,554	0,122	Sim
Custo da Preparação de Ferramenta	Cpf	4,93%	3,46%	0,348	0,42	Sim
Custo das Recuperações	Crec	2,34%	4,31%	1,926	0,000	Não
Custo da Parada por Manutenção	Cman	3,56%	4,61%	1,335	0,001	Não
Valores em (%) do custo total de fabricação						

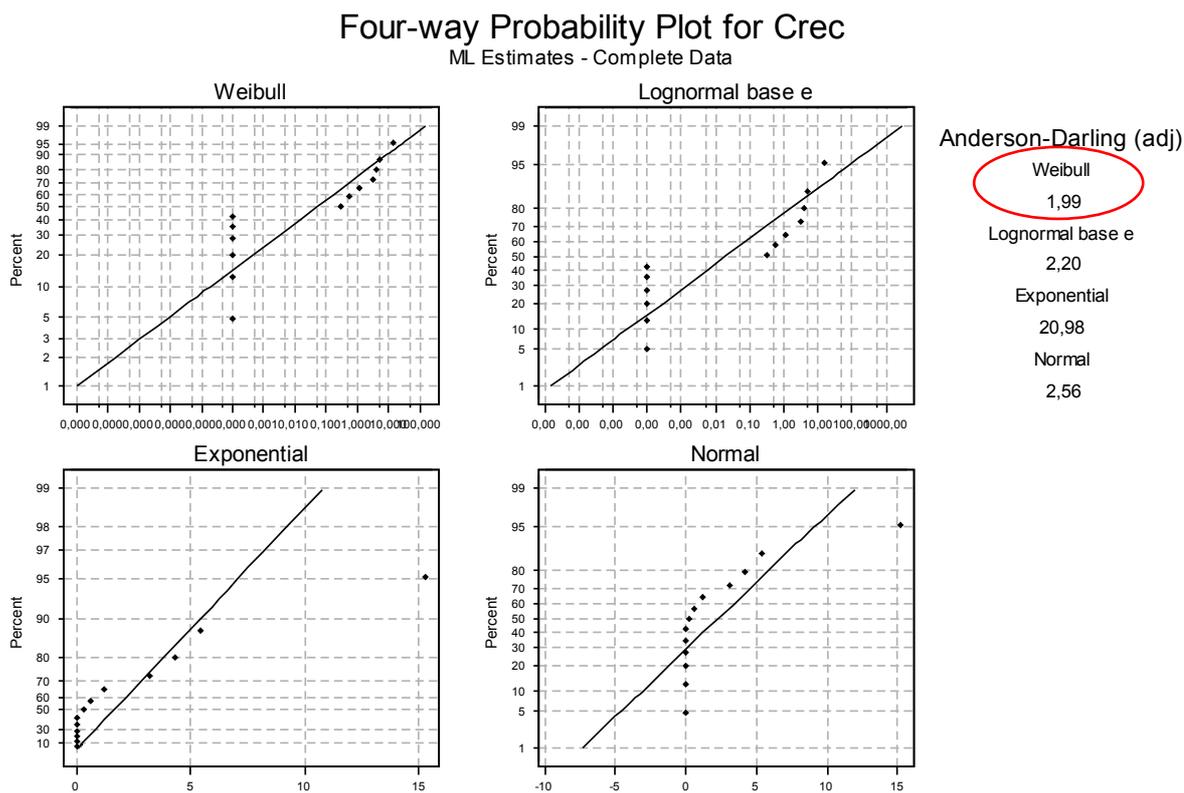
**Tabela 6.17:** Teste de normalidade para os custos improdutivos

Os dados para custos de manutenção ( $C_{man}$ ) e custos de recuperação ( $C_{rec}$ ) precisam ser testados, pois inicialmente não podem ser representados por uma distribuição normal. Verificou-se que as distribuições que melhor se ajustam aos dados são:

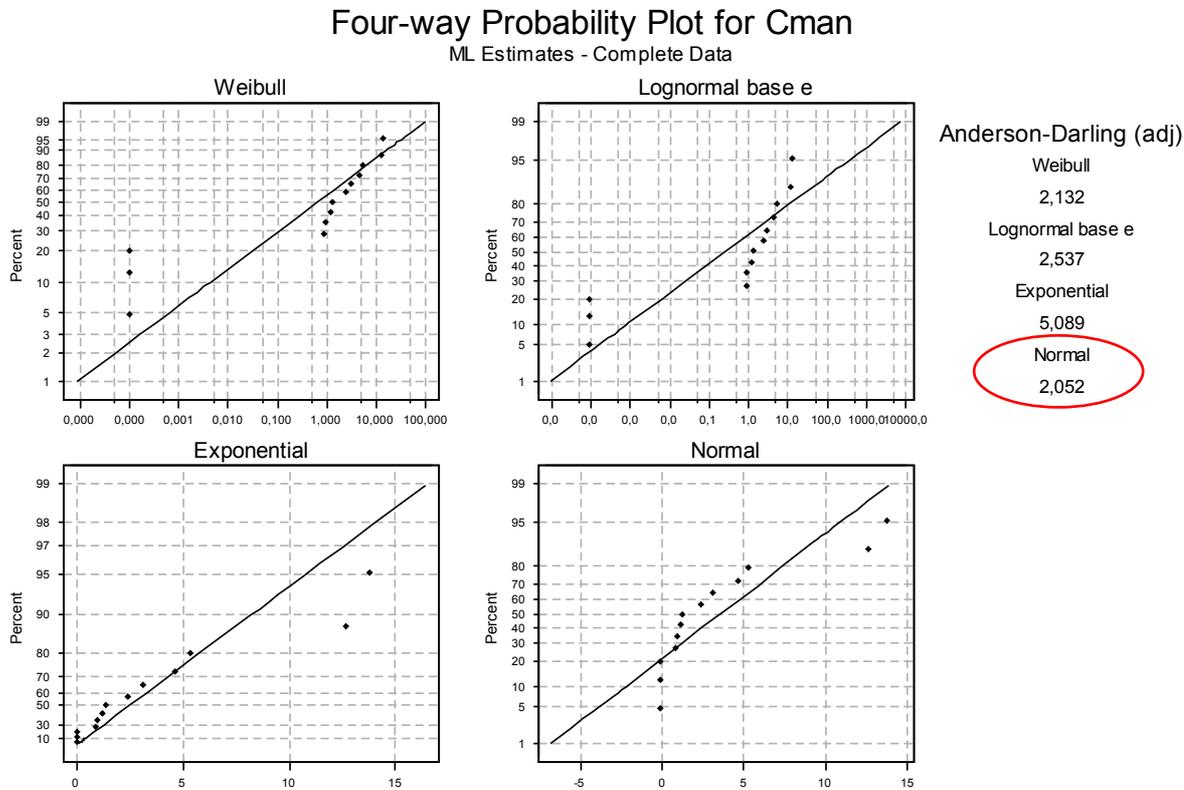
Distribuição de *Weibull*: para os custos de recuperação (**Figura 6.12** - menor estatística no teste de Anderson Darling:  $A^2 = 1,99$ );

Distribuição normal: para os custos de manutenção (**Figura 6.13** - menor estatística no teste de Anderson Darling:  $A^2 = 2,05$ ).

A **Tabela 6.18** apresenta, finalmente, os intervalos de variação e as distribuições de probabilidade para cada variável significativa de custo improdutivo.



**Figura 6.12:** Teste da distribuição de probabilidades - Recuperações ( $C_{rec}$ )



**Figura 6.13:** Teste da distribuição de probabilidades - Manutenção ( $C_{man}$ )

DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADE - CUSTOS IMPRODUTIVOS									
Custo de Preparação de Máquina		Custo de Manobra		Custo de Preparação de Ferramenta		Custo das Recuperações		Custos das Paradas por Manutenção	
C <sub>pm</sub>		C <sub>m</sub>		C <sub>pf</sub>		C <sub>rec</sub>		C <sub>man</sub>	
Distribuição Normal		Distribuição Normal		Distribuição Normal		Distribuição Weibull		Distribuição Normal	
Intervalo de Variação (%)	Distribuição acumulada	Intervalo de Variação (%)	Distribuição acumulada	Intervalo de Variação (%)	Distribuição acumulada	Intervalo de Variação (%)	Distribuição acumulada	Intervalo de Variação (%)	Distribuição acumulada
1,00	0,047	0,00	0,121	0,00	0,077	0,00	0,000	0,00	0,220
5,00	0,123	2,00	0,245	2,00	0,198	0,32	0,274	0,45	0,250
10,00	0,303	5,00	0,512	5,00	0,508	1,21	0,702	1,34	0,315
15,00	0,553	7,00	0,695	7,00	0,725	3,20	0,959	4,98	0,621
20,00	0,782	10,00	0,891	10,00	0,929	15,29	1	13,81	0,987
25,00	0,923	11,00	0,930	10,64	0,950				
30,00	0,981	12,00	0,957						
33,79	0,995	14,21	0,988						

**Tabela 6.18:** Intervalo de variação e distribuição de probabilidades acumuladas para cada variável de custo improdutivo.

### ***Cálculo do custo total improdutivo através da simulação***

O custo total improdutivo foi calculado em trezentos experimentos, variando em cada um deles, aleatoriamente e conjuntamente, os valores das variáveis do custo de improdutividade ( $C_{pm}$ ,  $C_{pf}$ ,  $C_m$ ,  $C_{rec}$ ,  $C_{man}$ ).

A simulação foi executada repetidas vezes para cada conjunto de trezentos experimentos. Como resultados, interessam os valores mínimo e máximo encontrados em todas as simulações executadas. Em cada simulação os valores para o custo total improdutivo apresentaram distribuição normal. Extraíram-se os seguintes resultados (ver **Apêndice 3**):

	Mínimo	Máximo
Custo total improdutivo	40,57 %	44,16 %
Custo de preparação de Máquina	15,58 %	17,42 %
Custo de preparação de ferramenta	5,85 %	6,52 %
Custo de manobra	6,09 %	5,97 %
Custo de manutenção	6,43 %	6,63 %
Custo Recuperações	2,23 %	2,20 %

Obs: Valores dados em porcentagem do custo total de fabricação

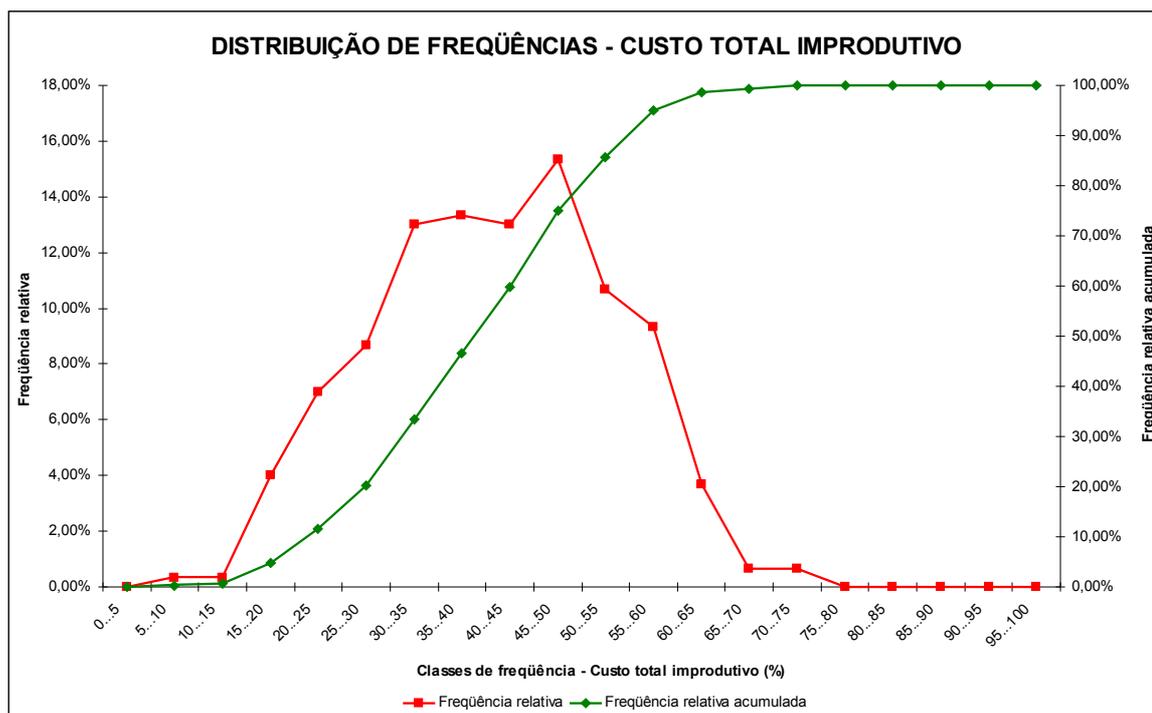
A **Tabela 6.19** e a **Tabela 6.21** apresentam as medidas estatísticas dos custos improdutivos obtidas através da simulação. A **Tabela 6.20** e a **Tabela 6.22** apresentam as distribuições de freqüências para o custo total improdutivo, respectivamente, para o valor mínimo e máximo de custo improdutivo obtido através da simulação. A **Figura 6.14**, **Figura 6.15**, **Figura 6.16** e **Figura 6.17** representam as respectivas distribuições de freqüência e de probabilidades para o custo total improdutivo do setor.

ESTATÍSTICAS DA SIMULAÇÃO - CUSTOS IMPRODUTIVOS							
	Custo de Preparação de Máquina	Custo de Preparação de Ferramenta	Custo de Manobra	Custo das Recuperações	Custos das Paradas por Manutenção	Custo de Improdutividade	Custo do Tempo de Corte
Média (%)	15,58	5,85	6,09	2,23	6,43	40,57	59,43
Desvio Padrão (%)	7,65	3,27	3,72	3,29	5,78	13,03	13,03
$t_{0,05,299}$	1,967928256						
Intervalo 95%	14,71	5,48	5,67	1,85	5,77	39,09	57,95
	16,45	6,23	6,51	2,60	7,08	42,05	60,91

**Tabela 6.19:** Medidas estatísticas da simulação para os custos improdutivos – mínimo.

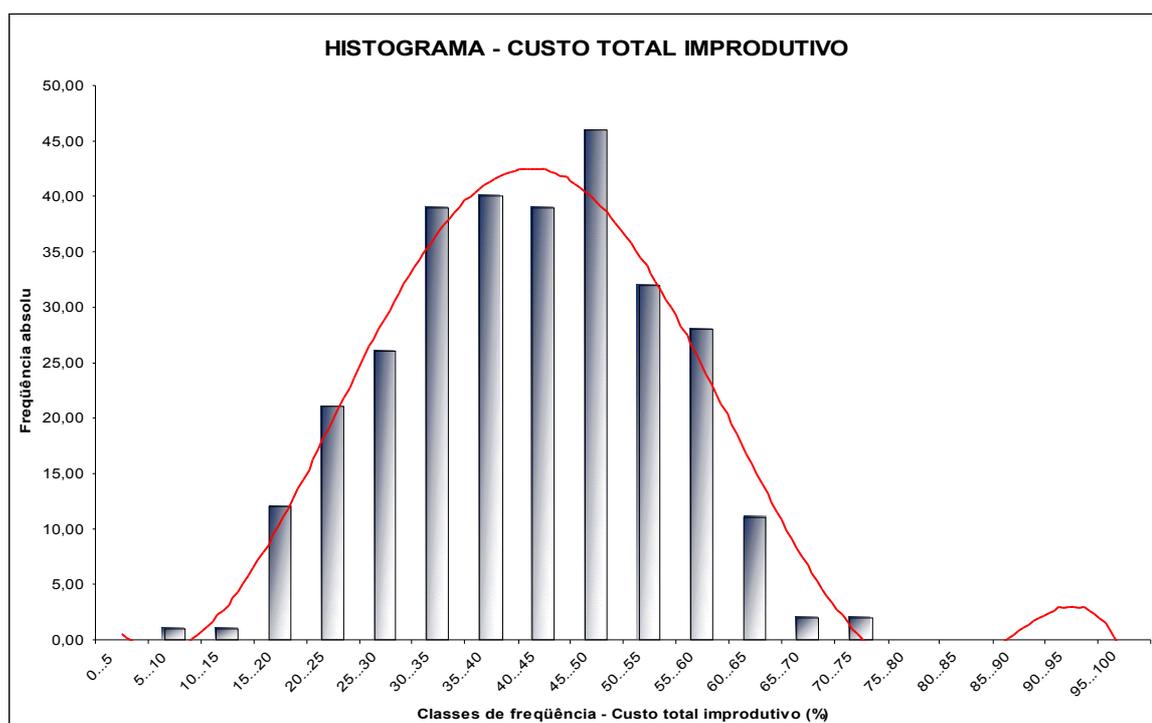
DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIAS - CUSTO TOTAL IMPRODUTIVO						
Intervalo de Classes	Frequência Absoluta	Frequência Relativa	Frequência Relativa Percentual	Frequência Absoluta Acumulada	Frequência Relativa Acumulada	Freq. Relativa Percentual Acumulada
0...5	0,00	0,00	0,00%	0,00	0,00	0,00%
5...10	1,00	0,00	0,33%	1,00	0,00	0,33%
10...15	1,00	0,00	0,33%	2,00	0,01	0,67%
15...20	12,00	0,04	4,00%	14,00	0,05	4,67%
20...25	21,00	0,07	7,00%	35,00	0,12	11,67%
25...30	26,00	0,09	8,67%	61,00	0,20	20,33%
30...35	39,00	0,13	13,00%	100,00	0,33	33,33%
35...40	40,00	0,13	13,33%	140,00	0,47	46,67%
40...45	39,00	0,13	13,00%	179,00	0,60	59,67%
45...50	46,00	0,15	15,33%	225,00	0,75	75,00%
50...55	32,00	0,11	10,67%	257,00	0,86	85,67%
55...60	28,00	0,09	9,33%	285,00	0,95	95,00%
60...65	11,00	0,04	3,67%	296,00	0,99	98,67%
65...70	2,00	0,01	0,67%	298,00	0,99	99,33%
70...75	2,00	0,01	0,67%	300,00	1,00	100,00%
75...80	0,00	0,00	0,00%	300,00	1,00	100,00%
80...85	0,00	0,00	0,00%	300,00	1,00	100,00%
85...90	0,00	0,00	0,00%	300,00	1,00	100,00%
90...95	0,00	0,00	0,00%	300,00	1,00	100,00%
95...100	0,00	0,00	0,00%	300,00	1,00	100,00%
Total	300,00	1,00	100,00%			

**Tabela 6.20:** Distribuição de frequências na simulação do custo total improdutivo – mínimo.



PROBABILIDADES - CUSTO TOTAL IMPRODUTIVO							
P (0 < Cti (%) < 10)	P (10 < Cti (%) < 20)	P (20 < Cti (%) < 30)	P (30 < Cti (%) < 40)	P (40 < Cti (%) < 50)	P (50 < Cti (%) < 60)	P (60 < Cti (%) < 70)	P (70 < TI (%) < 80)
0,67%	4,03%	14,34%	27,83%	29,53%	17,14%	5,43%	0,94%

**Figura 6.14:** Distribuição de frequências e probabilidades para o custo total improdutivo – mínimo.



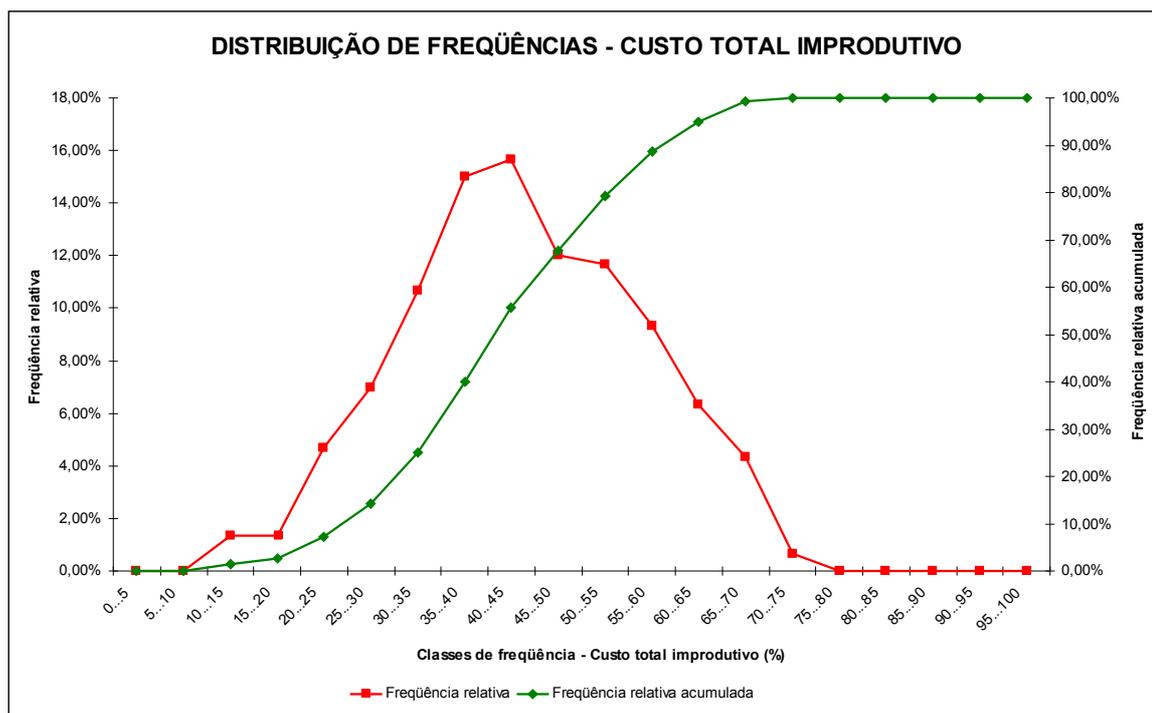
**Figura 6.15:** Histograma e curva normal para o custo total improdutivo – mínimo.

ESTATÍSTICAS DA SIMULAÇÃO - CUSTOS IMPRODUTIVOS							
	Custo de Preparação de Máquina	Custo de Preparação de Ferramenta	Custo de Manobra	Custo das Recuperações	Custos das Paradas por Manutenção	Custo de Improdutividade	Custo do Tempo de Corte
Média (%)	17,42	6,52	5,97	2,20	6,63	44,16	55,84
Desvio Padrão (%)	7,64	3,14	3,81	3,20	5,61	13,16	13,16
$t_{0,05,299}$	1,967928256						
Intervalo 95%	16,55	6,16	5,54	1,84	5,99	42,66	54,34
	18,29	6,88	6,40	2,57	7,27	45,66	57,34

**Tabela 6.21:** Medidas estatísticas da simulação para os custos improdutivos – máximo.

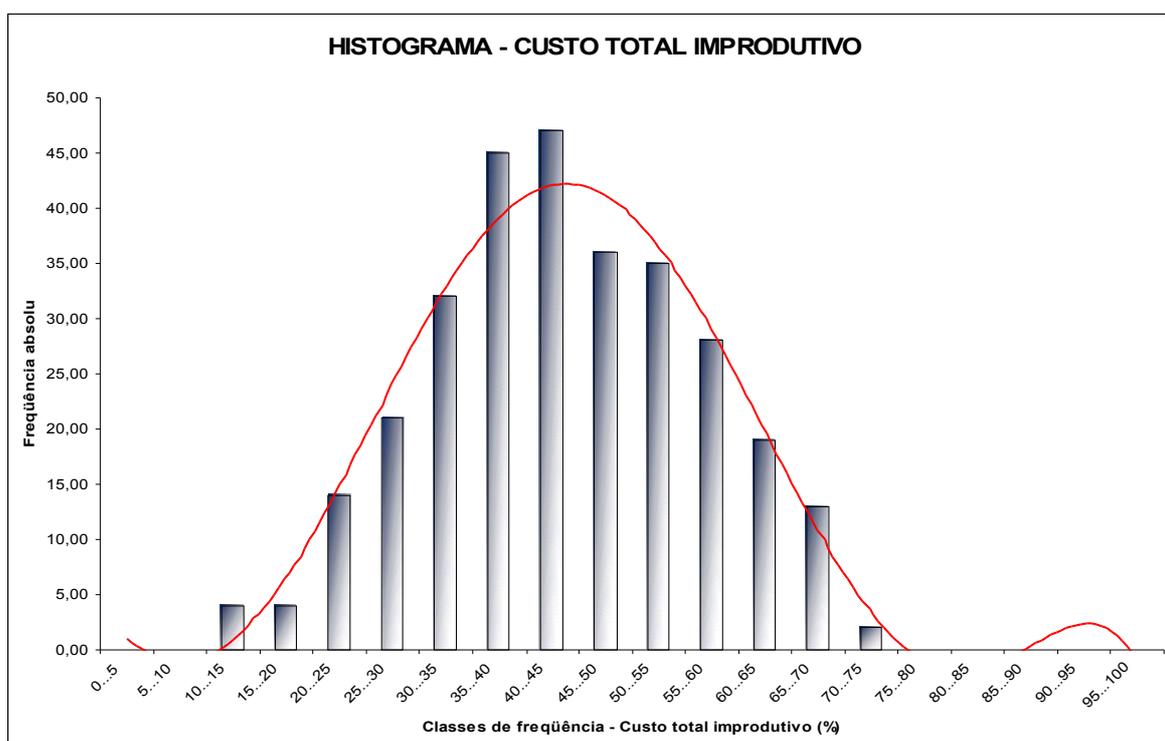
DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIAS - CUSTO TOTAL IMPRODUTIVO						
Intervalo de Classes	Frequência Absoluta	Frequência Relativa	Frequência Relativa Percentual	Frequência Absoluta Acumulada	Frequência Relativa Acumulada	Freq. Relativa Percentual Acumulada
0...5	0,00	0,00	0,00%	0,00	0,00	0,00%
5...10	0,00	0,00	0,00%	0,00	0,00	0,00%
10...15	4,00	0,01	1,33%	4,00	0,01	1,33%
15...20	4,00	0,01	1,33%	8,00	0,03	2,67%
20...25	14,00	0,05	4,67%	22,00	0,07	7,33%
25...30	21,00	0,07	7,00%	43,00	0,14	14,33%
30...35	32,00	0,11	10,67%	75,00	0,25	25,00%
35...40	45,00	0,15	15,00%	120,00	0,40	40,00%
40...45	47,00	0,16	15,67%	167,00	0,56	55,67%
45...50	36,00	0,12	12,00%	203,00	0,68	67,67%
50...55	35,00	0,12	11,67%	238,00	0,79	79,33%
55...60	28,00	0,09	9,33%	266,00	0,89	88,67%
60...65	19,00	0,06	6,33%	285,00	0,95	95,00%
65...70	13,00	0,04	4,33%	298,00	0,99	99,33%
70...75	2,00	0,01	0,67%	300,00	1,00	100,00%
75...80	0,00	0,00	0,00%	300,00	1,00	100,00%
80...85	0,00	0,00	0,00%	300,00	1,00	100,00%
85...90	0,00	0,00	0,00%	300,00	1,00	100,00%
90...95	0,00	0,00	0,00%	300,00	1,00	100,00%
95...100	0,00	0,00	0,00%	300,00	1,00	100,00%
Total	300,00	1,00	100,00%			

**Tabela 6.22:** Distribuição de frequências na simulação do custo total improdutivo – máximo.



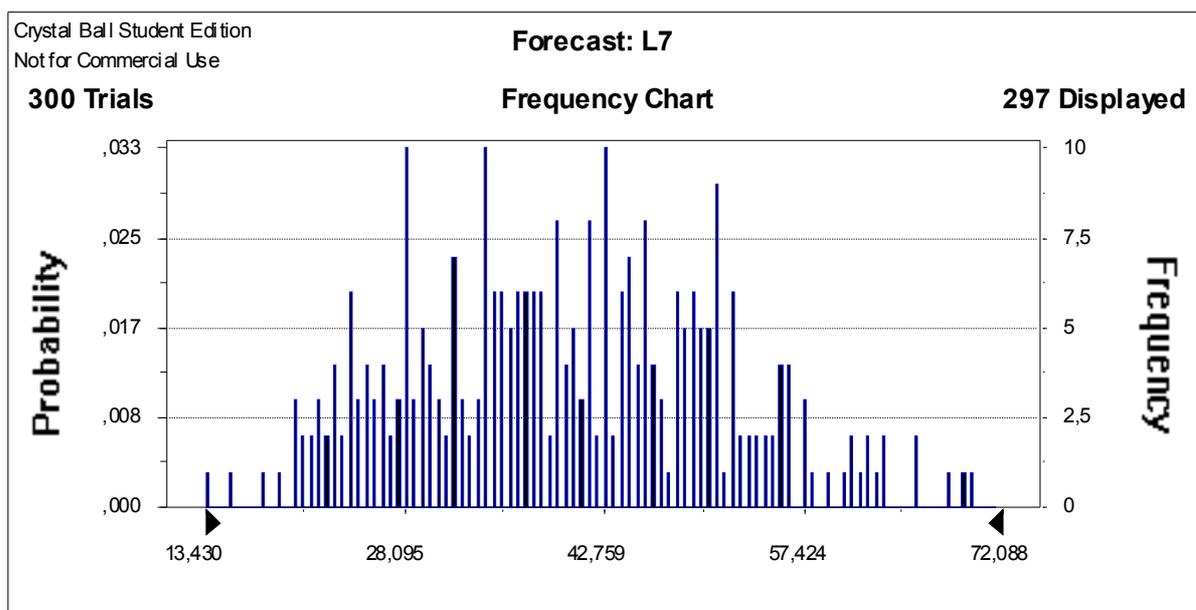
PROBABILIDADES - CUSTO TOTAL IMPRODUTIVO							
P (0 < Cti (%) < 10)	P (10 < Cti (%) < 20)	P (20 < Cti(%) < 30)	P (30 < Cti(%) < 40)	P (40 < Cti (%) < 50)	P (50 < Cti (%) < 60)	P (60 < Cti (%) < 70)	P (70 < TI (%) < 80)
0,41%	2,77%	11,07%	24,61%	30,39%	20,88%	7,97%	1,69%

**Figura 6.16:** Distribuição de frequências e probabilidades para o custo total improdutivo – máximo.



**Figura 6.17:** Histograma e curva normal para o custo total improdutivo – máximo.

Nas simulações anteriores para os custos improdutivos, foram criadas planilhas específicas em *Microsoft Excel* para extração de dados particulares. Uma outra ferramenta de simulação, tal como o *software Crystal Ball*, poderia ser utilizada. Os seguintes resultados para o custo total improdutivo (**Figura 6.18**) são apresentados quando da utilização deste *software*.



**Figura 6.18:** Simulação para o custo total improdutivo através do *Crystal Ball*.

Analogamente aos tempos improdutivos, no capítulo cinco foi apresentado um resultado preliminar para os custos improdutivos em usinagem pesada. O custeamento dos processos apresentou, para cada custo improdutivo significativo, as seguintes médias (em porcentagem do custo total de fabricação):

Custo total improdutivo:	34,67 %
Custo da preparação de máquina:	13,98 %
Custo da preparação de ferramenta:	4,93 %
Custo de manobra:	4,87 %
Custo de manutenção:	3,56 %
Custo das recuperações:	2,34 %

Ao comparar os resultados da análise de sensibilidade com os valores médios de improdutividade mostrados acima, verificou-se uma pequena alteração na ordem de significância dos custos improdutivos: o custo total improdutivo mostrou-se ser mais sensível a alteração no valor do custo das recuperações do que a alteração no custo de manutenção. Entretanto, a validade do modelo matemático para o custo total improdutivo (*Equação 6.3*), sobre o qual foi construída a análise de sensibilidade, não deve ser contestada. Pois o ajuste da regressão mostrou que o modelo representa, com 95,4% de significância, o custo total improdutivo em função dos custos de improdutividade. Esta pequena variação de comportamento pode ser explicada nos 4,6 % dos casos em que o modelo não se aplica. Além disso, a validação do modelo apresentou um desvio médio de apenas 0,71% dos valores calculados em relação aos valores reais. Assim como para os tempos improdutivos, a análise determinística dos custos forneceu resultados válidos, mas merecedores de melhor análise.

Com base na *Equação 6.3* e nas distribuições de probabilidade de cada custo improdutivo (*Tabela 6.18*), os custos improdutivos foram simulados através do método de simulação de Monte Carlo, comprovando os resultados com a credibilidade necessária.

O resultado da simulação, para o custo total improdutivo, apresentou valores médios entre 40,6% e 44,2% (porcentagem do custo total de fabricação), conforme mostrado na *Tabela 6.19* e na *Tabela 6.21*. Para comparação de resultados a simulação foi também executada através do software *Crystal Ball*, apresentando um resultado de custo de improdutividade de 40,4%

Vê-se portanto, através da simulação, que o custo da improdutividade é maior do que o inicialmente apresentado (34,67%).

# CAPÍTULO 7

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 7.1 CONCLUSÕES

O estudo dos tempos e custos de fabricação foi motivado pelo desconhecimento da improdutividade real em operações de usinagem pesada, pela necessidade de conhecer e estratificar os tempos e custos improdutivos do processo e pela necessidade de obter dados que justificassem os investimentos necessários em ações de redução de setup e custos operacionais.

No estudo realizado a simulação demonstrou que o tempo total improdutivo responde por 38,18% a 41,15% do tempo total de fabricação. Conseqüentemente, o tempo de corte, que intuitivamente foi estimado em 50% a 60% do tempo total de fabricação, apresentou valores simulados variando de 58,85% a 61,82%. Observa-se que, ao apurar os custos associados aos tempos improdutivos, a ordem de significância das variáveis é alterada. A simulação demonstrou também que o custo total improdutivo corresponde de 40,5 % a 44,2% do custo total de fabricação

Vê-se, pelos resultados obtidos, que são grandes as oportunidades para aumento da produtividade e redução dos custos operacionais. A pesquisa demonstrou que as ações devem ser concentradas em duas causas principais de improdutividade:

- 1° - Tempo e custo de preparação de máquinas;
- 2° - Tempo e custo com preparação de ferramentas.

Observou-se também que o tempo de corte é alto em operações de usinagem pesada. Portanto, vale a pena conduzir estudos para a otimização e redução deste tempo produtivo. Neste caso deve-se dar atenção à seleção adequada de ferramentas e aos parâmetros de corte do processo.

O trabalho apresentado definiu os principais tempos improdutivos envolvidos nas operações de usinagem pesada. Os tempos e custos associados foram quantificados e sua influência sobre o tempo e custo total de fabricação pôde ser comprovada através das técnicas de regressão e simulação.

## **7.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

1. Avaliar a improdutividade do processo de torneamento pesado ou do mandrilamento pesado, seguindo a mesma metodologia deste trabalho.
2. Avaliar a redução dos tempos e custos improdutivos no setor de usinagem pesada após implantação de uma equipe de *setup* e/ou de uma equipe para gerenciamento de ferramentas de corte.

## **APÊNDICE 1**

**Tempos de fabricação das peças estudadas**

Código de Fabricação	Denominação	Sex	Sáb	Dom	Seg	Ter	Qua	Total (min)	Total (%)
		13/mai	14/mai	15/mai	16/mai	17/mai	18/mai		
		<b>PEÇA: TAMPA INFERIOR 1</b>							
		Tc	Tempo de Corte	360	845	300	1284	1085	0
110	Preparação de Máquina	510	20	0	10	35	0	575	11,1%
111	Manobra de Peça	270	0	0	0	150	40	460	8,9%
112	Preparação de Ferramenta e Troca de Insertos	0	25	0	176	30	0	231	4,5%
113	Controle Dimensional pelo Operador	0	0	0	0	30	0	30	0,6%
114	Controle Dimensional pelo CQ	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
115	Otimização de Programa CN	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
116	Ensaio Não Destrutivo (LP/US)	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
117	Recuperações (Solda/Montagem)	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
118	Aguardando Soldador e Montador	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
901	Aguardando Disp., Fer., Doc., e Decisões	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
902	Aguardando Ponte Rolante	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
904	Máquina em Manutenção	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
905	Treinamento, Cursos, Aprendizagem	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
906	Palestras, Reuniões, Saídas Autorizadas	0	0	0	0	20	0	20	0,4%
907	Falta de Energia Elétrica, Ar, Água Industrial	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
908	Limpeza e Arrumação	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
931	Problemas com Disp., Ferramentas e Fixação	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
935	Problemas com.....	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
<b>Total</b>		<b>1140</b>	<b>890</b>	<b>300</b>	<b>1470</b>	<b>1350</b>	<b>40</b>	<b>5190</b>	<b>100,0%</b>

**Figura A.1.1:** Tempos de fabricação – tampa inferior 1.

Código de Fabricação	Denominação	Qua	Qui	Sex	Total (min)	Total (%)
		18/mai	19/mai	20/mai		
Tc	Tempo de Corte	535	697	256	1488	47,0%
110	Preparação de Máquina	420	140	7	567	17,9%
111	Manobra de Peça	135	35	40	210	6,6%
112	Preparação de Ferramenta e Troca de Insertos	184	24	27	235	7,4%
113	Controle Dimensional pelo Operador	0	24	120	144	4,5%
114	Controle Dimensional pelo CQ	0	6	0	6	0,2%
115	Otimização de Programa CN	0	15	20	35	1,1%
116	Ensaio Não Destrutivo (LP/US)	0	0	0	0	0,0%
117	Recuperações (Solda/Montagem)	0	360	0	360	11,4%
118	Aguardando Soldador e Montador	0	32	0	32	1,0%
901	Aguardando Disp., Fer., Doc., e Decisões	0	0	0	0	0,0%
902	Aguardando Ponte Rolante	90	0	0	90	2,8%
904	Máquina em Manutenção	0	0	0	0	0,0%
905	Treinamento, Cursos, Aprendizagem	0	0	0	0	0,0%
906	Palestras, Reuniões, Saídas Autorizadas	0	0	0	0	0,0%
907	Falta de Energia Elétrica, Ar, Água Industrial	0	0	0	0	0,0%
908	Limpeza e Arrumação	0	0	0	0	0,0%
931	Problemas com Disp., Ferramentas e Fixação	0	0	0	0	0,0%
935	Problemas com.....	0	0	0	0	0,0%
<b>Total</b>		<b>1364</b>	<b>1333</b>	<b>470</b>	<b>3167</b>	<b>100,0%</b>

Figura A.1.2: Tempos de fabricação – anel de regulação 1

Código de Fabricação	Denominação	Sex	Sáb	Dom	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Sáb	Total (min)	Total (%)
		20/mai	21/mai	22/mai	23/mai	24/mai	25/mai	26/mai	27/mai	28/mai		
 <p>PEÇA: TAMPA EXTERNA 1</p>												
Tc	Tempo de Corte	0	145	250	559	820	925	330	330	390	3749	54,9%
110	Preparação de Máquina	505	175	15	0	0	105	0	0	30	830	12,2%
111	Manobra de Peça	420	0	0	0	0	0	0	0	480	900	13,2%
112	Preparação de Ferramenta e Troca de Insertos	0	10	35	241	215	184	15	30	0	730	10,7%
113	Controle Dimensional pelo Operador	0	15	0	40	65	0	0	0	0	120	1,8%
114	Controle Dimensional pelo CQ	0	20	0	0	0	0	0	0	0	20	0,3%
115	Otimização de Programa CN	0	0	0	0	10	0	15	0	0	25	0,4%
116	Ensaio Não Destrutivo (LP/US)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
117	Recuperações (Solda/Montagem)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
118	Aguardando Soldador e Montador	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
901	Aguardando Disp., Fer., Doc., e Decisões	0	0	0	210	75	0	0	0	0	285	4,2%
902	Aguardando Ponte Rolante	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
904	Máquina em Manutenção	0	55	0	0	0	0	0	0	0	55	0,8%
905	Treinamento, Cursos, Aprendizagem	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
906	Palestras, Reuniões, Saídas Autorizadas	0	0	0	90	0	25	0	0	0	115	1,7%
907	Falta de Energia Elétrica, Ar, Água Industrial	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
908	Limpeza e Arrumação	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
931	Problemas com Disp., Ferramentas e Fixação	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
935	Problemas com.....	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
<b>Total</b>		<b>925</b>	<b>420</b>	<b>300</b>	<b>1140</b>	<b>1185</b>	<b>1239</b>	<b>360</b>	<b>360</b>	<b>900</b>	<b>6829</b>	<b>100,0%</b>

Figura A.1.3: Tempos de fabricação – tampa externa 1

Código de Fabricação		Denominação		Dom	Seg	Ter	Qua	Qui	Total (min)	Total (%)
				29/mai	30/mai	31/mai	1/jun	2/jun		
		<b>PEÇA: CONE SUPORTE 1</b>								
Tc	Tempo de Corte	0	0	587	645	0	1232	0	1232	35,3%
110	Preparação de Máquina	300	645	125	123	0	1193	0	1193	34,1%
111	Manobra de Peça	0	0	0	195	50	245	0	245	7,0%
112	Preparação de Ferramenta e Troca de Insertos	0	0	85	37	0	122	0	122	3,5%
113	Controle Dimensional pelo Operador	0	90	72	20	0	182	0	182	5,2%
114	Controle Dimensional pelo CQ	0	0	0	150	0	150	0	150	4,3%
115	Otimização de Programa CN	0	0	0	5	0	5	0	5	0,1%
116	Ensaio Não Destrutivo (LP/US)	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
117	Recuperações (Solda/Montagem)	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
118	Aguardando Soldador e Montador	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
901	Aguardando Disp., Fer., Doc., e Decisões	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
902	Aguardando Ponte Rolante	0	0	0	40	0	40	0	40	1,1%
904	Máquina em Manutenção	0	195	130	0	0	325	0	325	9,3%
905	Treinamento, Cursos, Aprendizagem	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
906	Palestras, Reuniões, Saídas Autorizadas	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
907	Falta de Energia Elétrica, Ar, Água Industrial	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
908	Limpeza e Arrumação	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
931	Problemas com Disp., Ferramentas e Fixação	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
935	Problemas com.....	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
<b>Total</b>		<b>300</b>	<b>930</b>	<b>999</b>	<b>1215</b>	<b>50</b>	<b>3494</b>		<b>3494</b>	<b>100,0%</b>

Figura A.1.4: Tempos de fabricação – cone suporte 1

		<p><b>PEÇA: ANEL DE REGULAÇÃO 2</b></p>									
		Código de Fabricação	Denominação	Qui 2/jun	Sex 3/jun	Sáb 4/jun	Dom 5/jun	Seg 6/jun	Ter 7/jun	Qua 8/jun	Qui 9/jun
Tc	Tempo de Corte	639	996	360	214	713	744	502	70	4238	68,0%
110	Preparação de Máquina	350	40	24	0	35	33	0	45	527	8,5%
111	Manobra de Peça	35	0	0	0	0	0	0	50	85	1,4%
112	Preparação de Ferramenta e Troca de Insertos	77	42	28	3	155	115	18	10	448	7,2%
113	Controle Dimensional pelo Operador	94	120	8	29	27	38	25	15	356	5,7%
114	Controle Dimensional pelo CQ	0	0	0	0	0	0	0	60	60	1,0%
115	Otimização de Programa CN	0	17	0	0	0	0	0	0	17	0,3%
116	Ensaio Não Destrutivo (LP/US)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
117	Recuperações (Solda/Montagem)	0	0	0	0	0	0	245	0	245	3,9%
118	Aguardando Soldador e Montador	0	0	0	0	0	0	60	0	60	1,0%
901	Aguardando Disp., Fer., Doc., e Decisões	0	0	0	0	0	0	15	0	15	0,2%
902	Aguardando Ponte Rolante	0	0	0	0	0	0	0	95	95	1,5%
904	Máquina em Manutenção	0	0	0	57	0	0	0	0	57	0,9%
905	Treinamento, Cursos, Aprendizagem	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
906	Palestras, Reuniões, Saídas Autorizadas	30	0	0	0	0	0	0	0	30	0,5%
907	Falta de Energia Elétrica, Ar, Água Industrial	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
908	Limpeza e Arrumação	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
931	Problemas com Disp., Ferramentas e Fixação	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
935	Problemas com.....	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
<b>Total</b>		<b>1225</b>	<b>1215</b>	<b>420</b>	<b>303</b>	<b>930</b>	<b>930</b>	<b>865</b>	<b>345</b>	<b>6233</b>	<b>100,0%</b>

Figura A.1.5: Tempos de fabricação – anel de regulação 2

Código de Fabricação	Denominação	Qui	Sex	Sáb	Dom	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Sáb	Dom	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Sáb	Total (min)	Total (%)
		9Jun	10Jun	11Jun	12Jun	13Jun	14Jun	15Jun	16Jun	17Jun	18Jun	19Jun	20Jun	21Jun	22Jun	23Jun	24Jun	25Jun		
		358	994	420	60	888	915	450	335	1175	535	0	485	570	862	642	885	210	8915	57,9%
110	Preparação de Máquina	215	130	0	0	140	85	525	480	10	0	300	675	45	190	28	190	30	3023	17,0%
111	Mandrel de Peça	15	0	0	0	0	0	30	0	10	0	0	28	0	0	0	0	50	125	0,7%
112	Preparação de Ferramenta e Toca de Insetos	55	90	0	240	47	220	195	95	40	280	0	15	65	105	50	80	60	1538	9,7%
113	Controle Dimensional pelo Operador	0	5	0	0	20	10	0	40	0	0	0	50	0	53	30	0	0	208	1,2%
114	Controle Dimensional pelo CQ	0	0	0	0	0	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0,3%
115	Otimização de Programa CN	0	5	0	0	0	0	0	0	10	0	0	5	10	0	0	0	0	30	0,2%
116	Ensaios Não Destrutivos (PUS)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
117	Recuperações (Solda/Montagem)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	0	0	0	40	0,2%
118	Aguardando Soldador e Montador	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
901	Aguardando Disp., Fer., Doc. e Decisões	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
902	Aguardando Ponte Rolante	0	0	0	0	0	10	0	285	0	0	0	75	0	0	0	0	0	300	2,2%
904	Máquina em Manutenção	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	655	0	460	360	0	1485	8,0%
905	Treino, Cursos, Aprendizagem	0	0	0	0	0	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	50	0,3%
906	Paletas, Reuniões, Saídas Autorizadas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	120	0	0	120	0,7%
907	Falta de Energia Elétrica, Ar, Água Industrial	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
908	Limpeza e Arrumação	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
909	Problemas com Disp., Ferramentas e Fixação	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
905	Problemas com.....	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
<b>Total</b>		<b>644</b>	<b>1194</b>	<b>420</b>	<b>300</b>	<b>1095</b>	<b>1285</b>	<b>1200</b>	<b>1235</b>	<b>1295</b>	<b>885</b>	<b>300</b>	<b>1365</b>	<b>1325</b>	<b>1250</b>	<b>1330</b>	<b>1515</b>	<b>350</b>	<b>16959</b>	<b>100,0%</b>

Figura A.1.6: Tempos de fabricação - aranha

Código de Fabricação	Denominação	Qua	Qui	Sex	Sáb	Dom	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Sáb	Dom	Seg	Ter	Qua	Total (min)	Total (%)
		11mai	12mai	13mai	14mai	15mai	16mai	17mai	18mai	19mai	20mai	21mai	22mai	23mai	24mai	25mai		
		0	105	125	70	210	75	155	630	1190	765	360	240	1077	924	820	11116	90,4%
Tc	Tempo de Corte	0	105	125	70	210	75	155	630	1190	765	360	240	1077	924	820	11116	90,4%
110	Preparação de Máquina	435	160	0	0	0	0	0	195	0	0	0	0	0	0	0	790	5,7%
111	Mandrola de Peça	0	20	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	15	55	0,4%
112	Preparação de Ferramenta e Troca de Insetos	0	90	20	15	0	10	20	90	30	120	0	0	100	123	85	703	5,1%
113	Controle Dimensional pelo Operador	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	60	60	35	0	150	325	2,4%
114	Controle Dimensional pelo OQ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	40	0,3%
115	Otimização de Programa CN	0	0	30	45	0	160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	255	1,8%
116	Ensaio Não Destrutivo (LPIUS)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
117	Recuperações (Solda/Montagem)	0	0	0	0	0	0	0	120	0	0	0	0	0	0	0	120	0,9%
118	Aguardando Soldador e Montador	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
901	Aguardando Disp, Fer, Doc, e Decisões	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	30	0,2%
902	Aguardando Ponte Rolante	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
904	Máquina em Manutenção	0	0	0	90	90	0	0	0	0	0	0	0	35	75	0	290	2,1%
905	Treinamento, Cursos, Aprendizagem	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
906	Palestras, Reuniões, Saídas Autorizadas	0	0	0	0	0	0	60	0	0	0	0	0	0	0	0	60	0,4%
907	Falta de Energia Elétrica, Ar, Água Industrial	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
908	Limpeza e Arrumação	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
931	Problemas com Disp, Ferramentas e Fixação	0	0	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0	40	0,3%
935	Problemas com.....	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
<b>Total</b>		<b>435</b>	<b>1275</b>	<b>1305</b>	<b>900</b>	<b>300</b>	<b>935</b>	<b>1275</b>	<b>1035</b>	<b>1260</b>	<b>885</b>	<b>420</b>	<b>300</b>	<b>1277</b>	<b>1122</b>	<b>1110</b>	<b>13824</b>	<b>100,0%</b>

Figura A.1.7: Tempos de fabricação – anel de regulação 3

Código de Fabricação	Denominação	Qua	Qui	Sex	Sáb	Dom	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Total (min)	Total (%)
		25/mai	26/mai	27/mai	28/mai	29/mai	30/mai	31/mai	1/jun	2/jun	3/jun		
 <p style="text-align: center;"><b>PEÇA: PRÉ DISTRIBUIDOR</b></p>													
Tc	Tempo de Corte	0	0	600	780	270	1035	1160	905	910	0	5660	68,8%
110	Preparação de Máquina	165	300	180	0	0	0	0	0	0	0	645	7,8%
111	Manobra de Peça	0	600	0	0	0	0	0	0	0	0	600	7,3%
112	Preparação de Ferramenta e Troca de Insertos	0	0	60	120	30	45	100	120	300	0	775	9,4%
113	Controle Dimensional pelo Operador	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	30	0,4%
114	Controle Dimensional pelo CQ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
115	Otimização de Programa CN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
116	Ensaio Não Destrutivo (LPIUS)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
117	Recuperações (Solda/Montagem)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
118	Aguardando Soldador e Montador	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
901	Aguardando Disp., Fer., Doc., e Decisões	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
902	Aguardando Ponte Rolante	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
904	Máquina em Manutenção	0	0	60	0	0	195	0	0	0	0	255	3,1%
905	Treinamento, Cursos, Aprendizagem	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
906	Palestras, Reuniões, Saídas Autorizadas	0	0	0	0	0	0	0	240	20	0	260	3,2%
907	Falta de Energia Elétrica, Ar, Água Industrial	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
908	Limpeza e Arrumação	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
931	Problemas com Disp., Ferramentas e Fixação	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
935	Problemas com.....	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
<b>Total</b>		<b>165</b>	<b>900</b>	<b>900</b>	<b>900</b>	<b>300</b>	<b>1275</b>	<b>1260</b>	<b>1265</b>	<b>1260</b>	<b>0</b>	<b>8225</b>	<b>100,0%</b>

Figura A.1.8: Tempos de fabricação – pré distribuidor

Código de Fabricação	Denominação	Sex	Sáb	Dom	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Sáb	Dom	Seg	Ter	Total (min)	Total (%)
		3/jun	4/jun	5/jun	6/jun	7/jun	8/jun	9/jun	10/jun	11/jun	12/jun	13/jun	14/jun		
 <p style="text-align: center;">PEÇA: CAIXA ESPIRAL</p>															
Tc	Tempo de Corte	0	0	240	1080	791	720	1099	1140	420	300	635	335	6780	73,1%
110	Preparação de Máquina	300	420	0	45	0	0	0	0	0	0	540	355	1660	18,0%
111	Manobra de Peça	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	90	60	150	1,6%
112	Preparação de Ferramenta e Troca de Insertos	0	0	0	0	90	120	0	0	0	0	0	0	210	2,3%
113	Controle Dimensional pelo Operador	0	0	0	0	0	0	20	15	0	0	10	30	75	0,8%
114	Controle Dimensional pelo CQ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
115	Otimização de Programa CN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
116	Ensaios Não Destrutivos (LPIUS)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
117	Recuperações (Solda/Montagem)	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0	40	0,4%
118	Aguardando Soldador e Montador	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
901	Aguardando Disp., Fer., Doc., e Decisões	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
902	Aguardando Ponte Rolante	0	0	0	0	80	0	0	0	0	0	0	0	80	0,9%
904	Máquina em Manutenção	0	0	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60	0,6%
905	Treinamento, Cursos, Aprendizagem	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
906	Palestras, Reuniões, Saídas Autorizadas	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0,3%
907	Falta de Energia Elétrica, Ar, Água Industrial	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
908	Limpeza e Arrumação	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
931	Problemas com Disp., Ferramentas e Fixação	0	0	0	0	0	146	36	0	0	0	0	0	182	2,0%
935	Problemas com.....	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
<b>Total</b>		<b>300</b>	<b>420</b>	<b>300</b>	<b>1155</b>	<b>1001</b>	<b>986</b>	<b>1155</b>	<b>1155</b>	<b>420</b>	<b>300</b>	<b>1275</b>	<b>780</b>	<b>9247</b>	<b>100,0%</b>

Figura A.1.9: Tempos de fabricação – caixa espiral

Código de Fabricação		Denominação		Sex	Sáb	Dom	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Sáb	Dom	Seg	Total (min)	Total (%)
				20/mai	21/mai	22/mai	23/mai	24/mai	25/mai	26/mai	27/mai	28/mai	29/mai	30/mai		
		<b>PEÇA: TAMPA SUPERIOR 1</b>														
Tc	Tempo de Corte	0	690	300	835	1170	1035	900	660	840	300	755	7485	82,0%		
110	Preparação de Máquina	300	135	0	75	0	239	0	0	0	0	0	749	8,2%		
111	Manobra de Peça	0	0	0	0	0	145	0	0	0	0	45	190	2,1%		
112	Preparação de Ferramenta e Troca de Insertos	0	75	0	20	75	0	0	0	0	0	10	180	2,0%		
113	Controle Dimensional pelo Operador	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%		
114	Controle Dimensional pelo CQ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%		
115	Otimização de Programa CN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%		
116	Ensaio Não Destrutivo (LPIUS)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%		
117	Recuperações (Solda/Montagem)	0	0	0	0	0	0	0	210	0	0	0	210	2,3%		
118	Aguardando Soldador e Montador	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	30	0,3%		
901	Aguardando Disp., Fer., Doc., e Decisões	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%		
902	Aguardando Ponte Rolante	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	105	105	1,2%		
904	Máquina em Manutenção	0	0	0	0	150	0	0	0	0	0	0	150	1,6%		
905	Treinamento, Cursos, Aprendizagem	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%		
906	Palestras, Reuniões, Saídas Autorizadas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%		
907	Falta de Energia Elétrica, Ar, Água Industrial	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%		
908	Limpeza e Arumação	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%		
931	Problemas com Disp., Ferramentas e Fixação	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%		
935	Problemas com.....	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	30	0,3%		
<b>Total</b>		<b>300</b>	<b>900</b>	<b>300</b>	<b>930</b>	<b>1395</b>	<b>1419</b>	<b>900</b>	<b>900</b>	<b>840</b>	<b>300</b>	<b>945</b>	<b>9129</b>	<b>100,0%</b>		

Figura A.1.10: Tempos de fabricação – tampa superior 1

Código de Fabricação	Denominação	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Sáb	Total (min)	Total (%)
		30/mai	31/mai	1/jun	2/jun	3/jun	4/jun		
Tc	Tempo de Corte	0	1200	1075	1080	1200	0	4555	79,1%
110	Preparação de Máquina	300	0	165	0	0	0	465	8,1%
111	Manobra de Peça	30	0	30	0	0	120	180	3,1%
112	Preparação de Ferramenta e Troca de Insertos	0	30	0	45	0	0	75	1,3%
113	Controle Dimensional pelo Operador	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
114	Controle Dimensional pelo CQ	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
115	Otimização de Programa CN	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
116	Ensaio Não Destrutivo (LPI/US)	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
117	Recuperações (Solda/Montagem)	0	0	120	0	60	0	180	3,1%
118	Aguardando Soldador e Montador	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
901	Aguardando Disp., Fer., Doc., e Decisões	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
902	Aguardando Ponte Rolante	0	0	0	0	75	0	75	1,3%
904	Máquina em Manutenção	0	60	0	150	0	0	210	3,6%
905	Treinamento, Cursos, Aprendizagem	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
906	Palestras, Reuniões, Saídas Autorizadas	0	0	0	15	0	0	15	0,3%
907	Falta de Energia Elétrica, Ar, Água Industrial	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
908	Limpeza e Arrumação	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
931	Problemas com Disp., Ferramentas e Fixação	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
935	Problemas com.....	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
<b>Total</b>		<b>330</b>	<b>1290</b>	<b>1390</b>	<b>1290</b>	<b>1335</b>	<b>120</b>	<b>5755</b>	<b>100,0%</b>

Figura A.1.11: Tempos de fabricação – tampa superior 2

Código de Fabricação		Denominação		Sáb	Dom	Seg	Ter	Total (min)	Total (%)
				4/jun	5/jun	6/jun	7/jun		
		<b>PEÇAS: CONES SUPORTE 2</b>							
Tc	Tempo de Corte	300	180	840	945	2265	61,9%		
110	Preparação de Máquina	390	0	180	240	810	22,1%		
111	Manobra de Peça	60	30	45	60	195	5,3%		
112	Preparação de Ferramenta e Troca de Insertos	0	0	0	0	0	0,0%		
113	Controle Dimensional pelo Operador	0	0	0	0	0	0,0%		
114	Controle Dimensional pelo CQ	0	0	0	0	0	0,0%		
115	Otimização de Programa CN	0	0	0	0	0	0,0%		
116	Ensaio Não Destrutivos (LP/US)	0	0	0	0	0	0,0%		
117	Recuperações (Solda/Montagem)	0	0	0	0	0	0,0%		
118	Aguardando Soldador e Montador	0	0	0	0	0	0,0%		
901	Aguardando Disp., Fer., Doc., e Decisões	0	0	0	0	0	0,0%		
902	Aguardando Ponte Rolante	30	60	165	105	360	9,8%		
904	Máquina em Manutenção	0	0	0	0	0	0,0%		
905	Treinamento, Cursos, Aprendizagem	0	0	0	0	0	0,0%		
906	Palestras, Reuniões, Saídas Autorizadas	0	0	0	0	0	0,0%		
907	Falta de Energia Elétrica, Ar, Água Industrial	0	0	0	0	0	0,0%		
908	Limpeza e Arrumação	0	0	0	0	0	0,0%		
931	Problemas com Disp., Ferramentas e Fixação	0	0	0	0	0	0,0%		
935	Problemas com.....	0	30	0	0	30	0,8%		
<b>Total</b>		<b>780</b>	<b>300</b>	<b>1230</b>	<b>1350</b>	<b>3660</b>	<b>100,0%</b>		

Figura A.1.12: Tempos de fabricação – cones suporte 2

Código de Fabricação	Denominação	Qua	Qui	Sex	Sáb	Dom	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Sáb	Dom	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Total (min)	Total (%)
		8jun	9jun	10jun	11jun	12jun	13jun	14jun	15jun	16jun	17jun	18jun	19jun	20jun	21jun	22jun	23jun	24jun		
Tc	Tempo de Corte	0	640	1125	840	0	1200	1200	900	1035	1100	420	300	1155	310	210	660	660	11705	79,5%
110	Preparação de Máquina	720	600	0	0	0	0	0	180	240	0	0	0	0	0	60	156	0	1956	13,2%
111	Manobra de Peça	120	0	0	0	0	0	0	75	0	0	0	0	0	0	0	0	48	235	1,6%
112	Preparação de Ferramenta e Troca de Insetos	0	95	225	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	350	2,4%
113	Controle Dimensional pelo Operador	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48	30	78	0,5%
114	Controle Dimensional pelo CD	0	0	60	0	0	0	0	0	0	45	0	0	0	0	0	0	0	105	0,7%
115	Calibração de Programa CN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
116	Ensaios Não Destrutivos (P.NUS)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
117	Recuperações (Solda/Montagem)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
118	Ajustando Soldador e Montador	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
901	Aguardando Disp., Fer., Doc. e Desobstáculos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
902	Aguardando Pronta-Relante	0	0	0	0	0	0	30	120	0	90	0	0	0	0	0	0	0	240	1,6%
904	Máquina em Manutenção	0	0	0	0	0	30	0	0	0	60	0	0	0	0	0	0	0	90	0,6%
905	Treinamento, Cursos, Aprendizagem	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
906	Palestras, Reuniões, Saídas Autorizadas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
907	Falta de Energia Elétrica, Ar, Água Industrial	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
908	Limpeza e Arrumação	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
901	Problemas com Disp., Ferramentas e Fixação	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
905	Problemas com.....	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0%
<b>Total</b>		<b>840</b>	<b>1035</b>	<b>1410</b>	<b>840</b>	<b>0</b>	<b>1260</b>	<b>1260</b>	<b>1275</b>	<b>1275</b>	<b>1295</b>	<b>420</b>	<b>300</b>	<b>1155</b>	<b>310</b>	<b>270</b>	<b>1156</b>	<b>430</b>	<b>14831</b>	<b>100,0%</b>

Figura A.1.13: Tempos de fabricação – eixo da turbina.



## **APÊNDICE 2**

**Simulação de Monte Carlo – Tempos  
(300 iterações)**



SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO - TEMPOS IMPRODUTIVOS							
Baseada no modelo definitivo para tempo total improdutivo							
$TI = -1,20 + 1,41*(110) + 0,857*(111) + 1,48*(112) + 0,559*(904) + 1,20*(117)$							
N	110	111	112	117	904	Tempo total improdutivo (TI)	Tempo de Corte
	Valor (%)	Valor (%)					
1	10,00	13,20	7,00	3,10	9,30	38,84	61,16
2	15,00	5,00	7,00	0,40	9,30	35,62	64,38
3	34,10	5,00	10,00	3,10	0,00	69,69	30,31
4	30,00	10,00	5,00	3,10	9,30	61,34	38,66
5	10,00	0,00	10,00	3,10	0,00	31,42	68,58
6	5,00	0,00	10,00	3,10	0,00	24,37	75,63
7	20,00	0,00	5,00	3,10	0,00	38,12	61,88
8	25,00	5,00	5,00	3,10	9,30	50,00	50,00
9	20,00	10,00	2,00	3,10	9,30	42,80	57,20
10	1,00	7,00	10,70	11,40	9,30	36,27	63,73
11	25,00	13,20	10,00	0,20	3,35	60,60	39,40
12	20,00	10,00	10,00	3,10	9,30	54,64	45,36
13	15,00	5,00	5,00	0,20	3,35	32,07	67,93
14	10,00	10,00	5,00	3,10	9,30	33,14	66,86
15	20,00	5,00	2,00	3,10	9,30	38,51	61,49
16	30,00	5,00	10,00	3,10	3,35	64,10	35,90
17	15,00	7,00	7,00	3,10	3,35	40,23	59,77
18	25,00	11,00	2,00	3,10	9,30	50,71	49,29
19	20,00	0,00	2,00	0,20	0,00	30,20	69,80
20	34,10	0,00	10,70	11,40	0,30	76,41	23,59
21	25,00	10,00	0,00	0,40	9,30	43,65	56,35
22	10,00	5,00	2,00	0,20	9,30	20,93	79,07
23	34,10	7,00	7,00	0,40	3,35	63,92	36,08
24	20,00	10,00	2,00	3,10	3,35	42,45	57,55
25	34,10	10,00	10,70	3,10	3,35	75,20	24,80
26	5,00	2,00	7,00	0,20	9,30	18,71	81,29
27	20,00	7,00	5,00	3,10	0,00	44,12	55,88
28	20,00	2,00	7,00	3,10	0,00	42,79	57,21
29	10,00	10,00	5,00	3,10	0,00	32,59	67,41
30	10,00	13,20	5,00	3,10	0,00	35,33	64,67
31	20,00	10,00	5,00	3,10	3,35	46,89	53,11
32	20,00	5,00	10,00	3,10	3,35	50,00	50,00
33	10,00	7,00	0,00	3,10	9,30	23,17	76,83
34	20,00	0,00	7,00	3,10	0,00	41,08	58,92
35	1,00	5,00	10,00	0,40	9,30	20,32	79,68
36	20,00	7,00	5,00	11,40	9,30	54,63	45,37
37	5,00	7,00	5,00	3,10	3,35	23,17	76,83
38	25,00	0,00	5,00	0,40	3,35	42,13	57,87
39	15,00	10,00	10,00	11,40	9,30	57,55	42,45
40	25,00	7,00	7,00	3,10	9,30	54,68	45,32
41	15,00	5,00	10,00	3,10	3,35	42,95	57,05
42	15,00	10,00	7,00	3,10	0,30	42,62	57,38

Figura A.2.1(a): Simulação de Monte Carlo - Tempos

43	15,00	2,00	5,00	0,40	0,00	29,54	70,46
44	10,00	11,00	2,00	0,40	3,35	25,96	74,04
45	15,00	12,00	10,00	3,10	3,35	48,95	51,05
46	15,00	5,00	2,00	3,10	3,35	31,11	68,89
47	10,00	10,00	10,00	3,10	9,30	40,54	59,46
48	10,00	0,00	10,70	3,10	3,35	32,65	67,35
49	30,00	13,20	5,00	3,10	9,30	64,08	35,92
50	20,00	5,00	10,00	3,10	9,30	50,35	49,65
51	25,00	2,00	5,00	3,10	9,30	47,43	52,57
52	25,00	10,00	7,00	0,20	9,30	53,77	46,23
53	20,00	5,00	10,00	0,20	9,30	46,87	53,13
54	5,00	5,00	7,00	11,40	3,35	34,37	65,63
55	15,00	10,00	7,00	0,20	9,30	39,67	60,33
56	20,00	12,00	5,00	0,20	9,30	45,47	54,53
57	25,00	10,00	2,00	3,10	3,35	49,50	50,50
58	34,10	5,00	5,00	3,10	9,30	62,83	37,17
59	15,00	5,00	7,00	3,10	3,35	38,51	61,49
60	20,00	10,00	7,00	3,10	3,35	49,85	50,15
61	15,00	0,00	10,70	11,40	3,35	49,66	50,34
62	15,00	5,00	5,00	3,10	0,90	35,41	64,59
63	20,00	13,20	5,00	0,40	3,35	46,39	53,61
64	20,00	0,00	10,00	3,10	3,35	45,72	54,28
65	20,00	11,00	0,00	3,10	3,35	40,34	59,66
66	15,00	5,00	10,70	3,10	9,30	44,34	55,66
67	10,00	10,00	5,00	3,10	0,30	32,61	67,39
68	20,00	7,00	10,00	3,10	0,00	51,52	48,48
69	15,00	7,00	10,00	3,10	9,30	45,02	54,98
70	15,00	10,00	5,00	3,10	0,00	39,64	60,36
71	25,00	5,00	0,00	0,40	9,30	39,36	60,64
72	25,00	5,00	2,00	0,20	9,30	42,08	57,92
73	15,00	7,00	5,00	3,10	0,30	37,09	62,91
74	30,00	10,00	0,00	0,20	3,35	50,11	49,89
75	15,00	10,00	0,00	3,10	9,30	32,79	67,21
76	30,00	2,00	7,00	3,10	0,00	56,89	43,11
77	15,00	0,00	10,00	0,20	9,30	35,54	64,46
78	25,00	0,00	10,00	3,10	9,30	53,12	46,88
79	20,00	5,00	7,00	3,10	9,30	45,91	54,09
80	20,00	5,00	7,00	3,10	9,30	45,91	54,09
81	10,00	5,00	0,00	3,10	0,30	20,92	79,08
82	20,00	5,00	7,00	3,10	0,00	45,37	54,64
83	10,00	7,00	7,00	3,10	3,35	33,18	66,82
84	10,00	7,00	5,00	0,20	9,30	27,09	72,91
85	15,00	0,00	5,00	3,10	9,30	31,62	68,38
86	34,10	5,00	10,00	0,20	0,00	66,21	33,79
87	15,00	5,00	5,00	0,20	9,30	32,42	67,58
88	25,00	10,00	5,00	0,20	0,00	50,26	49,74
89	15,00	7,00	7,00	3,10	9,30	40,58	59,42
90	25,00	5,00	7,00	11,40	9,30	62,92	37,08
91	10,00	2,00	7,00	0,20	9,30	25,76	74,24
92	20,00	7,00	10,00	3,10	9,30	52,07	47,93
93	10,00	7,00	10,00	3,10	9,30	37,97	62,03

*Figura A.2.1(b):* Simulação de Monte Carlo - Tempos

94	25,00	0,00	7,00	3,10	9,30	48,68	51,32
95	5,00	2,00	5,00	3,10	3,35	18,88	81,12
96	25,00	7,00	10,00	3,10	9,30	59,12	40,88
97	15,00	5,00	10,00	3,10	9,30	43,30	56,70
98	25,00	5,00	5,00	11,40	3,35	59,61	40,39
99	30,00	2,00	5,00	3,10	3,35	54,13	45,87
100	30,00	2,00	7,00	0,20	9,30	53,96	46,04
101	15,00	0,00	2,00	11,40	0,00	36,59	63,41
102	10,00	5,00	5,00	3,10	9,30	28,85	71,15
103	5,00	10,00	5,00	0,40	0,00	22,30	77,70
104	25,00	5,00	5,00	3,10	3,35	49,65	50,35
105	20,00	10,00	10,70	11,40	0,00	65,09	34,91
106	25,00	7,00	10,00	3,10	9,30	59,12	40,88
107	20,00	2,00	0,00	3,10	3,35	32,63	67,37
108	15,00	0,00	10,00	3,10	9,30	39,02	60,98
109	20,00	2,00	10,00	3,10	0,00	47,23	52,77
110	20,00	11,00	5,00	3,10	9,30	48,10	51,90
111	20,00	2,00	10,00	3,10	0,00	47,23	52,77
112	15,00	10,00	5,00	3,10	0,00	39,64	60,36
113	5,00	5,00	0,00	3,10	0,00	13,86	86,15
114	15,00	7,00	5,00	3,10	9,30	37,62	62,38
115	20,00	5,00	7,00	11,40	0,00	55,33	44,68
116	20,00	5,00	7,00	3,10	0,00	45,37	54,64
117	5,00	13,20	10,00	3,10	0,00	35,68	64,32
118	10,00	0,00	2,00	3,10	0,00	19,58	80,42
119	15,00	10,00	7,00	3,10	0,00	42,60	57,40
120	25,00	10,00	7,00	0,20	9,30	53,77	46,23
121	5,00	2,00	10,00	3,10	3,35	26,28	73,72
122	20,00	5,00	2,00	0,20	9,30	35,03	64,97
123	20,00	7,00	0,00	3,10	0,90	36,77	63,23
124	5,00	5,00	7,00	0,20	9,30	21,28	78,72
125	20,00	0,00	5,00	3,10	9,30	38,67	61,33
126	20,00	5,00	5,00	3,10	0,00	42,41	57,60
127	20,00	10,00	10,00	0,20	3,35	50,81	49,19
128	30,00	0,00	10,70	3,10	3,35	60,85	39,15
129	20,00	2,00	10,70	0,40	0,00	45,03	54,97
130	25,00	0,00	5,00	3,10	9,30	45,72	54,28
131	10,00	2,00	2,00	3,10	9,30	21,84	78,16
132	10,00	5,00	10,70	3,10	0,00	36,74	63,26
133	15,00	2,00	10,00	3,10	3,35	40,38	59,62
134	5,00	0,00	7,00	0,40	9,30	17,24	82,76
135	15,00	2,00	7,00	0,20	9,30	32,81	67,19
136	5,00	10,00	10,00	3,10	0,30	32,96	67,04
137	34,10	11,00	2,00	3,10	0,00	62,99	37,01
138	15,00	5,00	5,00	3,10	0,30	35,37	64,63
139	10,00	7,00	10,00	0,40	9,30	34,73	65,27
140	15,00	12,00	5,00	3,10	0,00	41,35	58,65
141	25,00	13,20	10,00	0,20	3,35	60,60	39,40
142	25,00	7,00	5,00	3,10	9,30	51,72	48,28
143	15,00	10,00	5,00	11,40	0,00	49,60	50,40
144	10,00	5,00	0,00	11,40	0,00	30,87	69,14

*Figura A.2.1(c):* Simulação de Monte Carlo - Tempos

145	15,00	7,00	0,00	0,20	3,35	26,39	73,61
146	25,00	5,00	7,00	0,20	9,30	49,48	50,52
147	10,00	5,00	10,00	3,10	9,30	36,25	63,75
148	10,00	10,00	5,00	0,20	0,90	29,16	70,84
149	10,00	10,00	10,00	11,40	3,35	50,15	49,85
150	30,00	5,00	5,00	0,20	9,30	53,57	46,43
151	20,00	5,00	7,00	3,10	3,35	45,56	54,44
152	25,00	2,00	5,00	3,10	3,35	47,08	52,92
153	25,00	2,00	7,00	3,10	3,35	50,04	49,96
154	10,00	10,00	5,00	3,10	9,30	33,14	66,86
155	20,00	11,00	7,00	3,10	0,00	50,51	49,49
156	1,00	10,00	5,00	3,10	0,00	19,90	80,10
157	15,00	2,00	10,00	0,40	9,30	37,49	62,51
158	30,00	7,00	5,00	3,10	0,00	58,22	41,78
159	20,00	13,20	5,00	0,40	0,00	46,19	53,81
160	20,00	0,00	5,00	3,10	3,35	38,32	61,68
161	20,00	2,00	10,70	11,40	9,30	58,78	41,22
162	30,00	11,00	7,00	0,20	0,00	61,13	38,87
163	20,00	0,00	7,00	11,40	3,35	51,24	48,76
164	25,00	5,00	5,00	3,10	0,00	49,46	50,55
165	25,00	5,00	0,00	3,10	0,90	42,11	57,89
166	15,00	13,20	5,00	0,20	0,00	38,90	61,10
167	15,00	10,00	0,00	3,10	0,00	32,24	67,76
168	20,00	10,00	10,00	3,10	9,30	54,64	45,36
169	10,00	5,00	5,00	3,10	0,00	28,31	71,70
170	20,00	5,00	5,00	3,10	3,35	42,60	57,40
171	25,00	7,00	10,70	0,40	3,35	56,56	43,44
172	5,00	7,00	2,00	3,10	0,00	18,53	81,47
173	25,00	2,00	5,00	3,10	9,30	47,43	52,57
174	15,00	7,00	10,00	0,20	9,30	41,54	58,46
175	20,00	10,00	2,00	0,40	3,35	39,21	60,79
176	10,00	2,00	10,00	3,10	3,35	33,33	66,67
177	15,00	0,00	2,00	0,20	9,30	23,70	76,30
178	20,00	7,00	10,00	0,20	0,00	48,04	51,96
179	10,00	0,00	0,00	3,10	0,00	16,62	83,38
180	5,00	5,00	10,70	3,10	9,30	30,24	69,76
181	20,00	10,00	7,00	3,10	9,30	50,20	49,80
182	25,00	2,00	10,00	0,20	9,30	51,35	48,65
183	5,00	5,00	10,00	3,10	0,00	28,66	71,35
184	15,00	5,00	10,70	3,10	9,30	44,34	55,66
185	10,00	2,00	7,00	0,40	0,00	25,45	74,55
186	30,00	7,00	5,00	3,10	0,00	58,22	41,78
187	20,00	5,00	7,00	3,10	3,35	45,56	54,44
188	10,00	10,00	5,00	11,40	0,00	42,55	57,45
189	10,00	7,00	5,00	3,10	0,00	30,02	69,98
190	20,00	5,00	10,70	3,10	0,00	50,84	49,16
191	5,00	5,00	10,70	3,10	9,30	30,24	69,76
192	15,00	7,00	10,00	0,20	0,00	40,99	59,01
193	20,00	10,00	2,00	3,10	9,30	42,80	57,20
194	15,00	5,00	0,00	0,20	3,35	24,67	75,33
195	25,00	7,00	5,00	3,10	9,30	51,72	48,28

*Figura A.2.1(d):* Simulação de Monte Carlo - Tempos

196	20,00	10,00	7,00	0,40	9,30	46,96	53,04
197	15,00	0,00	7,00	3,10	0,30	34,05	65,95
198	10,00	5,00	0,00	0,20	3,35	17,62	82,38
199	15,00	0,00	2,00	0,40	0,90	23,44	76,56
200	34,10	5,00	7,00	0,20	0,00	61,77	38,23
201	25,00	5,00	7,00	0,40	3,35	49,37	50,63
202	1,00	5,00	7,00	3,10	0,90	18,63	81,37
203	25,00	7,00	5,00	3,10	9,30	51,72	48,28
204	15,00	0,00	5,00	3,10	9,30	31,62	68,38
205	5,00	5,00	0,00	3,10	0,00	13,86	86,15
206	10,00	5,00	5,00	3,10	3,35	28,50	71,50
207	20,00	7,00	5,00	3,10	0,00	44,12	55,88
208	15,00	10,00	7,00	3,10	9,30	43,15	56,85
209	15,00	10,00	10,00	3,10	9,30	47,59	52,41
210	20,00	10,00	5,00	3,10	9,30	47,24	52,76
211	34,10	2,00	7,00	3,10	0,00	62,68	37,33
212	15,00	2,00	5,00	0,40	3,35	29,74	70,26
213	1,00	7,00	10,00	0,20	0,00	21,25	78,75
214	20,00	7,00	5,00	0,20	9,30	41,19	58,81
215	5,00	10,00	7,00	3,10	3,35	28,70	71,30
216	20,00	7,00	5,00	3,10	0,30	44,14	55,86
217	10,00	10,00	5,00	0,20	3,35	29,31	70,69
218	20,00	2,00	7,00	3,10	0,00	42,79	57,21
219	25,00	7,00	5,00	0,40	0,30	47,95	52,05
220	10,00	5,00	5,00	0,40	0,00	25,07	74,94
221	30,00	7,00	7,00	0,20	3,35	57,90	42,10
222	15,00	0,00	7,00	3,10	3,35	34,23	65,77
223	5,00	10,00	5,00	0,20	0,90	22,11	77,89
224	1,00	7,00	10,00	11,40	0,00	34,69	65,31
225	10,00	2,00	10,00	0,20	9,30	30,20	69,80
226	15,00	5,00	10,00	3,10	3,35	42,95	57,05
227	34,10	10,00	10,70	0,40	9,30	72,32	27,68
228	30,00	7,00	10,70	3,10	3,35	66,85	33,15
229	20,00	5,00	5,00	0,40	3,35	39,36	60,64
230	25,00	5,00	0,00	0,20	9,30	39,12	60,88
231	15,00	5,00	10,00	3,10	0,00	42,76	57,25
232	5,00	2,00	10,00	0,20	9,30	23,15	76,85
233	10,00	0,00	0,00	3,10	0,00	16,62	83,38
234	10,00	10,00	2,00	0,20	3,35	24,87	75,13
235	20,00	5,00	10,00	3,10	9,30	50,35	49,65
236	15,00	7,00	7,00	0,40	9,30	37,34	62,66
237	30,00	5,00	7,00	3,10	0,90	59,52	40,48
238	15,00	5,00	5,00	0,20	3,35	32,07	67,93
239	20,00	5,00	5,00	3,10	0,00	42,41	57,60
240	25,00	5,00	5,00	3,10	9,30	50,00	50,00
241	20,00	5,00	2,00	3,10	0,00	37,97	62,04
242	15,00	2,00	2,00	3,10	0,00	28,34	71,66
243	5,00	7,00	5,00	0,40	9,30	20,28	79,72
244	20,00	10,00	10,70	3,10	0,00	55,13	44,87
245	15,00	5,00	5,00	3,10	0,00	35,36	64,65
246	10,00	7,00	10,70	3,10	0,00	38,46	61,55
247	15,00	5,00	7,00	3,10	3,35	38,51	61,49

**Figura A.2.1(e):** Simulação de Monte Carlo - Tempos

248	10,00	13,20	5,00	0,20	0,90	31,91	68,09
249	1,00	7,00	2,00	3,10	0,00	12,89	87,11
250	20,00	10,00	7,00	3,10	0,00	49,65	50,35
251	25,00	7,00	10,00	3,10	9,30	59,12	40,88
252	15,00	10,00	2,00	3,10	9,30	35,75	64,25
253	5,00	7,00	7,00	0,20	3,35	22,65	77,35
254	25,00	0,00	0,00	3,10	9,30	38,32	61,68
255	25,00	10,00	10,00	3,10	3,35	61,34	38,66
256	5,00	7,00	7,00	3,10	0,90	25,98	74,02
257	25,00	10,00	10,00	11,40	3,35	71,30	28,70
258	20,00	5,00	5,00	3,10	9,30	42,95	57,05
259	25,00	5,00	10,00	3,10	0,00	56,86	43,15
260	20,00	2,00	0,00	3,10	3,35	32,63	67,37
261	5,00	7,00	2,00	3,10	0,00	18,53	81,47
262	10,00	0,00	2,00	0,40	0,90	16,39	83,61
263	10,00	5,00	10,00	3,10	9,30	36,25	63,75
264	10,00	2,00	5,00	3,10	9,30	26,28	73,72
265	10,00	7,00	5,00	3,10	0,00	30,02	69,98
266	15,00	0,00	10,00	3,10	9,30	39,02	60,98
267	25,00	7,00	2,00	0,20	0,30	43,27	56,73
268	30,00	0,00	5,00	0,20	3,35	48,94	51,06
269	15,00	2,00	0,00	0,20	9,30	22,45	77,55
270	15,00	7,00	5,00	0,20	3,35	33,79	66,21
271	20,00	2,00	10,00	0,40	9,30	44,54	55,46
272	10,00	7,00	5,00	3,10	9,30	30,57	69,43
273	20,00	12,00	7,00	3,10	0,00	51,36	48,64
274	10,00	10,00	7,00	3,10	9,30	36,10	63,90
275	25,00	5,00	7,00	3,10	0,00	52,42	47,59
276	20,00	2,00	10,70	0,20	9,30	45,34	54,66
277	20,00	5,00	5,00	3,10	9,30	42,95	57,05
278	10,00	0,00	10,00	3,10	3,35	31,62	68,38
279	5,00	5,00	2,00	3,10	3,35	17,01	82,99
280	10,00	10,00	7,00	3,10	0,90	35,60	64,40
281	20,00	7,00	10,00	3,10	0,00	51,52	48,48
282	15,00	5,00	5,00	3,10	0,90	35,41	64,59
283	25,00	10,00	7,00	0,40	0,00	53,46	46,54
284	25,00	5,00	5,00	3,10	9,30	50,00	50,00
285	25,00	5,00	5,00	3,10	3,35	49,65	50,35
286	5,00	2,00	0,00	3,10	9,30	11,83	88,17
287	15,00	5,00	10,00	3,10	3,35	42,95	57,05
288	15,00	0,00	5,00	3,10	0,00	31,07	68,93
289	30,00	11,00	2,00	0,40	3,35	54,16	45,84
290	25,00	10,00	5,00	0,20	9,30	50,81	49,19
291	20,00	2,00	5,00	0,20	3,35	36,55	63,45
292	25,00	7,00	10,00	3,10	9,30	59,12	40,88
293	15,00	5,00	10,70	3,10	3,35	43,99	56,01
294	5,00	5,00	2,00	0,20	3,35	13,53	86,47
295	30,00	2,00	5,00	11,40	9,30	64,44	35,56
296	20,00	2,00	5,00	3,10	9,30	40,38	59,62
297	25,00	0,00	10,00	3,10	3,35	52,77	47,23
298	15,00	12,00	7,00	0,40	0,90	41,13	58,87
299	20,00	5,00	10,00	0,20	3,35	46,52	53,48
300	15,00	7,00	2,00	3,10	9,30	33,18	66,82

**Figura A.2.1(f):** Simulação de Monte Carlo - Tempos

ESTATÍSTICAS DA SIMULAÇÃO - TEMPOS IMPRODUTIVOS							
	Preparação de Máquina	Preparação de Ferramenta	Manobra	Recuperações	Paradas por Manutenção	Tempo Total Improdutivo	Tempo de Corte
Média (%)	15,93	5,84	5,59	2,72	4,44	38,18	61,82
Desvio Padrão (%)	7,56	3,34	3,58	2,43	3,87	12,45	12,45
$t_{0,05,299}$	1,97						
Intervalo 95%	15,07	5,46	5,18	2,44	4,00	36,77	60,40
	16,79	6,22	5,99	2,99	4,88	39,60	63,23

ESTATÍSTICAS DA SIMULAÇÃO - TEMPOS IMPRODUTIVOS							
	Preparação de Máquina	Preparação de Ferramenta	Manobra	Recuperações	Paradas por Manutenção	Tempo Total Improdutivo	Tempo de Corte
Média (%)	16,37	6,09	5,98	2,35	4,57	39,13	60,87
Desvio Padrão (%)	7,34	3,26	3,42	2,15	3,89	12,23	12,23
$t_{0,05,299}$	1,97						
Intervalo 95%	15,54	5,71	5,59	2,10	4,13	37,74	59,48
	17,21	6,46	6,37	2,59	5,01	40,52	62,26

ESTATÍSTICAS DA SIMULAÇÃO - TEMPOS IMPRODUTIVOS							
	Preparação de Máquina	Preparação de Ferramenta	Manobra	Recuperações	Paradas por Manutenção	Tempo Total Improdutivo	Tempo de Corte
Média (%)	17,43	6,28	5,88	2,62	4,59	41,15	58,85
Desvio Padrão (%)	8,07	3,26	3,30	2,40	3,93	12,52	12,52
$t_{0,05,299}$	1,97						
Intervalo 95%	16,51	5,91	5,51	2,35	4,14	39,73	57,42
	18,35	6,66	6,26	2,90	5,03	42,58	60,27

ESTATÍSTICAS DA SIMULAÇÃO - TEMPOS IMPRODUTIVOS							
	Preparação de Máquina	Preparação de Ferramenta	Manobra	Recuperações	Paradas por Manutenção	Tempo Total Improdutivo	Tempo de Corte
Média (%)	17,52	6,08	5,96	2,52	4,34	40,88	59,12
Desvio Padrão (%)	7,80	3,29	3,49	2,50	3,93	12,84	12,84
$t_{0,05,299}$	1,97						
Intervalo 95%	16,63	5,71	5,56	2,24	3,89	39,42	57,66
	18,41	6,46	6,36	2,80	4,79	42,34	60,58

**Figura A.2.2(a):** Simulação de Monte Carlo – Parâmetros de resposta

ESTATÍSTICAS DA SIMULAÇÃO - TEMPOS IMPRODUTIVOS							
	Preparação de Máquina	Preparação de Ferramenta	Manobra	Recuperações	Paradas por Manutenção	Tempo Total Improdutivo	Tempo de Corte
Média (%)	16,84	6,37	6,09	2,59	4,88	40,52	59,48
Desvio Padrão (%)	8,05	3,10	3,70	2,41	3,91	13,24	13,24
$t_{0,05,299}$	1,97						
Intervalo 95%	15,92	6,01	5,67	2,32	4,44	39,02	57,97
	17,75	6,72	6,51	2,86	5,33	42,03	60,98

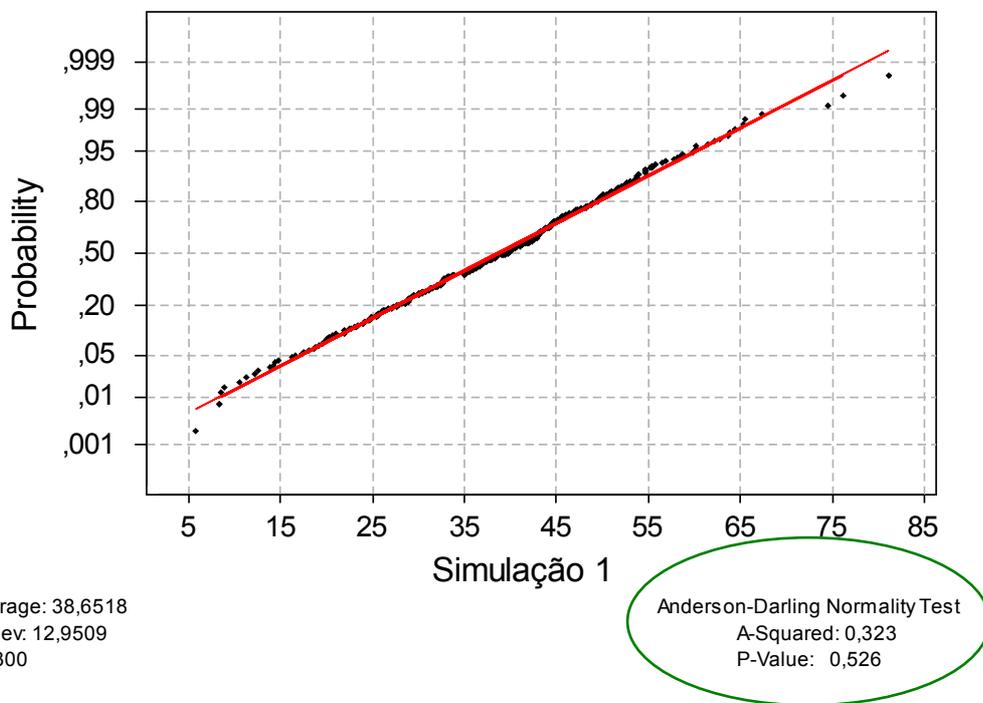
ESTATÍSTICAS DA SIMULAÇÃO - TEMPOS IMPRODUTIVOS							
	Preparação de Máquina	Preparação de Ferramenta	Manobra	Recuperações	Paradas por Manutenção	Tempo Total Improdutivo	Tempo de Corte
Média (%)	16,48	6,12	5,50	2,77	4,37	39,35	60,65
Desvio Padrão (%)	7,20	3,24	3,58	2,64	3,79	11,96	11,96
$t_{0,05,299}$	1,97						
Intervalo 95%	15,66	5,75	5,09	2,47	3,94	37,99	59,29
	17,30	6,49	5,90	3,07	4,81	40,71	62,01

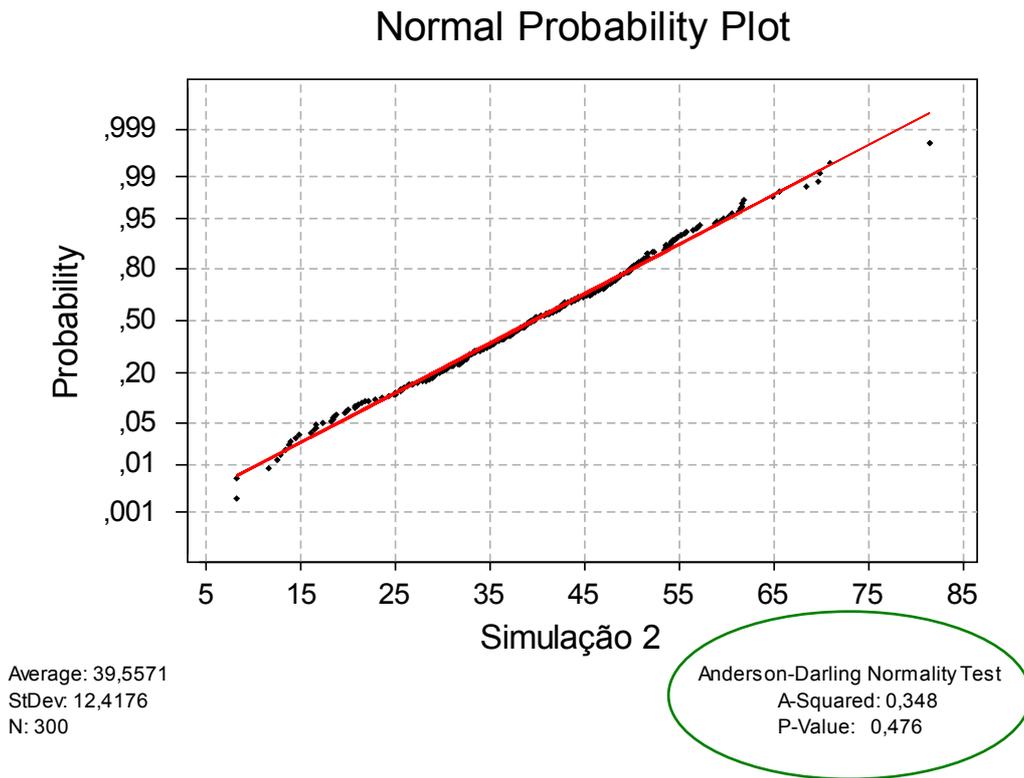
ESTATÍSTICAS DA SIMULAÇÃO - TEMPOS IMPRODUTIVOS							
	Preparação de Máquina	Preparação de Ferramenta	Manobra	Recuperações	Paradas por Manutenção	Tempo Total Improdutivo	Tempo de Corte
Média (%)	16,89	6,43	5,55	2,76	4,14	40,49	59,51
Desvio Padrão (%)	7,46	3,03	3,55	2,34	3,71	12,40	12,40
$t_{0,05,299}$	1,97						
Intervalo 95%	16,04	6,08	5,14	2,50	3,72	39,08	58,10
	17,74	6,77	5,95	3,03	4,56	41,90	60,92

ESTATÍSTICAS DA SIMULAÇÃO - TEMPOS IMPRODUTIVOS							
	Preparação de Máquina	Preparação de Ferramenta	Manobra	Recuperações	Paradas por Manutenção	Tempo Total Improdutivo	Tempo de Corte
Média (%)	16,81	6,03	5,87	2,45	4,44	39,67	60,33
Desvio Padrão (%)	7,74	3,36	3,40	2,52	3,87	12,68	12,68
$t_{0,05,299}$	1,97						
Intervalo 95%	15,93	5,65	5,48	2,17	4,00	38,23	58,89
	17,70	6,41	6,25	2,74	4,88	41,11	61,77

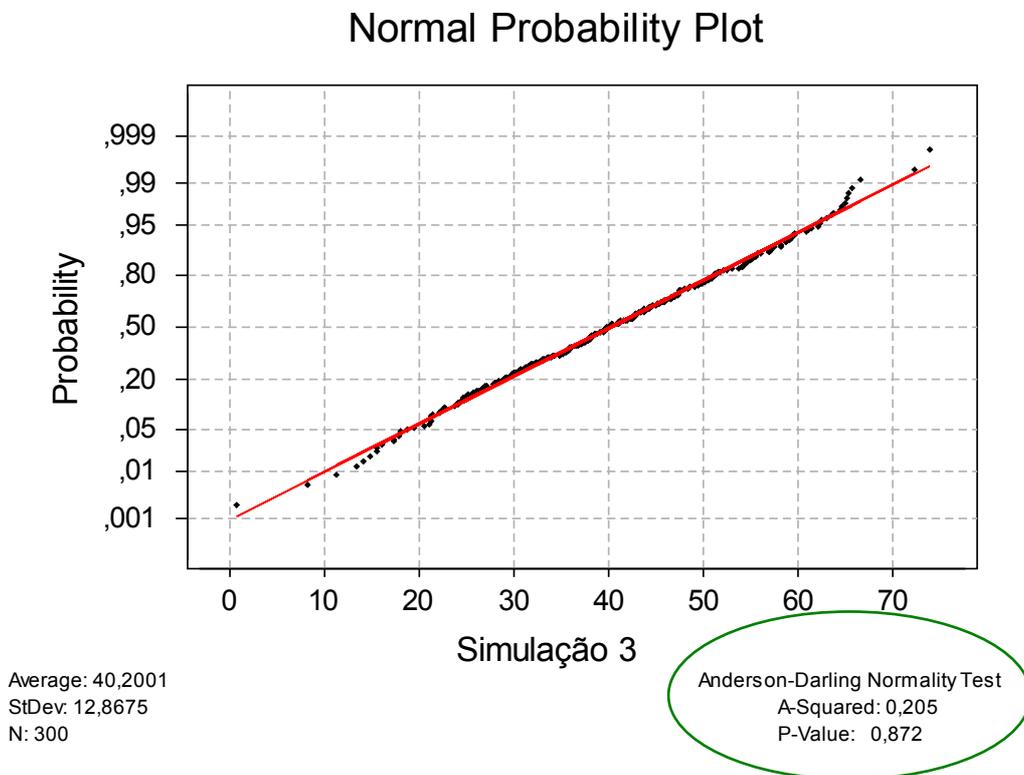
Figura A.2.2(b): Simulação de Monte Carlo – Parâmetros de resposta

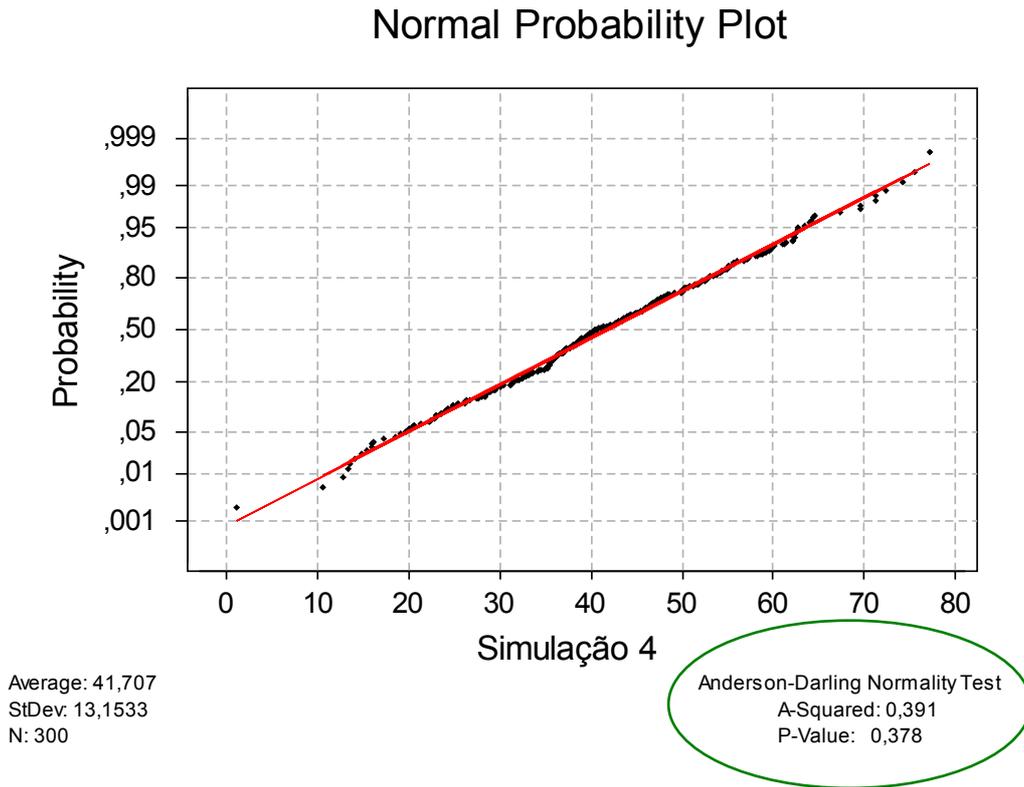
### Normal Probability Plot





**Figura A.2.3(a):** Simulação de Monte Carlo – Teste de normalidade dos valores simulados para o tempo total improdutivo (Distribuição normal, pois Valor-P > 0,05).





**Figura A.2.3(b):** Simulação de Monte Carlo – Teste de normalidade dos valores simulados para o tempo total improdutivo (Distribuição normal, pois Valor-P > 0,05).



## **APÊNDICE 3**

**Simulação de Monte Carlo – Custos  
(300 iterações)**

SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO - CUSTO TOTAL IMPRODUTIVO							
Baseada no modelo para o custo total improdutivo							
$C_{ti} = -0,41 + 1,40*(C_{pm}) + 0,723*(C_m) + 1,51*(C_{pf}) + 1,17*(C_{rec}) + 0,522*(C_{man})$							
N	Cpm	Cm	Cpf	Crec	Cman	Custo total improdutivo	Custo do Tempo de Corte
	Valor (%)	Valor (%)					
1	15,00	7,00	10,00	0,32	4,98	43,72	56,28
2	15,00	14,21	7,00	0,32	4,98	44,41	55,59
3	15,00	12,00	10,64	0,32	4,98	48,30	51,70
4	10,00	12,00	10,00	1,21	13,81	45,99	54,01
5	20,00	5,00	0,00	1,21	13,81	39,83	60,17
6	15,00	5,00	5,00	1,21	4,98	35,77	64,23
7	10,00	5,00	10,00	1,21	4,98	36,32	63,68
8	25,00	5,00	7,00	1,21	13,81	57,40	42,60
9	1,00	0,00	10,00	0,32	4,98	19,06	80,94
10	20,00	7,00	5,00	15,29	4,98	60,69	39,31
11	10,00	14,21	5,00	0,32	4,98	34,39	65,61
12	1,00	14,21	10,64	1,21	0,00	28,75	71,25
13	15,00	10,00	0,00	1,21	0,00	29,24	70,76
14	20,00	5,00	7,00	0,32	4,98	44,75	55,25
15	20,00	2,00	0,00	15,29	0,00	46,93	53,07
16	15,00	2,00	7,00	0,32	4,98	35,58	64,42
17	20,00	2,00	10,00	0,32	13,81	51,72	48,28
18	10,00	0,00	10,00	0,32	13,81	36,27	63,73
19	20,00	14,21	10,00	1,21	4,98	56,98	43,02
20	30,00	7,00	5,00	1,21	0,00	55,62	44,38
21	10,00	2,00	10,64	1,21	0,00	32,52	67,48
22	5,00	2,00	5,00	0,32	0,00	15,96	84,04
23	10,00	10,00	7,00	1,21	4,98	35,40	64,60
24	20,00	11,00	7,00	1,21	0,00	47,53	52,47
25	20,00	0,00	0,00	1,21	4,98	31,60	68,40
26	15,00	0,00	10,00	3,20	13,81	46,64	53,36
27	5,00	10,00	10,64	0,32	13,81	37,47	62,53
28	10,00	5,00	7,00	0,32	13,81	35,36	64,64
29	33,79	14,21	7,00	0,32	0,00	68,11	31,89
30	15,00	5,00	0,00	1,21	0,00	25,62	74,38
31	15,00	5,00	7,00	15,29	1,34	53,36	46,64
32	20,00	5,00	10,00	0,32	13,81	53,89	46,11
33	25,00	11,00	10,00	1,21	13,81	66,27	33,73
34	15,00	0,00	10,00	1,21	13,81	44,31	55,69
35	5,00	5,00	5,00	0,32	0,00	18,13	81,87
36	15,00	10,00	5,00	1,21	4,98	39,38	60,62
37	15,00	10,00	5,00	1,21	4,98	39,38	60,62
38	15,00	5,00	5,00	0,32	13,81	39,34	60,66
39	20,00	0,00	7,00	1,21	13,81	46,78	53,22
40	20,00	2,00	0,00	3,20	4,98	35,38	64,62
41	20,00	5,00	10,64	3,20	0,00	51,02	48,98
42	5,00	5,00	0,00	3,20	0,00	13,95	86,05
43	20,00	5,00	2,00	0,32	4,98	37,20	62,80
44	5,00	0,00	2,00	1,21	13,81	18,23	81,77

**Figura A.3.1(a):** Simulação de Monte Carlo - Custos

45	20,00	10,00	7,00	1,21	13,81	54,01	45,99
46	20,00	2,00	0,00	0,32	4,98	32,01	67,99
47	10,00	5,00	5,00	3,20	0,00	28,50	71,50
48	10,00	7,00	7,00	0,32	13,81	36,80	63,20
49	15,00	10,00	5,00	3,20	13,81	46,32	53,68
50	5,00	10,00	5,00	1,21	0,00	22,79	77,21
51	1,00	12,00	7,00	0,32	1,34	21,31	78,69
52	25,00	7,00	7,00	1,21	0,00	51,64	48,36
53	15,00	10,00	10,00	1,21	4,98	46,93	53,07
54	15,00	7,00	5,00	0,32	4,98	36,17	63,83
55	10,00	2,00	5,00	1,21	13,81	31,21	68,79
56	15,00	2,00	5,00	3,20	0,00	33,33	66,67
57	5,00	5,00	7,00	3,20	13,81	31,73	68,27
58	25,00	7,00	5,00	0,32	1,34	48,27	51,73
59	20,00	10,00	5,00	1,21	1,34	44,49	55,51
60	5,00	10,00	10,00	0,32	1,34	29,99	70,01
61	20,00	10,00	7,00	0,32	4,98	48,36	51,64
62	20,00	2,00	10,00	3,20	13,81	55,09	44,91
63	20,00	10,00	10,00	3,20	0,00	53,66	46,34
64	20,00	10,00	5,00	3,20	4,98	48,71	51,29
65	15,00	10,00	10,00	0,32	0,00	43,29	56,71
66	5,00	10,00	10,00	1,21	13,81	37,54	62,46
67	5,00	10,00	0,00	1,21	0,45	15,47	84,53
68	15,00	7,00	10,00	3,20	0,00	44,50	55,51
69	10,00	0,00	2,00	3,20	4,98	22,95	77,05
70	20,00	10,00	10,00	1,21	0,00	51,34	48,66
71	20,00	10,00	7,00	0,32	13,81	52,97	47,03
72	5,00	10,00	7,00	1,21	4,98	28,40	71,60
73	25,00	5,00	2,00	3,20	0,45	45,20	54,80
74	5,00	7,00	10,64	0,32	13,81	35,30	64,70
75	15,00	5,00	5,00	3,20	4,98	38,10	61,90
76	10,00	5,00	5,00	1,21	4,98	28,77	71,23
77	10,00	5,00	10,00	1,21	4,98	36,32	63,68
78	20,00	2,00	10,00	0,32	0,00	44,51	55,49
79	15,00	11,00	7,00	3,20	0,00	42,86	57,14
80	15,00	7,00	7,00	1,21	4,98	40,23	59,77
81	15,00	11,00	0,00	0,32	13,81	36,13	63,87
82	20,00	0,00	0,00	3,20	13,81	38,54	61,46
83	10,00	10,00	2,00	3,20	13,81	34,79	65,21
84	1,00	2,00	5,00	1,21	13,81	18,61	81,39
85	15,00	14,21	7,00	1,21	13,81	50,06	49,94
86	5,00	10,00	7,00	0,32	0,00	24,76	75,24
87	10,00	0,00	7,00	3,20	0,00	27,90	72,10
88	15,00	10,00	7,00	1,21	0,00	39,81	60,19
89	20,00	0,00	2,00	0,32	4,98	33,58	66,42
90	15,00	0,00	5,00	3,20	0,00	31,88	68,12
91	15,00	0,00	10,00	0,32	4,98	38,66	61,34
92	15,00	10,00	10,00	3,20	4,98	49,26	50,74
93	15,00	5,00	5,00	1,21	13,81	40,38	59,62
94	10,00	10,00	5,00	1,21	0,00	29,79	70,21
95	15,00	2,00	10,00	1,21	13,81	45,76	54,24

**Figura A.3.1(b):** Simulação de Monte Carlo - Custos

96	10,00	7,00	5,00	0,32	13,81	33,78	66,22
97	20,00	5,00	7,00	0,32	13,81	49,36	50,64
98	25,00	10,00	10,00	1,21	1,34	59,04	40,96
99	10,00	2,00	7,00	0,32	4,98	28,58	71,42
100	25,00	0,00	7,00	3,20	0,00	48,90	51,10
101	30,00	5,00	5,00	1,21	4,98	56,77	43,23
102	20,00	5,00	2,00	0,32	13,81	41,81	58,19
103	33,79	5,00	10,00	1,21	0,00	67,03	32,97
104	25,00	2,00	5,00	0,32	4,98	46,56	53,44
105	20,00	0,00	2,00	1,21	0,00	32,03	67,97
106	20,00	2,00	10,64	1,21	4,98	49,12	50,88
107	15,00	10,00	10,00	0,32	4,98	45,89	54,11
108	15,00	7,00	5,00	1,21	13,81	41,83	58,17
109	10,00	10,00	2,00	3,20	4,98	30,18	69,82
110	25,00	2,00	10,00	1,21	4,98	55,15	44,85
111	20,00	10,00	7,00	3,20	13,81	56,34	43,66
112	15,00	5,00	7,00	1,21	4,98	38,79	61,21
113	10,00	5,00	10,00	0,32	4,98	35,28	64,72
114	10,00	2,00	2,00	1,21	4,98	22,07	77,93
115	1,00	7,00	5,00	1,21	4,98	17,61	82,39
116	10,00	5,00	10,00	1,21	0,00	33,72	66,28
117	30,00	5,00	2,00	0,32	13,81	55,81	44,19
118	20,00	10,00	5,00	1,21	13,81	50,99	49,01
119	1,00	2,00	5,00	0,32	13,81	17,57	82,43
120	20,00	5,00	7,00	0,32	4,98	44,75	55,25
121	20,00	10,00	2,00	0,32	13,81	45,42	54,58
122	10,00	2,00	7,00	3,20	0,00	29,35	70,65
123	20,00	5,00	7,00	1,21	4,98	45,79	54,21
124	5,00	0,00	0,00	1,21	0,45	8,24	91,76
125	33,79	7,00	2,00	0,32	13,81	62,56	37,44
126	10,00	10,00	5,00	0,32	13,81	35,95	64,05
127	30,00	5,00	0,00	3,20	13,81	56,16	43,84
128	20,00	5,00	10,00	0,32	4,98	49,28	50,72
129	10,00	7,00	7,00	3,20	13,81	40,17	59,83
130	5,00	7,00	7,00	1,21	0,00	23,64	76,36
131	5,00	7,00	10,64	0,32	13,81	35,30	64,70
132	10,00	7,00	10,00	0,32	4,98	36,72	63,28
133	30,00	5,00	7,00	1,21	1,34	57,89	42,11
134	20,00	5,00	10,00	0,32	13,81	53,89	46,11
135	20,00	10,00	10,00	0,32	13,81	57,50	42,50
136	25,00	10,00	5,00	3,20	13,81	60,32	39,68
137	10,00	10,00	10,64	0,32	4,98	39,86	60,14
138	10,00	11,00	7,00	1,21	13,81	40,74	59,26
139	10,00	10,00	10,00	1,21	1,34	38,04	61,96
140	20,00	7,00	5,00	1,21	4,98	44,21	55,79
141	15,00	10,00	5,00	15,29	0,00	53,26	46,74
142	25,00	10,00	10,00	3,20	4,98	63,26	36,74
143	15,00	14,21	5,00	0,32	13,81	46,00	54,00
144	5,00	0,00	7,00	3,20	4,98	23,50	76,50
145	30,00	5,00	0,00	15,29	0,00	63,09	36,91
146	25,00	5,00	5,00	1,21	13,81	54,38	45,62
147	15,00	7,00	5,00	3,20	0,00	36,95	63,06

*Figura A.3.1(c):* Simulação de Monte Carlo - Custos

148	25,00	2,00	10,00	3,20	4,98	57,48	42,52
149	15,00	5,00	0,00	3,20	4,98	30,55	69,45
150	15,00	7,00	5,00	0,32	13,81	40,78	59,22
151	10,00	7,00	7,00	0,32	4,98	32,19	67,81
152	20,00	5,00	7,00	3,20	4,98	48,12	51,88
153	10,00	7,00	7,00	1,21	0,45	30,87	69,13
154	15,00	2,00	2,00	1,21	0,00	26,47	73,53
155	15,00	0,00	5,00	1,21	1,34	30,26	69,74
156	15,00	2,00	5,00	3,20	1,34	34,03	65,97
157	20,00	0,00	5,00	0,32	13,81	42,72	57,28
158	25,00	10,00	5,00	0,32	4,98	52,34	47,66
159	15,00	0,00	5,00	1,21	0,00	29,56	70,44
160	15,00	10,00	10,64	0,32	4,98	46,86	53,14
161	20,00	11,00	7,00	1,21	1,34	48,23	51,77
162	5,00	5,00	5,00	0,32	0,00	18,13	81,87
163	15,00	14,21	5,00	15,29	0,00	56,30	43,70
164	20,00	5,00	7,00	1,21	13,81	50,40	49,60
165	20,00	10,00	5,00	1,21	4,98	46,38	53,62
166	15,00	5,00	5,00	1,21	13,81	40,38	59,62
167	25,00	14,21	7,00	3,20	0,00	59,18	40,82
168	20,00	10,00	5,00	0,32	0,45	42,98	57,02
169	20,00	5,00	5,00	0,32	1,34	39,83	60,17
170	20,00	7,00	10,00	3,20	0,00	51,50	48,51
171	5,00	5,00	5,00	1,21	0,00	19,17	80,83
172	20,00	7,00	7,00	3,20	0,00	46,97	53,04
173	25,00	7,00	7,00	0,32	13,81	57,80	42,20
174	20,00	10,00	7,00	3,20	4,98	51,73	48,27
175	20,00	5,00	5,00	1,21	0,00	40,17	59,83
176	25,00	0,00	5,00	1,21	1,34	44,26	55,74
177	25,00	2,00	2,00	1,21	13,81	47,68	52,32
178	20,00	5,00	5,00	1,21	0,00	40,17	59,83
179	15,00	10,00	2,00	3,20	4,98	37,18	62,82
180	1,00	0,00	7,00	15,29	0,00	29,45	70,55
181	15,00	0,00	7,00	0,32	4,98	34,13	65,87
182	33,79	0,00	10,00	3,20	13,81	72,95	27,05
183	15,00	10,00	7,00	1,21	0,00	39,81	60,19
184	25,00	7,00	5,00	3,20	4,98	53,54	46,46
185	10,00	10,00	10,64	1,21	4,98	40,90	59,10
186	10,00	5,00	5,00	1,21	0,00	26,17	73,83
187	15,00	7,00	7,00	1,21	0,00	37,64	62,36
188	20,00	12,00	0,00	1,21	13,81	44,89	55,11
189	20,00	0,00	0,00	0,32	0,00	27,96	72,04
190	15,00	5,00	10,64	1,21	0,00	41,69	58,31
191	25,00	7,00	5,00	3,20	0,00	50,95	49,06
192	20,00	10,00	2,00	3,20	0,00	41,58	58,42
193	15,00	0,00	5,00	3,20	0,00	31,88	68,12
194	30,00	10,00	2,00	3,20	13,81	62,79	37,21
195	10,00	5,00	5,00	1,21	1,34	26,87	73,13
196	20,00	5,00	10,00	0,32	0,45	46,91	53,09
197	20,00	12,00	5,00	3,20	4,98	50,16	49,84
198	5,00	10,00	10,00	1,21	4,98	32,93	67,07
199	20,00	5,00	10,64	1,21	4,98	51,28	48,72
200	25,00	10,00	2,00	1,21	0,00	46,26	53,74

**Figura A.3.1(d):** Simulação de Monte Carlo - Custos

201	30,00	0,00	5,00	1,21	0,00	50,56	49,44
202	25,00	7,00	10,00	0,32	4,98	57,72	42,28
203	15,00	10,00	5,00	1,21	13,81	43,99	56,01
204	10,00	5,00	5,00	3,20	13,81	35,71	64,29
205	20,00	10,00	10,00	3,20	13,81	60,87	39,13
206	30,00	5,00	10,64	15,29	13,81	86,37	13,63
207	10,00	10,00	7,00	1,21	4,98	35,40	64,60
208	5,00	5,00	10,00	3,20	4,98	31,65	68,35
209	15,00	5,00	7,00	1,21	13,81	43,40	56,60
210	10,00	5,00	7,00	3,20	4,98	34,12	65,88
211	15,00	2,00	10,64	1,21	4,98	42,12	57,88
212	20,00	0,00	5,00	1,21	4,98	39,15	60,85
213	20,00	7,00	0,00	1,21	4,98	36,66	63,34
214	15,00	2,00	7,00	1,21	0,00	34,02	65,98
215	15,00	10,00	5,00	0,32	4,98	38,34	61,66
216	15,00	0,00	7,00	0,32	13,81	38,74	61,26
217	15,00	5,00	5,00	1,21	0,00	33,17	66,83
218	15,00	2,00	10,00	1,21	13,81	45,76	54,24
219	5,00	10,00	0,00	15,29	1,34	32,41	67,59
220	25,00	7,00	5,00	1,21	13,81	55,83	44,17
221	10,00	10,00	10,64	3,20	0,00	40,63	59,37
222	20,00	7,00	7,00	0,32	13,81	50,80	49,20
223	30,00	5,00	5,00	1,21	4,98	56,77	43,23
224	25,00	0,00	10,00	1,21	13,81	58,31	41,69
225	20,00	2,00	2,00	1,21	4,98	36,07	63,93
226	20,00	10,00	7,00	3,20	4,98	51,73	48,27
227	15,00	10,00	10,00	15,29	4,98	63,41	36,59
228	15,00	5,00	2,00	3,20	4,98	33,57	66,43
229	1,00	7,00	5,00	15,29	0,00	31,49	68,51
230	15,00	5,00	5,00	1,21	4,98	35,77	64,23
231	20,00	5,00	10,00	1,21	0,00	47,72	52,28
232	15,00	10,00	10,00	1,21	13,81	51,54	48,46
233	1,00	5,00	10,00	1,21	13,81	28,33	71,67
234	15,00	11,00	5,00	1,21	13,81	44,72	55,28
235	1,00	5,00	10,00	1,21	13,81	28,33	71,67
236	20,00	7,00	0,00	1,21	13,81	41,28	58,72
237	20,00	5,00	7,00	1,21	4,98	45,79	54,21
238	25,00	14,21	2,00	1,21	13,81	56,51	43,49
239	25,00	0,00	10,64	1,21	1,34	52,77	47,23
240	33,79	10,00	5,00	0,32	1,34	62,75	37,25
241	15,00	10,00	7,00	1,21	0,00	39,81	60,19
242	25,00	10,00	10,00	0,32	4,98	59,89	40,11
243	10,00	10,00	5,00	1,21	4,98	32,38	67,62
244	1,00	7,00	5,00	3,20	13,81	24,55	75,45
245	10,00	5,00	0,00	3,20	13,81	28,16	71,84
246	15,00	2,00	7,00	3,20	13,81	43,56	56,44
247	15,00	5,00	7,00	1,21	0,00	36,19	63,81
248	10,00	7,00	2,00	0,32	0,00	22,05	77,95
249	10,00	5,00	2,00	0,32	0,00	20,60	79,40
250	10,00	2,00	5,00	1,21	4,98	26,60	73,40

**Figura A.3.1(e):** Simulação de Monte Carlo - Custos

251	25,00	14,21	10,00	1,21	13,81	68,59	31,41
252	10,00	5,00	10,64	1,21	0,45	34,92	65,08
253	10,00	10,00	10,00	1,21	13,81	44,54	55,46
254	15,00	12,00	5,00	3,20	13,81	47,77	52,23
255	10,00	14,21	2,00	1,21	4,98	30,90	69,10
256	15,00	10,00	5,00	1,21	0,45	37,02	62,98
257	20,00	0,00	2,00	1,21	0,00	32,03	67,97
258	20,00	0,00	5,00	3,20	0,00	38,88	61,12
259	20,00	10,00	5,00	3,20	0,00	46,11	53,89
260	25,00	7,00	5,00	1,21	13,81	55,83	44,17
261	30,00	5,00	5,00	0,32	13,81	60,34	39,66
262	15,00	7,00	7,00	0,32	0,00	36,60	63,40
263	5,00	7,00	0,00	15,29	13,81	36,75	63,25
264	20,00	11,00	5,00	0,32	0,00	43,47	56,53
265	10,00	11,00	5,00	1,21	4,98	33,11	66,89
266	20,00	0,00	10,64	3,20	4,98	50,00	50,00
267	33,79	10,00	5,00	3,20	13,81	72,63	27,37
268	20,00	5,00	7,00	1,21	13,81	50,40	49,60
269	20,00	0,00	7,00	0,32	13,81	45,74	54,26
270	20,00	5,00	7,00	3,20	0,00	45,52	54,48
271	20,00	2,00	0,00	3,20	4,98	35,38	64,62
272	20,00	2,00	5,00	1,21	13,81	45,21	54,79
273	1,00	10,00	5,00	0,32	0,00	16,14	83,86
274	15,00	2,00	7,00	3,20	13,81	43,56	56,44
275	20,00	0,00	0,00	3,20	4,98	33,93	66,07
276	15,00	5,00	5,00	1,21	4,98	35,77	64,23
277	25,00	7,00	7,00	1,21	4,98	54,23	45,77
278	25,00	10,00	10,64	1,21	13,81	66,51	33,49
279	15,00	5,00	10,00	3,20	4,98	45,65	54,35
280	25,00	5,00	5,00	1,21	4,98	49,77	50,23
281	15,00	10,00	10,64	3,20	4,98	50,23	49,77
282	15,00	7,00	0,00	1,21	1,34	27,77	72,23
283	15,00	5,00	0,00	0,32	13,81	31,79	68,21
284	25,00	5,00	7,00	0,32	13,81	56,36	43,64
285	1,00	5,00	0,00	3,20	13,81	15,56	84,44
286	15,00	10,00	5,00	0,32	4,98	38,34	61,66
287	10,00	0,00	10,64	3,20	4,98	36,00	64,00
288	20,00	0,00	10,00	3,20	4,98	49,03	50,97
289	10,00	5,00	2,00	1,21	0,00	21,64	78,36
290	10,00	5,00	0,00	1,21	13,81	25,83	74,17
291	10,00	7,00	5,00	1,21	0,00	27,62	72,38
292	20,00	14,21	10,00	3,20	1,34	57,41	42,59
293	5,00	10,00	7,00	1,21	13,81	33,01	66,99
294	5,00	0,00	7,00	1,21	1,34	19,28	80,72
295	20,00	0,00	10,00	0,32	0,00	43,06	56,94
296	20,00	10,00	5,00	1,21	4,98	46,38	53,62
297	10,00	7,00	0,00	3,20	13,81	29,60	70,40
298	10,00	5,00	7,00	1,21	13,81	36,40	63,60
299	15,00	10,00	10,00	1,21	4,98	46,93	53,07
300	10,00	0,00	2,00	1,21	0,00	18,03	81,97

**Figura A.3.1(f):** Simulação de Monte Carlo - Custos

ESTATÍSTICAS DA SIMULAÇÃO - CUSTOS IMPRODUTIVOS							
	Custo de Preparação de Máquina	Custo de Preparação de Ferramenta	Custo de Manobra	Custo das Recuperações	Custos das Paradas por Manutenção	Custo de Improdutividade	Custo do Tempo de Corte
Média (%)	15,58	5,85	6,09	2,23	6,43	40,57	59,43
Desvio Padrão (%)	7,65	3,27	3,72	3,29	5,78	13,03	13,03
$t_{0,05,299}$	1,967928256						
Intervalo 95%	14,71	5,48	5,67	1,85	5,77	39,09	57,95
	16,45	6,23	6,51	2,60	7,08	42,05	60,91

ESTATÍSTICAS DA SIMULAÇÃO - CUSTOS IMPRODUTIVOS							
	Custo de Preparação de Máquina	Custo de Preparação de Ferramenta	Custo de Manobra	Custo das Recuperações	Custos das Paradas por Manutenção	Custo de Improdutividade	Custo do Tempo de Corte
Média (%)	15,00	6,28	6,43	1,98	7,23	40,84	59,16
Desvio Padrão (%)	7,75	3,25	3,91	2,80	5,68	12,54	12,54
$t_{0,05,299}$	1,967928256						
Intervalo 95%	14,12	5,91	5,98	1,66	6,59	39,42	57,73
	15,88	6,65	6,87	2,30	7,88	42,27	60,58

ESTATÍSTICAS DA SIMULAÇÃO - CUSTOS IMPRODUTIVOS							
	Custo de Preparação de Máquina	Custo de Preparação de Ferramenta	Custo de Manobra	Custo das Recuperações	Custos das Paradas por Manutenção	Custo de Improdutividade	Custo do Tempo de Corte
Média (%)	16,16	6,20	6,76	2,30	6,86	42,62	57,38
Desvio Padrão (%)	7,08	3,26	3,94	3,27	5,62	12,66	12,66
$t_{0,05,299}$	1,967928256						
Intervalo 95%	15,36	5,83	6,32	1,93	6,22	41,18	55,94
	16,97	6,57	7,21	2,67	7,50	44,06	58,82

ESTATÍSTICAS DA SIMULAÇÃO - CUSTOS IMPRODUTIVOS							
	Custo de Preparação de Máquina	Custo de Preparação de Ferramenta	Custo de Manobra	Custo das Recuperações	Custos das Paradas por Manutenção	Custo de Improdutividade	Custo do Tempo de Corte
Média (%)	17,29	6,15	5,91	2,07	6,83	43,36	56,64
Desvio Padrão (%)	7,61	3,20	3,97	3,01	5,71	13,50	13,50
$t_{0,05,299}$	1,967928256						
Intervalo 95%	16,43	5,79	5,45	1,73	6,18	41,82	55,11
	18,16	6,52	6,36	2,41	7,48	44,89	58,18

**Figura A.3.2(a):** Simulação de Monte Carlo – Parâmetros de resposta

ESTATÍSTICAS DA SIMULAÇÃO - CUSTOS IMPRODUTIVOS							
	Custo de Preparação de Máquina	Custo de Preparação de Ferramenta	Custo de Manobra	Custo das Recuperações	Custos das Paradas por Manutenção	Custo de Improdutividade	Custo do Tempo de Corte
Média (%)	16,14	6,22	6,10	2,38	7,76	42,89	57,11
Desvio Padrão (%)	7,60	3,08	3,80	3,52	5,72	13,01	13,01
ƒ <sub>0,05,299</sub>	1,967928256						
Intervalo 95%	15,28	5,87	5,66	1,98	7,11	41,41	55,63
	17,01	6,57	6,53	2,78	8,41	44,37	58,59

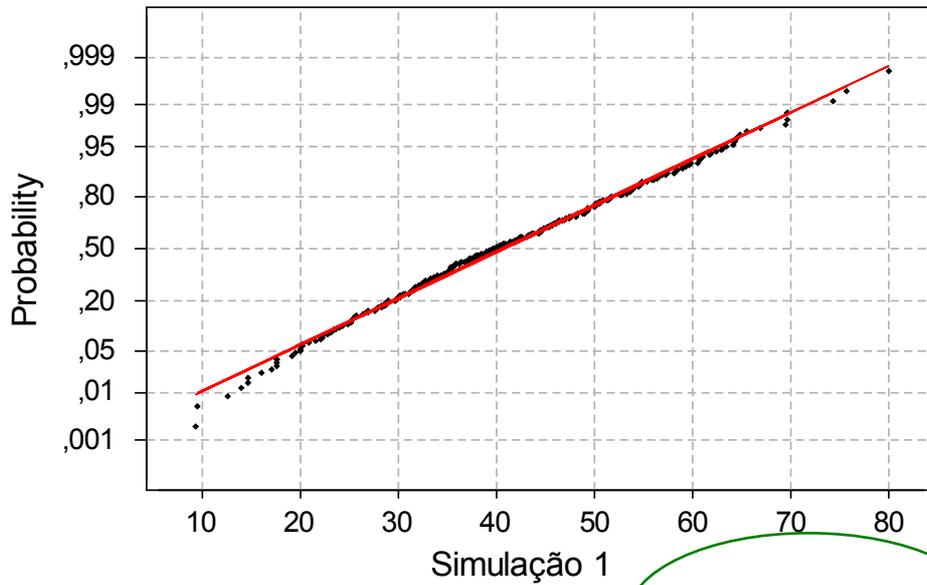
ESTATÍSTICAS DA SIMULAÇÃO - CUSTOS IMPRODUTIVOS							
	Custo de Preparação de Máquina	Custo de Preparação de Ferramenta	Custo de Manobra	Custo das Recuperações	Custos das Paradas por Manutenção	Custo de Improdutividade	Custo do Tempo de Corte
Média (%)	16,83	6,11	6,24	2,00	7,34	43,04	56,96
Desvio Padrão (%)	7,71	3,26	3,97	2,70	5,83	12,84	12,84
ƒ <sub>0,05,299</sub>	1,967928256						
Intervalo 95%	15,95	5,74	5,79	1,69	6,67	41,58	55,50
	17,70	6,48	6,69	2,31	8,00	44,50	58,42

ESTATÍSTICAS DA SIMULAÇÃO - CUSTOS IMPRODUTIVOS							
	Custo de Preparação de Máquina	Custo de Preparação de Ferramenta	Custo de Manobra	Custo das Recuperações	Custos das Paradas por Manutenção	Custo de Improdutividade	Custo do Tempo de Corte
Média (%)	16,10	6,01	6,19	1,96	7,41	41,87	58,13
Desvio Padrão (%)	7,33	3,06	3,86	2,70	5,74	12,09	12,09
ƒ <sub>0,05,299</sub>	1,967928256						
Intervalo 95%	15,27	5,66	5,75	1,65	6,76	40,49	56,76
	16,93	6,36	6,63	2,27	8,06	43,24	59,51

ESTATÍSTICAS DA SIMULAÇÃO - CUSTOS IMPRODUTIVOS							
	Custo de Preparação de Máquina	Custo de Preparação de Ferramenta	Custo de Manobra	Custo das Recuperações	Custos das Paradas por Manutenção	Custo de Improdutividade	Custo do Tempo de Corte
Média (%)	17,42	6,52	5,97	2,20	6,63	44,16	55,84
Desvio Padrão (%)	7,64	3,14	3,81	3,20	5,61	13,16	13,16
ƒ <sub>0,05,299</sub>	1,967928256						
Intervalo 95%	16,55	6,16	5,54	1,84	5,99	42,66	54,34
	18,29	6,88	6,40	2,57	7,27	45,66	57,34

Figura A.3.2(b): Simulação de Monte Carlo – Parâmetros de resposta

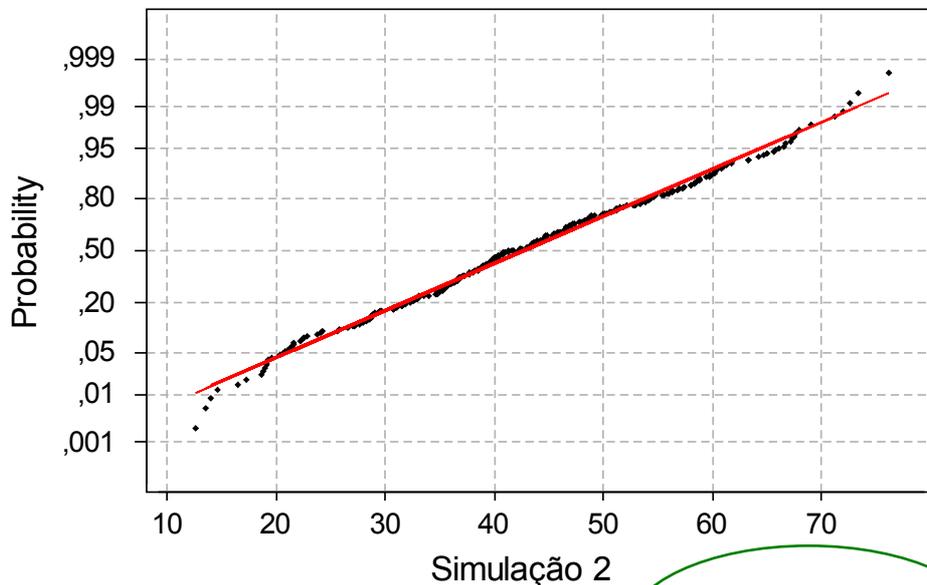
### Normal Probability Plot



Average: 40,6427  
 StDev: 13,2052  
 N: 300

Anderson-Darling Normality Test  
 A-Squared: 0,399  
 P-Value: 0,362

### Normal Probability Plot

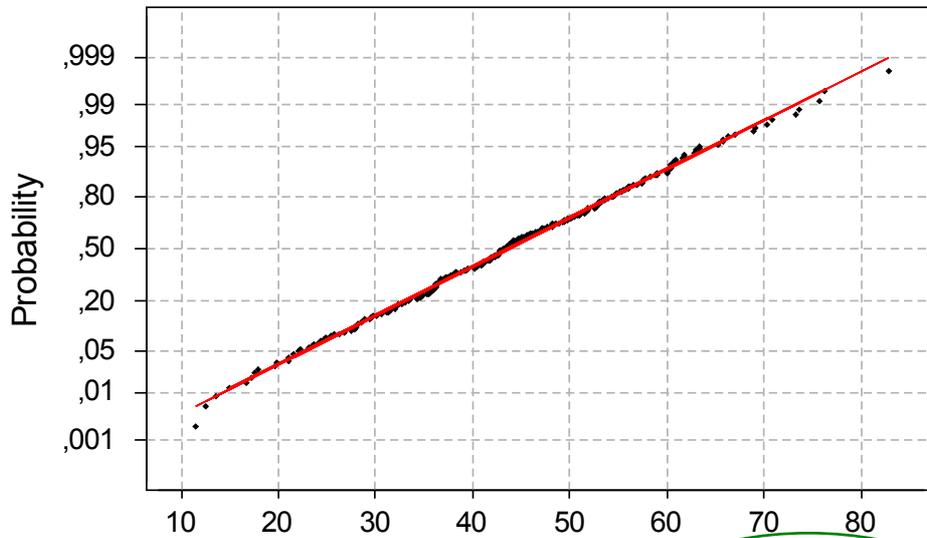


Average: 42,6931  
 StDev: 13,0325  
 N: 300

Anderson-Darling Normality Test  
 A-Squared: 0,563  
 P-Value: 0,144

**Figura A.3.3(a):** Simulação de Monte Carlo – Teste de normalidade dos valores simulados para o custo total improdutivo (Distribuição normal, pois Valor-P > 0,05).

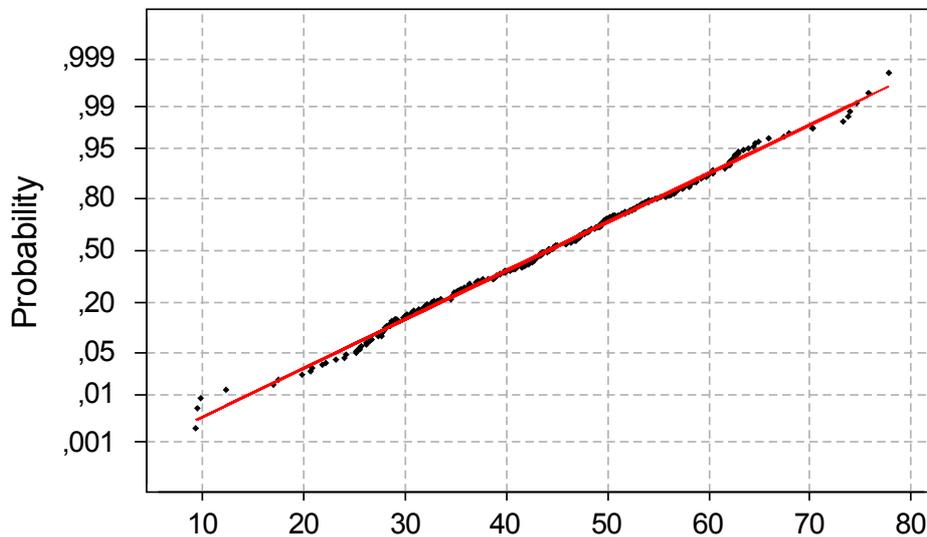
### Normal Probability Plot



Average: 43,662  
StDev: 12,5988  
N: 300

Anderson-Darling Normality Test  
A-Squared: 0,219  
P-Value: 0,837

### Normal Probability Plot



Average: 44,1084  
StDev: 12,6399  
N: 300

Anderson-Darling Normality Test  
A-Squared: 0,252  
P-Value: 0,736

**Figura A.3.3(b):** Simulação de Monte Carlo – Teste de normalidade dos valores simulados para o custo total improdutivo (Distribuição normal, pois Valor-P > 0,05).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Dagoberto Alves de. **Gerência da produção**. Apostila do curso de especialização em qualidade e produtividade (Programa de pós-graduação em engenharia de produção). Universidade Federal de Itajubá. 2003.

BAPTISTA, Elesandro Antonio; COPPINI, Nivaldo Lemos. **Sistema especialista para otimizar processos de usinagem e aumentar os lucros**. In: XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção (Enegep). 2002. Curitiba/SC.

BARNES, R.M. **Estudio de movimientos y tiempos**. Segunda edición. Madrid: Aguilar S.A., 1958.

BARROS, Emílio Augusto Coelho. **Aplicações de simulação de Monte Carlo e Bootstrap**. 2005. Dissertação (Mestrado em Estatística) – Universidade Estadual de Maringá. Maringá/PR.

BOEHS, Lourival; BORTOLO, Marco Aurélio; GONÇALVES, Mauro A. **Gerenciamento de ferramentas de corte na teoria e na prática**. In: 2º Congresso Nacional de Engenharia Mecânica (Conem). 2002. João Pessoa/PE.

CARVALHO, Roberval R.S. **Características de usinagem vista sob o ponto de vista econômico**. 1991. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual de Campinas. Campinas/SP.

COSTA NETO, Pedro Luiz de Oliveira. **Estatística**. 14º Reimpressão. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1995.

DINIZ, Anselmo Eduardo; MARCONDES, Francisco Carlos; COPPINI, Nivaldo Lemos. **Tecnologia da usinagem dos materiais**. 5º edição. São Paulo: Artliber Editora Ltda, 2005.

DUTRA, R.G. **Custos: uma abordagem prática**. 3º edição. São Paulo: Editora Atlas S.A., 1992.

FERRARESI, Dino. **Fundamentos da usinagem dos metais**. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1970.

FERRARESI, Dino. **Fundamentos da usinagem dos metais**. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1977.

MARTINS, Eliseu. **Contabilidade de custos**. 6° edição. São Paulo: Editora Atlas, 1998.

NAKANO, Davi Noboru; FLEURY, Afonso Carlos Corrêa. **Métodos de pesquisa na engenharia de produção**. In: XVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção (Enegep). 2006.

NOVASKI, Olívio. **Custos de usinagem**. Campinas/SP: Editora da Unicamp, 1991.

NOVASKI, Olívio. **Uma contribuição ao estudo das condições econômicas de usinagem**. 1983. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual de Campinas. Campinas/SP.

SILVA, Luis César da. **Modelos de simulação**. 2006. Universidade Federal do Espírito Santo. Boletim técnico. Disponível em: [www.agais.com](http://www.agais.com). Acesso em: 14 de janeiro de 2006.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da produção**. 2° edição. São Paulo: Editora Atlas S.A, 2002.

SOARES, Virginia Maria S.; COSENZA, Orlando Nunes; GOMES, Carlos Francisco S. **Técnicas qualitativas e “soft systems methodology” aliadas ao enfoque sistêmico**. Revista de Administração, São Paulo v.36, n.3, p.100-107. Julho/setembro 2001.

SOUZA, Antonio Carlos de. **Condições econômicas no processo de usinagem: uma abordagem para consideração dos custos**. 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Escola Federal de Engenharia de Itajubá. Itajubá/MG.

SOUZA, Antonio Carlos de; PAMPLONA, Edson de Oliveira; CARVALHO, Roberval R.S. **Estudo de caso no processo mecânico do torneamento: uma abordagem para consideração dos custos e receitas**. In: V Congresso de Engenharia Mecânica Norte-Nordeste da ABCM. 1998. Fortaleza/CE.

TELES, Egberto L.; BLANARU, Adriano. **Estudo sobre a avaliação de empresas diante das condições de incerteza das premissas: análise probabilística gerada por simulação de Monte Carlo como auxílio ao processo decisório**. 2002. Universidade Presbiteriana Mackenzie. São Paulo/SP.

THIOLLENT, Michel. **Metodologia da pesquisa-ação**. 3° edição. São Paulo: Cortez, 1986.

TURINO, C.E.; POSSOMAI, O. **Modelo para gerenciamento de estoques de ferramentas de corte**. 2001. Abepro. Santa Catarina/SC.

VILELLA, Ronaldo C. **Metodologia prática visando a otimização das condições de usinagem em células de fabricação**. 1988. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Estadual de Campinas. Campinas/SP