

**UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO  
PROGRAMA DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**EDSON MELO DE SOUZA**

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE APOIO À  
DECISÃO E OPERACIONAL PARA A OTIMIZAÇÃO DOS  
PARÂMETROS DE CORTE EM USINAGEM**

SÃO PAULO

**2013**

**EDSON MELO DE SOUZA**

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE APOIO À  
DECISÃO E OPERACIONAL PARA A OTIMIZAÇÃO DOS  
PARÂMETROS DE CORTE EM USINAGEM**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, da Universidade Nove de Julho – UNINOVE, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Prof. Elesandro Antonio Baptista, Dr. – Orientador

SÃO PAULO

**2013**

Souza, Edson Melo de.

Desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão e operacional para a otimização dos parâmetros de corte em usinagem./ Edson Melo de Souza. 2013.

149 f.

Dissertação (mestrado) – Universidade Nove de Julho - UNINOVE, São Paulo, 2013.

Orientador (a): Prof. Dr. Elesandro Antonio Baptista.

1. Sistemas web. 2. Sads. 3. Otimização. 4. Usinagem.

I. Baptista, Elesandro Antonio

II. Título

CDU 658.5



Dedico este trabalho aos meus pais Durvalina e Irineu, a minha esposa Andrea e aos meus filhos Gustavo e Elisa.

## **AGRADECIMENTOS**

À minha esposa Andrea e aos meus filhos Gustavo e Elisa, que doaram incondicionalmente seu tempo e me apoiaram desde o início nesta jornada. Amo vocês.

Ao meu orientador e amigo, Professor Dr. Elesandro Antonio Baptista, pela amizade, incentivo, disponibilidade, orientação e pelos valiosos comentários.

Ao meu amigo e orientador, Professor Dr. Nivaldo Lemos Coppini, meus sinceros agradecimentos pela confiança, ensinamentos, companheirismo, atenção e dedicação que, por muitas vezes, estenderam-se madrugada à dentro.

Ao meu Coorientador, Professor Dr. Fabio Henrique Pereira, pela compreensão, amizade e disponibilidade.

Ao Professor Dr. Sidnei Alves de Araújo pelo incentivo e pelos valiosos comentários.

Ao Professor Dr. André Felipe Henriques Librantz pelo incentivo e apoio.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, colaboraram para a realização deste sonho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela bolsa de estudos.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

À empresa Sandvik pelo apoio.

À Universidade Nove de Julho (UNINOVE), pela bolsa de estudos integral.

À secretaria de pós-graduação da Uninove pelo apoio recebido durante todo o curso.

*“Há pessoas que desejam saber só por saber, e isso é curiosidade; outras, para alcançarem fama, e isso é vaidade; outras, para enriquecerem com a sua ciência, e isso é um negócio torpe; outras, para serem edificadas, e isso é prudência; outras, para edificarem os outros, e isso é caridade”.*

*Santo Agostinho*

*(354-430)*

*Bispo católico, teólogo e filósofo.*

DE SOUZA, Edson Melo. ***Desenvolvimento de um Sistema de Apoio à Decisão e Operacional para a Otimização dos Parâmetros de Corte em Usinagem (COPPISYS)***. 2013. 149 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Mestrado em Engenharia de Produção, Universidade Nove de Julho, São Paulo, 2013.

## RESUMO

**Objetivo:** O principal objetivo deste trabalho é apresentar o desenvolvimento de um Sistema de Apoio à Decisão e Operacional para Otimização dos Parâmetros de Corte em Usinagem, denominado COPPISYS, para a otimização de parâmetros dos processos de usinagem, implementando melhorias e novas funcionalidades aos sistemas MOS (BAPTISTA, 2004) e MOS 2 (GRIVOL, 2007). **Método:** O sistema foi desenvolvido de acordo com os padrões da *Web 2.0* com base em normas de desenvolvimento de *software*, possuindo uma arquitetura computacional moderna e totalmente orientada a objetos, oferecendo acesso rápido aos dados, com uma interface amigável e intuitiva de acordo com os padrões de usabilidade. **Resultados:** Fornece relatórios e gráficos sofisticados em tempo real, a partir de modelos matemáticos determinísticos com base nos coeficientes da Equação de Vida de Taylor, utilizando dados adquiridos diretamente do ambiente fabril durante o processo de usinagem. Dispõe ainda de um alto grau de interatividade e flexibilidade, visando atender a diferentes cenários de fabricação. **Conclusão:** Os modelos matemáticos e cálculos realizados pelo COPPISYS fornecem a possibilidade da otimização do processo de usinagem com o objetivo de minimizar os custos ou maximizar a produção, auxiliando seus usuários na tomada de decisão. O COPPISYS foi verificado por meio de simulações e comparações com cálculos efetuados em trabalhos anteriores com o auxílio de planilhas eletrônicas. Ademais, apresenta um módulo dedicado ao ambiente educacional para a disseminação do conhecimento na área de processos de usinagem e assuntos correlatos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sistemas *Web*, SADs, Otimização, Usinagem.



DE SOUZA, Edson Melo. *Development of a Decision Support and Operational System to Optimization of Cutting Parameters in Machining (COPPISYS)*. 2013. 149 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Mestrado em Engenharia de Produção, Universidade Nove de Julho, São Paulo, 2013.

### **ABSTRACT**

**Objective:** The purpose of this paper is to present the development of a Decision Support and Operational System to Optimization of Cutting Parameters in Machining, being known in Portuguese as COPPISYS, for the parameter optimization of machining processes, implementing new features and improvements to systems MOS (BAPTISTA, 2004) and MOS 2 (GRIVOL, 2007).

**Method:** The system was developed according to the Web 2.0 standards-based software development, modern computer techniques, fully object-oriented, providing fast access to data, with a friendly and intuitive interface according to standards of usability. **Results:** Provides sophisticated charts and reports in real time from deterministic mathematical models based on the coefficients of Taylor Tool Life Equation, using data acquired directly from the shop floor during the machining process. It also has a high degree of interactivity and flexibility to meet the different manufacturing scenarios. **Conclusion:** The mathematical models and calculations performed by COPPISYS provide the possibility optimization of the machining process in order to minimize costs and maximize production, aiding users in their decision making. The COPPISYS was verified by simulations and comparisons with calculations performed in previous studies with the help of spreadsheets. Moreover, it presents a module dedicated to the educational environment for the dissemination of knowledge in the area of machining processes and related matters.

**KEYWORDS:** *Web Systems, SADs, Optimization, Machining.*

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 — CURVA DE DESGASTE DA FERRAMENTA.....	11
FIGURA 2 — INTERVALO DE MÁXIMA EFICIÊNCIA (IME).....	16
FIGURA 3 — DETERMINAÇÃO DA CURVA DE VIDA DE UMA FERRAMENTA.....	20
FIGURA 4 — MODELO DE PROCEDIMENTO PARA OBTENÇÃO DE X E K.....	21
FIGURA 5 — PROCESSO DE TRANSFORMAÇÃO DE DADOS EM INFORMAÇÃO.....	23
FIGURA 6 — INTERAÇÃO DOS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO NA EMPRESA.....	25
FIGURA 7 — NÍVEIS DOS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO.....	26
FIGURA 8 — TIPOS DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO.....	26
FIGURA 9 — PROCESSAMENTO DE UM DOCUMENTO HTML.....	29
FIGURA 10 — CICLO DE VIDA DOS PROCESSOS XP.....	34
FIGURA 11 — ARQUITETURA DE UM THREAD.....	40
FIGURA 12 — ESTRUTURA SIMPLIFICADA DE UM BANCO DE DADOS.....	42
FIGURA 13 — FRAGMENTO DA INTERFACE DE ADMINISTRAÇÃO DO PHPMYADMIN COM O MySQL.....	42
FIGURA 14 — PÁGINA DO FORMULÁRIO ELETRÔNICO DA PESQUISA APLICADA.....	49
FIGURA 15 — GRÁFICO DA TABELA 1.....	59
FIGURA 16 — GRÁFICO DA TABELA 2.....	60
FIGURA 17 — DIAGRAMA RESUMIDO: ENTIDADE-RELACIONAMENTO DO COPPISYS.....	65
FIGURA 18 — DIAGRAMA DA CONEXÃO ENTRE O COPPISYS E O BANCO DE DADOS.....	66
FIGURA 19 — ESTRUTURA GERAL DO COPPISYS.....	67
FIGURA 20 — ESTRUTURA COM MÚLTIPLOS ACESSOS E OPERAÇÕES INDEPENDENTES.....	67
FIGURA 21 — INTERFACE DO COPPISYS COM A DIVISÃO DAS ÁREAS DE NAVEGAÇÃO.....	69
FIGURA 22 — INTERFACE DO WEB SITE.....	69
FIGURA 23 — ÍCONES E AJUDA INTERATIVA EM FUNCIONAMENTO.....	70
FIGURA 24 — TELA DA AJUDA ON-LINE.....	71
FIGURA 25 — DIAGRAMA DA ESTRUTURA INTERNA DO COPPISYS.....	72
FIGURA 26 — DIAGRAMA DE NAVEGAÇÃO DO COPPISYS.....	74
FIGURA 27 — PAINEL DE CONTROLE DO COPPISYS.....	75
FIGURA 28 — RESULTADO DE UMA PESQUISA.....	76
FIGURA 29 — DIAGRAMA DE ESTADO DA OTIMIZAÇÃO.....	79
FIGURA 30 — CONFIGURAÇÃO DAS OPERAÇÕES.....	79
FIGURA 31 — LISTAGEM DAS OTIMIZAÇÕES CONCLUÍDAS.....	81
FIGURA 32 — GRÁFICO DO RESULTADO DE UMA OTIMIZAÇÃO (IMEV).....	82
FIGURA 33 — TABELA DE VELOCIDADES OTIMIZADAS (TVO).....	83
FIGURA 34 — CABEÇALHO DA TABELA DE VELOCIDADES OTIMIZADAS (TVO).....	84
FIGURA 35 — COMPARAÇÃO DAS VELOCIDADES DE CORTE COM RELAÇÃO AO TDISP.....	85
FIGURA 36 — RESULTADO DE UMA COMPARAÇÃO ENTRE VELOCIDADES DE CORTE.....	86
FIGURA 37 — DADOS RETORNADOS PELO WEB SERVICE NO FORMATO XML.....	88
FIGURA 38 — MÓDULO DE EXPORTAÇÃO E IMPORTAÇÃO DE DADOS.....	89
FIGURA 39 — ESTRUTURA INTERNA DO ARQUIVO XML EXPORTADO.....	90
FIGURA 40 — PAINEL DE CONTROLE PARA MATERIAIS DIDÁTICOS.....	91
FIGURA 41 — FRAGMENTO DO ARQUIVO PDF COM A INSERÇÃO NO CABEÇALHO E MARCA D'ÁGUA NO CORPO DO TEXTO.....	92
FIGURA 42 — PEÇA CÓDIGO PECA_01.....	94
FIGURA 43 — RESULTADOS DA OTIMIZAÇÃO OT_1.....	97
FIGURA 44 — GRÁFICO DO IMEV PARA A OTIMIZAÇÃO OT_1.....	98

FIGURA 45 — PEÇA CÓDIGO PECA_02.....	100
FIGURA 46 — RESULTADOS DA OTIMIZAÇÃO OT_2. ....	102
FIGURA 47 — GRÁFICO DO IMEV PARA A OTIMIZAÇÃO OT_2.....	103
FIGURA 48 — DESEMPENHO NA GERAÇÃO DOS GRÁFICOS E DA TVO. ....	106
FIGURA 49 — DESEMPENHO ENTRE COMPARAÇÕES DAS VELOCIDADES DE CORTE. ....	107
FIGURA 50 — DESEMPENHO NA RESTAURAÇÃO DAS VELOCIDADES DE CORTE. ....	107
FIGURA 51 — TELA INICIAL DO MOS 2.....	125
FIGURA 52 — TELA INICIAL DO COPPISYS.....	125
FIGURA 53 — TELA PRINCIPAL DO MOS 2. ....	126
FIGURA 54 — TELA PRINCIPAL DO COPPISYS.....	126
FIGURA 55 — TELA DE ALTERAÇÃO DE FERRAMENTA DO MOS 2. ....	127
FIGURA 56 — TELA DE ALTERAÇÃO DE FERRAMENTA DO COPPISYS. ....	127
FIGURA 57 — TELA DE RESULTADO DE UMA OTIMIZAÇÃO DO MOS 2.....	128
FIGURA 58 — RESULTADO GRÁFICO DE UMA OTIMIZAÇÃO DO COPPISYS.....	129
FIGURA 59 — RESULTADO TABULAR DE UMA OTIMIZAÇÃO DO COPPISYS (TVO). ....	130

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 — EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DE ETIQUETAS HTML. ....	30
QUADRO 2 — LISTA DAS ENTIDADES DO BANCO DE DADOS DO COPPISYS. ....	65
QUADRO 3 — FUNCIONAMENTO DE UM WEB SERVICE DO COPPISYS. ....	87
QUADRO 4 — NOMENCLATURA DO ARQUIVO XML EXPORTADO. ....	89
QUADRO 5 — CÁLCULOS REALIZADOS PELA PLANILHA ELETRÔNICA PARA A OT_1.....	99
QUADRO 6 — CÁLCULOS REALIZADOS PELA PLANILHA ELETRÔNICA PARA A OT_2.....	104

**LISTA DE TABELAS**

TABELA 1 — ÁREAS DE ATUAÇÃO.....	59
TABELA 2 — CARGOS E OU FUNÇÕES.....	60
TABELA 3 — RECURSOS MATERIAIS.....	60
TABELA 4 — RECURSOS COMPUTACIONAIS – CONECTIVIDADE.....	61
TABELA 5 — INTERESSE NA UTILIZAÇÃO DO COPPISYS.....	61
TABELA 6 — TEMPO DE PROCESSAMENTO PARA AS OTIMIZAÇÕES.....	105

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<i>ABNT</i>	Associação Brasileira de Normas Técnicas.
<i>ACM</i>	<i>Association for Computing Machinery.</i>
<i>ADODB</i>	<i>Database Abstraction Library for PHP.</i>
<i>APC</i>	Aresta Postiça de Corte.
<i>ASP</i>	<i>Active Server Pages.</i>
$C_1$	Constante independente da velocidade de corte [\$/peça].
$C_2$	Soma das parcelas com mão de obra e com máquina [\$].
$C_3$	Constante de custo relativo à ferramenta [\$].
<i>CMMI</i>	<i>Capability Maturity Model Integration.</i>
<i>CNC</i>	Controle Numérico Computadorizado.
<i>COPPISYS</i>	Sistema de Apoio à Decisão e Operacional para a Otimização dos Parâmetros de Corte em Usinagem.
<i>CRM</i>	<i>Customer Relationship Management.</i>
<i>d</i>	Diâmetro da peça [mm].
<i>DOC</i>	Extensão para documentos no formato texto ( <i>Microsoft Word</i> ).
<i>ERP</i>	<i>Enterprise Resource Planning.</i>
<i>Ethernet</i>	Protocolo de interconexão para redes locais.
<i>f</i>	Avanço de usinagem [mm/volta].
<i>FDD</i>	<i>Feature Driven Development.</i>
<i>GNU</i>	Variação do sistema operacional UNIX.
<i>GPL</i>	<i>General Public License.</i>
<i>HTML</i>	<i>Hyper Text Markup Language.</i>
<i>IHC</i>	Interação Humano-Computador.
<i>IME</i>	Intervalo de Máxima Eficiência.
<i>IMEV</i>	Intervalo de Máxima Eficiência Válido.
<i>IV</i>	Intervalo de Validade.
<i>K</i>	Constante da Equação de Vida de Taylor.
<i>Kb/s</i>	<i>Quilobits</i> por segundo.
$K_{mxca}$	Custo máximo que pode ser aceito para uma peça [\$].
$K_p$	Custo de produção por peça [\$].
$K_{tf}$	Custo da aresta de corte da ferramenta [\$].

<i>LAN</i>	<i>Local Area Network.</i>
$I_f$	Percurso de avanço [mm].
<i>Mb/s</i>	<i>Megabits por segundo.</i>
<i>MIT</i>	<i>Massachusetts Institute of Technology.</i>
<i>MOS</i>	<i>Machining Optimizer System.</i>
<i>MOS 2</i>	<i>Machining Optimizer System 2.</i>
$MP_u$	Custo da matéria prima [\$].
$N_t$	Número de trocas da aresta para a usinagem do lote.
$n$	Rotação da peça ou da ferramenta [rpm].
<i>PDF</i>	<i>Portable Document Format.</i>
<i>PDO</i>	Biblioteca nativa de acesso a dados do PHP.
<i>PHP</i>	<i>Hypertext Preprocessor.</i>
<i>POO</i>	Programação orientada a objetos.
$PV_u$	Preço de venda de uma peça [\$].
<i>RUP</i>	<i>Rational Unified Process.</i>
<i>SADs</i>	Sistemas de Apoio à Decisão.
<i>SAOs</i>	Sistemas de Apoio Operacional.
<i>SCM</i>	<i>Supply Chain Management.</i>
<i>SGBD</i>	Sistema Gerenciador de Banco de Dados.
<i>SI</i>	Sistemas de Informação.
$S_h$	Salário homem [\$/hora].
$S_{hm}$	Valor do salário homem + salário máquina [R\$/hora].
$S_m$	Salário máquina [\$/hora].
<i>SOAP</i>	<i>Simple Object Access Protocol.</i>
$T$	Vida da ferramenta [min.].
$T_1$	Primeira Vida da Aresta de Corte [min.]
$T_2$	Segunda Vida da Aresta de Corte [min.].
$t_a$	Tempo de aproximação e afastamento da ferramenta [min.].
$t_c$	Tempo efetivo de corte [min.].
<i>TDISP</i>	Tempo Disponível.
$t_{ft}$	Tempo de troca da aresta da ferramenta [min.].
<i>TI</i>	Tecnologia da Informação.
$t_p$	Tempo de preparo da máquina (SETUP) [min.].
$t_t$	Consulte Tempo total de usinagem de uma peça [min.].

<i>TVO</i>	Tabela de Velocidades Otimizadas.
<i>URL</i>	<i>Uniform Resource Locator.</i>
$V_B$	Desgaste de Flanco da aresta de corte [mm].
$V_c$	Velocidade de Corte [m/min.].
$V_{c1}$	Primeira velocidade de corte [m/min.].
$V_{c2}$	Segunda Velocidade de corte [m/min.].
$V_{CMAXMAQ}$	Velocidade máxima da máquina [m/min.].
$V_{cmc}$	Velocidade de corte de mínimo custo [m/min].
$V_{cmclim}$	Velocidade de corte de mínimo custo limite [m/min].
$V_{csu}$	Velocidade de corte selecionada pelo usuário [m/min].
$V_{cmxca}$	Velocidade de corte de máximo custo admissível [m/min.].
$V_{cmxg}$	Velocidade de corte de máximo ganho [m/min.].
$V_{cmxp}$	Velocidade de corte de máxima produção [m/min.].
$vf$	Velocidade de avanço [mm/volta].
<i>VRML</i>	<i>Virtual Reality Modeling Language.</i>
<i>W3C</i>	<i>World Wide Web Consortium.</i>
<i>WS</i>	<i>Web Service.</i>
<i>WWW</i>	<i>World Wide Web.</i>
$x$	Coeficiente da Equação de Vida de Taylor.
<i>XLS</i>	Extensão para documentos do <i>MS Excel.</i>
<i>XML</i>	<i>eXtensible Markup Language.</i>
<i>XP</i>	<i>eXtreme Programming.</i>
<i>Z</i>	Número de peças do lote.



**LISTA DE EQUAÇÕES**

(1) VELOCIDADE DE CORTE.....	8
(2) TEMPO DE CORTE - DEDUZIDA.....	8
(3) VELOCIDADE DE AVANÇO.....	9
(4) EQUAÇÃO DE VIDA DE TAYLOR.....	12
(5) TEMPO TOTAL DE FABRICAÇÃO.....	13
(6) NÚMERO DE TROCAS DA ARESTA PARA USINAGEM DO LOTE.....	13
(7) TEMPO DE CORTE.....	13
(8) TEMPOS PASSIVOS.....	13
(9) TEMPO TOTAL DE FABRICAÇÃO – DEDUZIDA.....	14
(10) CUSTO DE PRODUÇÃO POR PEÇA.....	14
(11) CONSTANTE INDEPENDENTE DA VELOCIDADE DE CORTE.....	15
(12) SOMA DAS PARCELAS COM MÃO-DE-OBRA E MÁQUINA.....	15
(13) SOMA DOS CUSTOS RELATIVOS À FERRAMENTA.....	15
(14) VELOCIDADE DE CORTE DE MÍNIMO CUSTO.....	17
(15) VELOCIDADE DE CORTE DE MÁXIMA PRODUÇÃO.....	17
(16) VELOCIDADE DE CORTE DE MÍNIMO CUSTO LIMITE.....	18
(17) VELOCIDADE DE CORTE DE MÁXIMO CUSTO ADMISSÍVEL.....	19
(18) VELOCIDADE DE CORTE DE MÁXIMO GANHO.....	19
(19) COEFICIENTE X DA EQUAÇÃO DE VIDA DE TAYLOR.....	22

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	<b>VI</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>VII</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>VIII</b>
<b>LISTA DE QUADROS</b> .....	<b>X</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>XI</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS</b> .....	<b>XII</b>
<b>LISTA DE EQUAÇÕES</b> .....	<b>XV</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1. JUSTIFICATIVA .....	3
1.2. OBJETIVOS.....	4
1.2.1. OBJETIVO GERAL .....	4
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO .....	5
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>7</b>
2.1. NOÇÕES SOBRE USINAGEM.....	7
2.1.1. MOVIMENTOS EM USINAGEM .....	7
2.1.2. VELOCIDADE DE CORTE .....	8
2.1.3. TEMPO DE CORTE.....	8
2.1.4. DESGASTE E VIDA DA FERRAMENTA.....	9
2.1.5. CURVA DE VIDA DA FERRAMENTA .....	11
2.1.6. OTIMIZAÇÃO DOS PROCESSOS DE USINAGEM.....	12
2.1.6.1. VELOCIDADE DE CORTE DE MÍNIMO CUSTO LIMITE ( $V_{CMCLIM}$ ) .....	18
2.1.6.2. VELOCIDADE DE CORTE DE MÁXIMO CUSTO ADMISSÍVEL ( $V_{CMXCA}$ ).....	18
2.1.6.3. VELOCIDADE DE CORTE DE MÁXIMO GANHO ( $V_{CMXG}$ ).....	19
2.1.7. DETERMINAÇÃO DOS COEFICIENTES $\alpha$ E $K$ .....	20
2.2. DEFINIÇÃO DE INFORMAÇÃO .....	23
2.3. SISTEMAS .....	24
2.3.1. SISTEMAS DE INFORMAÇÃO .....	24
2.3.2. SISTEMA DE APOIO OPERACIONAL.....	26
2.3.3. SISTEMA DE APOIO À DECISÃO .....	27
2.3.4. SISTEMAS <i>WEB</i> .....	28
2.4. TECNOLOGIAS <i>WEB</i> .....	29
2.4.1. HTML.....	29
2.4.2. <i>JQUERY</i> .....	30
2.4.3. PHP - <i>HYPertext PROCESSOR</i> .....	31
2.4.4. <i>WEB SERVICE</i> .....	32
2.5. NORMAS E METODOLOGIAS PARA DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS .....	33
2.6. USABILIDADE DE SISTEMAS .....	35
2.7. ORIENTAÇÃO A OBJETOS .....	36
2.7.1. PROGRAMAÇÃO ESTRUTURADA .....	37
2.7.2. PROGRAMAÇÃO ORIENTADA A OBJETOS .....	37
2.7.2.1. CLASSE.....	37
2.7.2.2. OBJETO.....	38
2.8. COMPUTAÇÃO PARALELA .....	39
2.9. BANCO DE DADOS .....	40
2.10. SOFTWARE LIVRE E A <i>GENERAL PUBLIC LICENSE (GPL)</i> .....	43

<b>3.</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>45</b>
3.1.	CLASSIFICAÇÃO .....	45
3.2.	PROCEDIMENTOS ADOTADOS .....	45
3.3.	PESQUISA DE CAMPO.....	48
3.3.1.	CONSTRUÇÃO DO QUESTIONÁRIO.....	49
3.3.2.	DISTRIBUIÇÃO DO QUESTIONÁRIO.....	50
<b>4.</b>	<b>ANÁLISE E AVALIAÇÃO DE SISTEMAS SIMILARES DESENVOLVIDOS POR OUTROS AUTORES.....</b>	<b>51</b>
4.1.	SISTEMAS MOS E MOS 2 .....	52
4.1.1.	INTRODUÇÃO .....	52
4.1.2.	ANÁLISE DOS SISTEMAS.....	53
4.2.	AVALIAÇÃO DAS POTENCIALIDADES DE MELHORIAS .....	54
4.2.1.	OTIMIZAÇÃO AUTOMÁTICA DAS VELOCIDADES DE CORTE PARA OS DIVERSOS CENÁRIOS DE PRODUÇÃO .....	54
4.2.2.	VELOCIDADE DE CORTE SELECIONADA PELO USUÁRIO ( $V_{CSU}$ ).....	55
4.2.3.	MELHORAMENTO DA INTERFACE .....	55
4.2.4.	APERFEIÇOAMENTO DA FERRAMENTA DE PESQUISA .....	55
4.2.5.	SUPORTE GRÁFICO E TABELA DE VELOCIDADES OTIMIZADAS (TVO).....	56
4.2.6.	UTILIZAÇÃO DE PROCESSAMENTO PARALELO - <i>THREADS</i> .....	56
4.2.7.	MÓDULO ACADÊMICO.....	57
4.3.	CARACTERÍSTICAS INOVADORAS DO SISTEMA.....	57
<b>5.</b>	<b>DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA.....</b>	<b>59</b>
5.1.	RESULTADOS E DISCUSSÕES DA PESQUISA DE CAMPO .....	59
5.1.1.	ÁREA DE ATUAÇÃO .....	59
5.1.2.	RECURSOS MATERIAIS.....	60
5.1.3.	RECURSOS COMPUTACIONAIS .....	60
5.1.4.	UTILIZAÇÃO DO SISTEMA NA EMPRESA.....	61
5.1.5.	RESULTADO FINAL DA PESQUISA DE CAMPO .....	61
5.2.	TECNOLOGIA EMPREGADA .....	62
5.3.	SELEÇÃO E MODELAGEM DO BANCO DE DADOS.....	63
5.3.1.	MODELAGEM DAS ENTIDADES.....	64
5.4.	ORGANIZAÇÃO DO SISTEMA.....	66
5.5.	CONSTRUÇÃO DA INTERFACE .....	68
5.6.	ESTRUTURA DO SISTEMA .....	71
5.6.1.	CAMADA DA INTERFACE.....	72
5.6.2.	CAMADA DE PROCESSAMENTO .....	72
5.6.3.	CAMADA DE BANCO DE DADOS.....	73
5.7.	DIAGRAMA DE NAVEGAÇÃO.....	73
5.8.	UTILIZAÇÃO DO SISTEMA .....	74
5.8.1.	PAINEL DE ADMINISTRAÇÃO DOS MÓDULOS .....	76
5.8.2.	PAINEL DE ADMINISTRAÇÃO DA EMPRESA .....	77
5.8.3.	PAINEL DE OTIMIZAÇÃO.....	78
5.8.3.1.	OTIMIZAR OPERAÇÃO .....	78
5.8.3.2.	OTIMIZAÇÕES REALIZADAS.....	80
5.8.4.	RESULTADOS DA OTIMIZAÇÃO .....	81
5.8.5.	<i>WEB SERVICE</i> PARA CÁLCULOS REMOTOS.....	87
5.9.	FERRAMENTA DE EXPORTAÇÃO E IMPORTAÇÃO DE DADOS.....	88
5.10.	MÓDULO ACADÊMICO.....	90
<b>6.</b>	<b>VERIFICAÇÃO DO SISTEMA E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....</b>	<b>93</b>
6.1.	SIMULAÇÃO_01 — INFORMAÇÕES, CÁLCULOS E RESULTADOS .....	94
6.1.1.	INFORMAÇÕES UTILIZADAS NA VERIFICAÇÃO DO SISTEMA – SIMULAÇÃO_01.....	94
6.1.2.	RESULTADOS DA OTIMIZAÇÃO PELO COPPISYS: OT_1.....	96
6.1.3.	COMPARAÇÃO DO RESULTADOS DA OTIMIZAÇÃO OT_1.....	99
6.2.	SIMULAÇÃO_02 — INFORMAÇÕES, CÁLCULOS E RESULTADOS .....	100

6.2.1.	INFORMAÇÕES UTILIZADAS NA VERIFICAÇÃO DO SISTEMA – SIMULAÇÃO_02.....	100
6.2.2.	RESULTADOS DO CÁLCULO PELO COPPISYS: OT_2.....	101
6.2.3.	COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DA OTIMIZAÇÃO: OT_2.....	104
6.3.	ANÁLISE DOS RESULTADOS DA VERIFICAÇÃO DO SISTEMA .....	105
6.3.1.	OTIMIZAÇÕES REALIZADAS.....	105
6.3.2.	DESEMPENHO DE EXECUÇÃO DO COPPISYS.....	105
<b>7.</b>	<b>CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>109</b>
7.1.	CONCLUSÕES.....	109
7.2.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	110
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>112</b>
	<b>REFERÊNCIAS CONSULTADAS.....</b>	<b>121</b>
	<b>ANEXO A — COMPARAÇÃO ENTRE ALGUMAS TELAS DO SISTEMA MOS 2 E DO COPPISYS .....</b>	<b>124</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O aumento da competitividade entre empresas e a sua sobrevivência no mercado são preocupações constantes de gestores e executivos, os quais necessitam de muitas informações de forma ágil para realização do planejamento estratégico e para tomada de decisões. Por tais motivos, a gestão da informação torna-se um elemento chave, uma vez que esta causa impacto direto no sistema de produção (ALMEIDA; COSTA, 2008, p. 227).

No contexto da Engenharia da Produção, os sistemas de informação são recursos indispensáveis para o auxílio na tomada de decisões, desenvolvimento e manutenção de estratégias e otimização dos recursos dentro dos diversos níveis que compõe a estrutura organizacional, havendo a integração entre pessoas, processos e informações com o objetivo de produzir bens e serviços de maneira econômica (FLEURY, 2008, p. 1).

A minimização dos custos de produção e a maximização da produtividade são essenciais no setor das indústrias de usinagem para sobrevivência destas no mercado, uma vez que o advento da globalização provocou um aumento da concorrência e, por consequência, as empresas necessitam buscar alternativas para manterem-se competitivas em seus segmentos de atuação. A utilização de Sistemas de Apoio à Decisão (SAD) e Sistemas de Apoio Operacional (SAO) tornam-se, portanto, ferramentas essenciais no suporte de atividades estratégicas e operacionais de uma empresa para o apoio gerencial.

Na área de fabricação por usinagem, o ambiente fabril de produção é uma fonte de obtenção de dados estratégicos, fornecendo informações para auxiliar a otimização de processos de usinagem e ajudar a utilizar melhor os equipamentos e recursos de forma eficiente.

Segundo Almeida e Costa (2008, p. 228), “[...] a informação é um produto obtido de um sistema de produção que utiliza o dado como matéria prima.”. Esta afirmação aponta para a necessidade do planejamento e do gerenciamento de tais informações de forma aderente ao sistema de produção.

Ao longo das últimas décadas, diversas pesquisas sobre a otimização do processo de usinagem vêm sendo desenvolvidas com o objetivo de reduzir custos operacionais, maximizar lucros, aumentar a produtividade, ganhar agilidade e flexibilidade por meio da otimização do processo (DATTA; DEB, 2009).

Na literatura especializada encontram-se diferentes abordagens para a otimização dos processos de usinagem buscando atender os objetivos mencionados, como: monitoramento e controle da vida da ferramenta (TANGJITSITCHAROEN; MORIWAKI, 2007); otimização das condições de corte por meio de simulação dinâmica (LI, Z. *et al.*, 2010); otimização da rugosidade superficial aplicando o método Taguchi (ZHANG, J. *et al.*, 2007, YANG, Y. K. *et al.*, 2009); otimização de parâmetros do processo de usinagem por Ultrassom baseado em algoritmos não tradicionais (RAO *et al.*, 2010); otimização dos parâmetros de usinagem (DINIZ *et al.*, 2008, FERRARESI, 1977; YANG, Y; CHUANG, M. *et al.*, 2009).

Dentre as abordagens citadas, um referencial consagrado na literatura especializada é a utilização do Intervalo de Máxima Eficiência (IME) (discutido no item 2.1.6) para otimização dos parâmetros de usinagem (COPPINI; MALAQUIAS, 1998; DINIZ *et al.*, 2008; FERRARESI, 1977).

Com base no cálculo do IME e demais restrições do ambiente produtivo, Baptista (2004) desenvolveu um sistema especialista denominado *Machining Optimizer System* (MOS) para auxiliar planejadores de processos na otimização do processo em usinagem. Seu objetivo é calcular, com base no cenário produtivo, velocidades de corte que possam ser praticadas a fim de otimizar os processos de torneamento, fresamento e furação.

Como proposta de evolução ao sistema MOS, Grivol (2007) desenvolveu o MOS 2, incluindo novos modelos matemáticos para otimização dos processos, melhorias na interface, tornando o sistema mais flexível e fácil de utilizar. Dentre as melhorias, destacam-se: possibilidade do cálculo de uma velocidade de corte para cenários no qual possa ser utilizada a ociosidade existente nas máquinas

(COPPINI *et al.*, 2010); divisão do acesso ao sistema em níveis hierárquicos; campos e fórmulas configuráveis; melhoria nos recursos de pesquisa.

A partir dos conceitos encontrados na literatura sobre usinagem e com base no estudo dos sistemas existentes MOS e MOS 2, este trabalho propõe a construção de um Sistema de Apoio à Decisão e Operacional para Otimização dos Parâmetros de Corte em Usinagem, denominado COPPISYS.

O sistema fornece procedimentos de otimização das condições operacionais de usinagem para as operações de torneamento, fresamento e furação, com alto grau de interatividade e flexibilidade, visando atender a diferentes cenários de produção, ampliando as funcionalidades existentes nos sistemas mencionados.

### **1.1. JUSTIFICATIVA**

Os sistemas MOS e MOS 2, mencionados anteriormente, são sistemas de informação que têm como função auxiliar os planejadores de processos na otimização das operações de torneamento, fresamento e furação. Desta forma, tais sistemas contribuem para a otimização da produção utilizando dados extraídos do ambiente fabril (BAPTISTA; COPPINI, 2007; ALMEIDA; COSTA 2008, p. 228).

Em tais sistemas ainda são encontradas funcionalidades que podem ser aperfeiçoadas, visando melhorar a utilização e o desempenho do sistema proposto, tais como: utilização de padrões de usabilidade por meio da utilização das normas NBR ISO/IEC 9126-11 e 9126-100 que tratam sobre requisitos ergonômicos e interação homem-sistema, respectivamente; técnicas computacionais otimizadas utilizando-se de processamento paralelo, armazenamento em banco de dados relacional com alta confiabilidade e escalabilidade, além da ampliação dos recursos de pesquisa à dados presente em todos os módulos.

A construção do sistema, proposta a seguir neste trabalho, promove facilidade de uso ao seu usuário, apresentando recursos como: novos procedimentos de otimização possibilitando o cálculo e a otimização simultânea de sete velocidades de corte; informações completas sobre os possíveis cenários de

fabricação: mínimo custo, máxima produção e flexível, fornecidas por meio de uma tabela que contém informações sobre os parâmetros de corte, custos e tempos; acesso rápido aos dados de otimização por meio de relatórios dinâmicos de fácil acesso; gráficos sofisticados com a apresentação dos dados resumidos sobre custos e tempos plotados sobre suas respectivas curvas; troca de informações por arquivos e *Web Services* visando facilitar a integração dos sistemas internos existentes nas empresas. Por fim o sistema proposto busca aperfeiçoar as técnicas e procedimentos existentes nos sistemas anteriormente citados, fornecendo maiores condições para auxiliar nas tomadas de decisão e na otimização das condições operacionais dos processos de usinagem.

Para verificar a viabilidade da construção e utilização do sistema em ambiente fabril, uma pesquisa de campo foi realizada com empresas do setor de fabricação por usinagem. Os resultados apurados demonstraram ser viável a construção do sistema proposto neste trabalho, uma vez que existem os requisitos técnicos mínimos necessários nas empresas entrevistadas, além do eventual interesse na utilização do sistema.

## **1.2. OBJETIVOS**

Para um melhor entendimento, os objetivos deste trabalho foram divididos em duas partes, sendo objetivo geral e objetivos específicos, os quais são apresentados na sequência.

### **1.2.1. OBJETIVO GERAL**

Desenvolver um sistema computacional para a otimização dos parâmetros de corte em usinagem, denominado COPPISYS, fornecendo a possibilidade da realização de otimizações de processos de usinagem em ambiente fabril utilizando dados extraídos do próprio ambiente, além de fornecer auxílio para tomada de decisão.

### **1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Compreender as estruturas atuais das plantas industriais do setor de fabricação por usinagem em termos de recursos computacionais,



materiais e humanos por meio da aplicação de uma pesquisa de campo para grupos de planejadores de processos de usinagem, programadores e operadores de máquinas CNC (Controle Numérico Computadorizado).

- Estudar as estruturas e o funcionamento dos sistemas de apoio já existentes MOS e MOS 2, a fim de compreender os modelos matemáticos adotados, além das técnicas e dos procedimentos utilizados em suas construções.
- Expandir as funcionalidades existentes nos sistemas MOS e MOS 2, aperfeiçoando-as e incluindo outras funcionalidades por meio da utilização de técnicas computacionais como: processamento paralelo e orientação a objetos.

### **1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO**

O presente trabalho está estruturado em sete capítulos, descritos a seguir:

- Capítulo 1 – Introdução, justificativa, objetivo e estrutura do trabalho.
- Capítulo 2 – Fundamentação teórica: apresenta uma revisão bibliográfica dos temas envolvidos no desenvolvimento do COPPISYS. Inicia-se com noções sobre usinagem e, em seguida, são abordados conceitos gerais sobre sistemas, sistemas de informação, tecnologias *Web*, normas e metodologias para desenvolvimento de sistemas, usabilidade de sistemas, orientação a objetos, computação paralela, banco de dados e *software* livre, a fim de fornecer um maior entendimento sobre o assunto pesquisado.
- Capítulo 3 – Metodologia: caracteriza o tipo de pesquisa desenvolvida, descrevendo as etapas para a realização do trabalho. Também apresenta a pesquisa de campo quantitativa realizada para grupos de planejadores de processos de usinagem, programadores e operadores de máquinas CNC (Controle Numérico Computadorizado).

- Capítulo 4 – Apresenta a análise e avaliação de sistemas similares para o apoio ao processo de usinagem, desenvolvidos por outros autores.
- Capítulo 5 – Apresenta detalhadamente todas as etapas percorridas para o desenvolvimento do COPPISYS, iniciando-se com a apresentação do resultado da pesquisa de campo e abordando o tipo de tecnologia empregada, modelagem, organização e características do sistema.
- Capítulo 6 – Apresenta a verificação, resultados e análises dos resultados.
- Capítulo 7 – Apresenta as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

Além dos capítulos relacionados, fazem parte deste trabalho: as referências bibliográficas utilizadas para o embasamento do trabalho; as referências bibliográficas consultadas; o Anexo A que apresenta uma comparação entre algumas telas do sistema MOS 2 e do COPPISYS; e dos Anexos B, C, D e E nos quais os trabalhos publicados resultantes desta dissertação são apresentados.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Este capítulo apresenta noções sobre Usinagem e conceitos gerais sobre Sistemas, Sistemas de Informação, Tecnologias *Web*, Normas e Metodologias para Desenvolvimento de Sistemas, Usabilidade de Sistemas, Orientação a Objetos, Computação Paralela, Banco de Dados e *Software* Livre, a fim de fornecer entendimento sobre o assunto pesquisado.

### **2.1. NOÇÕES SOBRE USINAGEM**

#### **2.1.1. MOVIMENTOS EM USINAGEM**

Segundo Diniz *et al.* (2008, p. 13), para que ocorra o processo de usinagem, são necessários que aconteçam movimentos simultâneos entre a ferramenta e a peça que está sendo usinada. Tais movimentos, representados por vetores, são classificados em dois tipos: movimentos ativos e passivos.

Movimentos ativos são aqueles que removem o material da peça durante o processo de usinagem e são divididos em: movimento de corte, movimento de avanço e movimento efetivo de corte.

Os movimentos passivos são aqueles que fazem parte do processo de usinagem, entretanto não há remoção de material durante sua ocorrência. Assim como os movimentos ativos, os movimentos passivos são divididos em: movimento de ajuste; movimento de correção; movimento de aproximação e movimento de recuo.

O entendimento sobre os movimentos em usinagem são importantes uma vez que estes envolvem tempos, os quais são de fundamental importância para a otimização do processo, pois, influenciam diretamente no tempo total de fabricação (GRIVOL, 2007).

### 2.1.2. VELOCIDADE DE CORTE

Para cada tipo de operação em usinagem ocorrem velocidades diferentes e, para cada uma delas, a determinação de seu valor é dada por equações diferentes.

Segundo Diniz *et al.* (2008, p. 17), a velocidade de corte ( $V_c$ ) é “[...] a velocidade tangencial instantânea resultante da rotação da ferramenta em torno da peça, para as operações de torneamento, fresamento e furação [...]”. Seu valor pode ser calculado por meio da Equação (1).

$$V_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \quad (1)$$

Na qual:

$V_c$  = velocidade de corte [m/min.];

$\pi$  = 3,14;

$d$  = diâmetro da peça [mm];

$n$  = rotação da peça ou da ferramenta [rpm].

### 2.1.3. TEMPO DE CORTE

Os tempos de corte em usinagem são divididos em dois tipos: ativos e passivos. Define-se como ativo a soma dos tempos em que há remoção efetiva de material da peça sendo usinada. Nos casos de torneamento cilíndrico, em que todos os parâmetros sejam constantes, o valor do tempo ativo de corte pode ser calculado por meio da Equação (2) (DINIZ *et al.*, 2008, p. 18).

$$t_c = \frac{l_f}{v_f} = \frac{l_f}{f \cdot n} = \frac{\pi \cdot d \cdot l_f}{1000 \cdot f \cdot v_c} \quad (2)$$

Onde:

$l_f$  = percurso de avanço [mm];

$v_f$  = velocidade de avanço [mm/volta];

$t_c$  = tempo efetivo de corte [min.].

Segundo Diniz *et al.* (2008, p. 19), o avanço ( $f$ ) é “[...] o percurso de avanço em cada volta ou em cada curso da ferramenta.”.

A velocidade de avanço ( $V_f$ ) para operações do tipo torneamento é definida como “[...] o produto do avanço pela rotação da ferramenta.”, podendo ser calculado por meio da Equação (3).

$$V_f = f \cdot n \quad (3)$$

Onde:

$f$  = avanço [mm/volta];

$V_f$  = velocidade de avanço [mm/min.].

Os tempos passivos são aqueles envolvidos nos movimentos nos quais não há remoção de material, como: tempo de afastamento e aproximação da ferramenta; tempo de carga e descarga da peça na máquina; tempo de preparação da máquina e tempo de controle de qualidade, se houver.

A obtenção dos tempos passivos geralmente é estimada por meio de estudos específicos de movimentos ou por cronometragem, uma vez que tais tempos nem sempre podem ser calculados (DINIZ *et al.*, 2008, p.18).

#### **2.1.4. DESGASTE E VIDA DA FERRAMENTA**

Durante o processo de usinagem a ferramenta utilizada sofre desgastes devido a diversos mecanismos que ocorrem entre o material da peça e da ferramenta. Os principais são: abrasão mecânica, aderência, aresta postiça de corte (APC) e oxidação.

A vida da ferramenta é um conceito fundamental quando o tema otimização dos processos de usinagem é abordado, de modo que, para a utilização do COPPISYS, o seu entendimento é requerido.

Segundo Diniz *et al.* (2008, p. 117), “Vida da ferramenta é o tempo que a mesma trabalha efetivamente (deduzidos os tempos passivos), até perder a capacidade de corte, dentro de um critério previamente estabelecido.”.

Com base neste conceito, para se definir a vida de uma ferramenta deve-se estabelecer previamente um critério de vida, o qual não deve ser alterado até que o processo seja finalizado. Caso o critério seja alterado, não há condições seguras de serem efetuadas comparações entre as vidas das ferramentas.

Como critério de fim de vida, podem-se adotar alguns indicadores como:

- ❑ desgaste da ferramenta elevado que aponte para a quebra da mesma;
- ❑ perda da tolerância devido ao desgaste na superfície de folga da ferramenta;
- ❑ aumento da força de usinagem devido ao desgaste elevado da ferramenta.

A fixação de um critério de vida em ambiente fabril não é uma tarefa fácil. Este fato leva os responsáveis por determinar o fim de vida de uma aresta de corte a tomar decisões devido às causas não condizentes com o critério de vida adotado. Geralmente o responsável é o operador da máquina. Assim, devem-se adotar as seguintes soluções: treinar muito bem o operador ou utilizar sensores para medir algum fenômeno característico do fim de vida da ferramenta. Existem sensores para medir força de corte, potência do motor, vibração da ferramenta, emissão acústica, entre outros. Entretanto, o uso de sensores sempre significará a ocorrência de intrusividade ao processo, o que quase sempre é indesejável em chão de fábrica. Por este motivo, recomenda-se um treinamento o mais adequado possível do operador, para que o critério de vida, ao ser adotado, seja mantido durante a avaliação do processo.

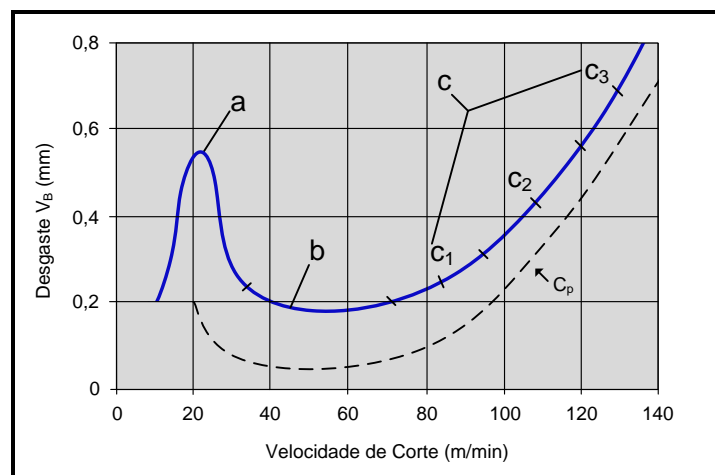
Já é de domínio generalizado entre os profissionais ligados aos processos de usinagem, que tanto o avanço quanto a profundidade de usinagem exercem influência menor do que a velocidade de corte sobre a vida da aresta de corte da ferramenta. Por este motivo este último parâmetro receberá maior atenção neste trabalho.

### 2.1.5. CURVA DE VIDA DA FERRAMENTA

A curva de vida do par ferramenta-peça é a representação gráfica da Equação (4). O gráfico mostrado na Figura 1 apresenta um desgaste de flanco ( $V_B$ ) da ferramenta em função da velocidade de corte para um determinado tempo de usinagem (DINIZ, *et al.*, 2008, p. 128). Neste, observa-se três regiões distintas:

- região na qual ocorrem grandes desgastes em baixas velocidades de corte devido à presença da aresta postiça de corte;
- região na qual os desgastes ocorridos são mínimos e as velocidades de corte são maiores. Nesta região a aresta postiça de corte não ocorre mais e os outros mecanismos de desgaste causam influência não muito significativa;
- região na qual os desgastes se apresentam com maior frequência devido aos mecanismos típicos de altas velocidades de corte.

FIGURA 1 — CURVA DE DESGASTE DA FERRAMENTA.



FONTE: ADAPTADO DE (DINIZ ET AL., 2008).

Observa-se que a região *c* da Figura 1 é a mais vantajosa, uma vez que, para os mesmos valores de desgastes, pode-se optar por velocidades de corte mais produtivas.

Para definir a curva de vida da ferramenta, pode-se aplicar uma equação que foi desenvolvida por Taylor em 1907, a qual descreve o comportamento da vida de

uma ferramenta em função da velocidade de corte. Tal equação ficou conhecida como a Equação de Vida de Taylor (FERRARESI, 1977) descrita pela Equação (4).

$$T = \frac{K}{v_c^x} \quad (4)$$

Onde:

$K$  = constante da Equação de Vida de Taylor;

$x$  = coeficiente da Equação de Vida de Taylor;

$T$  = vida da ferramenta [min.].

#### **2.1.6. OTIMIZAÇÃO DOS PROCESSOS DE USINAGEM**

A otimização dos processos de usinagem consiste em obter os parâmetros de corte: avanço, profundidade de usinagem e velocidade de corte, otimizados. Além destes parâmetros, faz-se necessária a seleção adequada da ferramenta a ser utilizada no processo de acordo com o material que constitui a peça a ser usinada.

Ao selecionar tais parâmetros e otimizá-los, estar-se-á determinando os menores custos e a maior produtividade do processo de usinagem.

Durante o planejamento do processo espera-se que o material da ferramenta, o avanço e a profundidade de usinagem tenham sido escolhidos, considerando os seguintes aspectos:

- o material da peça, sua composição química e suas propriedades mecânicas;
- que tipo de operação será necessária, dentre: desbaste pesado, desbaste leve, semi-acabamento ou acabamento;
- dimensão do inserto em compatibilidade com o tipo da operação a ser realizada.



Diante destes aspectos, a seleção do melhor material para a ferramenta será identificado com base em experiências anteriores registradas em catálogos de fornecedores. Já os valores de avanço e de profundidade de usinagem devem ser selecionados sempre com seus valores máximos, respeitando-se as restrições do sistema máquina-ferramenta-dispositivo-peça, bem como os aspectos pertinentes apresentados acima. Assim, são os fatores geométricos e restritivos do sistema que definem os seus valores.

Entretanto, a velocidade de corte representa a rapidez com que o cavaco, definido pelo avanço e profundidade de usinagem, se forma. Portanto, vários são os valores de velocidade de corte possíveis de serem utilizados respeitando os limites da máquina e a qualidade desejada da peça.

Diferentes abordagens para a otimização dos processos de usinagem vêm sendo pesquisadas, tais como: monitoramento e controle da vida da ferramenta (TANGJITSITCHAROEN; MORIWAKI, 2007); otimização das condições de corte por meio de simulação dinâmica (LI *et al.*, 2010); otimização da rugosidade superficial aplicando o método Taguchi (ZHANG *et al.*, 2007, YANG *et al.*, 2009); otimização de parâmetros do processo de usinagem por Ultrassom baseado em algoritmos não tradicionais (RAO *et al.*, 2010).

Diversos autores, tais como Ferraresi (1977) e Diniz *et al.*, (2008), mostram que o tempo total de fabricação por peça pode ser calculado com base nas Equações (5), (6), (7) e (8).

$$t_t = t_c + t_{pass} + N_t \cdot t_{ft} \quad (5)$$

$$N_t = Z \cdot \left( \frac{t_c}{T} \right) - 1 = Z \cdot \left( \frac{\pi \cdot d \cdot l_f \cdot v_c^{x-1}}{1000 \cdot f \cdot K} \right) - 1 \quad (6)$$

$$t_c = \frac{\pi \cdot d \cdot l_f}{1000 \cdot f \cdot v_c} \quad (7)$$

$$t_{pass} = t_s + t_a + \frac{t_p}{Z} - \frac{t_{ft}}{Z} \quad (8)$$

Das equações (5), (6), (7) e (8) tem-se a equação (9):

$$t_f = \frac{\pi \cdot d \cdot l_f}{1000 \cdot f \cdot v_c} + \left( t_s + t_a + \frac{t_p}{Z} \right) + \left( \frac{\pi \cdot d \cdot l_f \cdot v_c^{x-1}}{1000 \cdot f \cdot K} \right) \cdot t_{ft} \quad (9)$$

Na qual:

$t_f$  = tempo total de usinagem de uma peça [min.];

$t_s$  = tempos de colocação, fixação, inspeção e retirada da peça [min.];

$t_a$  = tempo de aproximação e afastamento da ferramenta [min.];

$t_p$  = tempo de preparo da máquina (*SETUP*) [min.];

$t_{ft}$  = tempo de troca da ferramenta [min.];

$t_{pass}$  = tempos passivos que independem da  $v_c$  [min.];

$Z$  = número de peças do lote;

$N_t$  = número de trocas da aresta para a usinagem do lote.

Após obter o tempo total de fabricação de uma peça, calculado pela Equação (9), é possível realizar o cálculo do custo de produção em relação à velocidade de corte.

O custo total de produção por peça ( $K_p$ ), assumindo apenas os custos diretos, consiste em três termos:  $C_1$ ,  $C_2$  e  $C_3$ , os quais são representados na equação (10).

$$K_p = C_1 + \frac{\pi \cdot d \cdot l_f}{60 \cdot 1000 \cdot f \cdot v_c} \cdot C_2 + \frac{\pi \cdot d \cdot l_f \cdot v_c^{x-1}}{1000 \cdot f \cdot K} \cdot C_3 \quad (10)$$

Na qual:

$K_p$  = custo de produção por peça [\$];

$S_h$  = salário homem [\$];

$S_m$  = salário máquina [\$];

$K_{ft}$  = custo da aresta de corte da ferramenta [\$];

Na Equação (10), o termo  $C_1$  representa o custo independente da velocidade de corte, ou seja, o custo do salário homem e salário máquina mais o custo do

material durante os tempos improdutivos (passivos). Seu valor é calculado aplicando-se a Equação (11).

$$C_1 = \left( t_s + t_a + \frac{t_p}{Z} - \frac{t_{ft}}{Z} \right) \cdot (S_h + S_m) \quad (11)$$

O segundo termo,  $C_2$ , representa a soma das parcelas com mão de obra e com a máquina durante o tempo de utilização de tais recursos no processo. Seu valor é obtido por meio da aplicação da Equação (12).

$$C_2 = (S_h + S_m) \quad (12)$$

Finalmente, o termo  $C_3$  representa o custo relativo à ferramenta, o qual é formado pelo custo propriamente dito somado aos custos de tempo de troca e ajustes da aresta de corte. O seu valor é obtido aplicando-se a Equação (13).

$$C_3 = \left( K_{ft} + \frac{t_{ft}}{60} \cdot (S_h + S_m) \right) \quad (13)$$

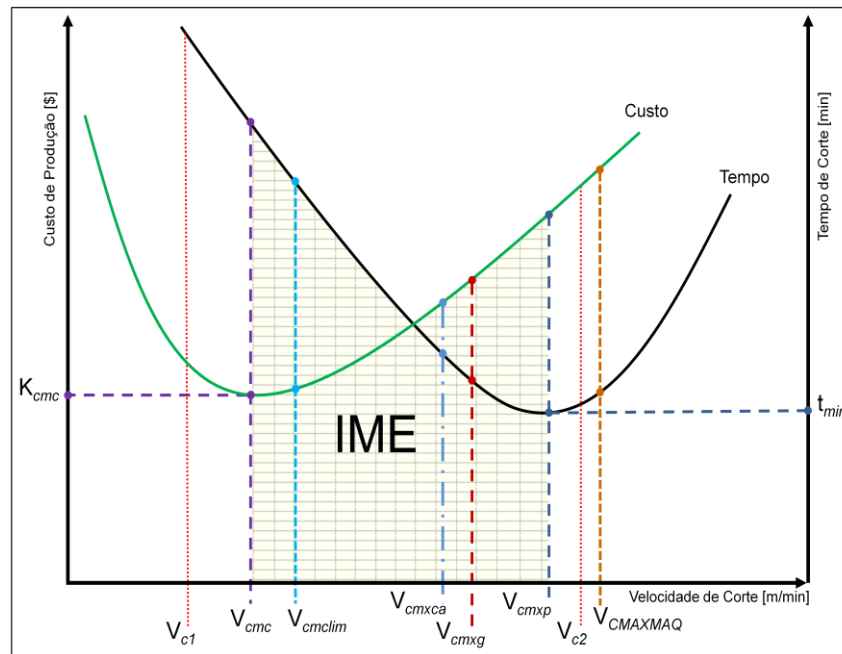
Após o cálculo do tempo total de usinagem e do custo de produção em função da velocidade de corte, é possível construir um gráfico com essas duas funções (DINIZ, *et al.*, 2008), conhecido como Intervalo de Máxima Eficiência (IME) (Figura 2), o qual é um referencial consagrado na literatura especializada, sendo utilizado para a otimização dos parâmetros de usinagem (COPPINI; MALAQUIAS, 1998; DINIZ *et al.*, 2008, p. 142; FERRARESI, 1977).

O IME é o intervalo no qual estão contidas as velocidades de corte ( $V_c$ ) as quais exercem, como mencionado anteriormente, maior influência sobre a vida de uma ferramenta, além de influenciar também nos tempos e nos custos de fabricação.

O cálculo de tais velocidades de corte é realizado por meio da utilização do modelo de procedimento de otimização proposto por (PALLEROSI e CUPINI, 1975 *apud* BAPTISTA, 2004; GRIVOL, 2007) (item 2.1.7), para obtenção dos coeficientes da Equação de Vida de Taylor, utilizando-se dados retirados do ambiente produtivo, os quais representam uma maior realidade para cada situação (DINIZ *et al.*, 2008, p. 137 e p. 143). Tais situações fornecem a possibilidade da ocorrência de diversos cenários de fabricação decorrentes de

fatores como: ramo de atividade; prazo de entrega; estoque; entre outros (BAPTISTA, 2004).

FIGURA 2 — INTERVALO DE MÁXIMA EFICIÊNCIA (IME).



FONTE: ADAPTADO DE (COPPINI E BAPTISTA, 2007).

O gráfico do IME, mostrado na Figura 2, é definido no seu limite inferior por uma velocidade de corte para qual se tem o menor custo de produção, denominada velocidade de corte de mínimo custo ( $V_{cmc}$ ). Esta velocidade de corte deve ser utilizada em um processo de corte para o qual se queira obter o menor custo possível para produção de uma peça ou lote de peças, sendo obtida por meio da aplicação da Equação (14).

### Cenário de Produção:

- ❑ a máquina não é gargalo;
- ❑ o tempo de troca da aresta de corte é pequeno;
- ❑ o número de ferramentas existentes em estoque é pequeno;
- ❑ o custo do ferramental é alto;
- ❑ o tempo de *SETUP* rápido;
- ❑ o prazo de entrega é grande.

$$v_{cmc} = \left\{ \frac{K \cdot (S_h + S_m)}{60 \cdot (x-1) \cdot \left[ K_{tf} + \left( \frac{S_h + S_m}{60} \right) \cdot t_{tf} \right]} \right\}^{\frac{1}{x}} \quad (14)$$

No limite superior do IME encontra-se uma velocidade para qual se tem a máxima produção e é denominada de velocidade de corte de máxima produção ( $V_{cmxp}$ ). Esta velocidade é usada em máquinas que apresentam um estado de gargalo de produção ou para garantir a máxima produção horária possível. O cálculo desta velocidade não depende dos custos de fabricação, desta forma, o tempo de troca da ferramenta é a variável que influencia diretamente em seu valor.

#### Cenário de Produção:

- ❑ a máquina é gargalo;
- ❑ o custo do ferramental é baixo;
- ❑ o tempo de troca da aresta de corte é grande;
- ❑ existe estoque da ferramenta mantido adequadamente;
- ❑ o tempo de *SETUP* é lento;
- ❑ o prazo de entrega é muito curto.

É importante observar que esta velocidade pode estar acima do limite da velocidade máxima da máquina ( $V_{CMAXMAQ}$ ). Neste caso, velocidades menores devem ser adotadas, sendo a velocidade de corte  $1,1 * V_{c2}$  a mais indicada por estar dentro do Intervalo de Validade (IV), discutido no item 2.1.7. Esta velocidade pode ser calculada por meio da Equação (15).

$$v_{cmxp} = \sqrt[x]{\frac{K}{(x-1) \cdot t_{tf}}} \quad (15)$$

Outras velocidades de corte ainda podem ser calculadas de acordo com o cenário produtivo e com as condições operacionais, podendo estas encontrar-se ou não dentro do IME, as quais são descritas a seguir.

### 2.1.6.1. VELOCIDADE DE CORTE DE MÍNIMO CUSTO LIMITE ( $V_{CMCLIM}$ )

Esta velocidade de corte deve ser utilizada em um sistema de manufatura flexível. Neste caso, o tempo de troca da ferramenta é muito rápido ou próximo a zero e o seu valor pode ser obtido aplicando-se a Equação (16).

#### Cenário de Produção:

- ❑ a máquina não é gargalo;
- ❑ o tempo de troca da aresta de corte é próximo de zero ( $\approx 0$ );
- ❑ o número de ferramentas existentes em estoque é pequeno;
- ❑ o custo do ferramental é alto;
- ❑ o tempo de *SETUP* rápido;
- ❑ o prazo de entrega é grande.

$$V_{cncLim} = \left\{ \frac{K \cdot (S_h + S_m)}{60 \cdot (x-1) \cdot K_{tf}} \right\}^{\frac{1}{x}} \quad (16)$$

### 2.1.6.2. VELOCIDADE DE CORTE DE MÁXIMO CUSTO ADMISSÍVEL ( $V_{CMXCA}$ )

Esta velocidade de corte pode ser utilizada a fim de melhorar a produção horária e manter os custos não muito maiores do que o custo mínimo por unidade. Portanto, este custo  $K_{mxca}$  é o custo máximo praticado pelo mercado e se usado, ainda é competitivo.

#### Cenário de Produção:

- ❑ a máquina não é gargalo;
- ❑ o tempo de troca da aresta de corte é pequeno;
- ❑ o número de ferramentas existentes em estoque é pequeno;
- ❑ o custo do ferramental é alto;
- ❑ o tempo de *SETUP* é rápido;
- ❑ o prazo de entrega é mais reduzido.

O COPPISYS permite que esta velocidade de corte seja calculada por meio da inserção do custo desejado utilizando a Equação (17), o qual deve estar contido nos intervalos  $[V_{cmc}; V_{cmxp}]$  e  $[0,9 * V_{c1}; 1,1 * V_{c2}]$ .

$$K_{mxca} = C_1 + \frac{\pi \cdot d \cdot l_f}{60 \cdot 1000 \cdot f \cdot v_{cmxca}} \cdot C_2 + \frac{\pi \cdot d \cdot l_f \cdot v_{cmxca}^{(x-1)}}{1000 \cdot f \cdot K} \cdot C_3 \quad (17)$$

Na qual:

$K_{mxca}$  = custo máximo que pode ser oferecido [\$];

### 2.1.6.3. VELOCIDADE DE CORTE DE MÁXIMO GANHO ( $V_{cmxg}$ )

Esta velocidade é aplicável quando o processo de usinagem visar à obtenção do máximo ganho possível por peça. O ganho máximo é calculado por meio da Equação (18).

#### Cenário de Produção:

- ❑ a máquina é gargalo;
- ❑ o custo do ferramental é baixo;
- ❑ o tempo de troca da aresta de corte é normal;
- ❑ o estoque da ferramenta é mantido adequadamente;
- ❑ o tempo de *SETUP* é lento;
- ❑ o prazo de entrega é curto.

$$G = \frac{\left[ PV_u - MP_u - \left( \frac{l_f \cdot \pi \cdot d \cdot v_{cmxg}^{(x-1)} \cdot K_{tf}}{1000 \cdot K \cdot f} \right) \right] \cdot t_{disp}}{t_1 + \left( \frac{l_f \cdot \pi \cdot d}{1000 \cdot f \cdot v_{cmxg}} \right) + \left( \frac{l_f \cdot \pi \cdot d \cdot v_{cmxg}^{x-1} \cdot t_{tf}}{1000 \cdot f \cdot K} \right)} \quad (18)$$

Na qual:

$PV_u$  = preço de venda [\$];

$MP_u$  = custo da matéria prima [\$].

A sobreposição do IME ao IV dá origem a um novo intervalo denominado Intervalo de Máxima Eficiência Válido (IMEV), para o qual  $x$  e  $K$  são válidos. Neste intervalo estão contidas as velocidades de corte que foram aplicadas na prática e as velocidades de corte otimizadas com base nos custos e nos tempos.

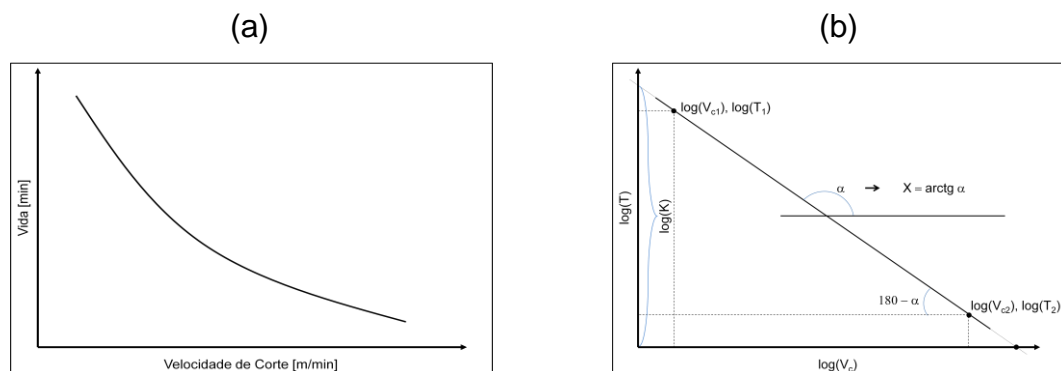
É importante observar que há restrições para aplicação de velocidades de corte dependendo do sistema máquina-ferramenta-peça, na medida em que existem limites impostos para velocidades mínimas e máximas devido a limitações físicas. Pode ocorrer que a velocidade de mínimo custo seja inferior a menor velocidade de corte imposta pela máquina. Da mesma forma, a velocidade de máxima produção pode ser superior à velocidade de corte máxima da máquina.

### 2.1.7. DETERMINAÇÃO DOS COEFICIENTES $x$ E $K$

Observa-se que os valores de  $x$  e de  $K$  são indispensáveis para a determinação da vida da ferramenta. Uma possibilidade seria a de utilizar valores de  $x$  e  $K$  provenientes de catálogos de fabricantes de ferramentas, ou de artigos publicados sobre este assunto. Entretanto, a determinação destes coeficientes em chão de fábrica durante a produção por usinagem, foi a adotada neste trabalho, devido a maior precisão que tal procedimento apresenta.

Observa-se na Figura 3a que a variação da vida da ferramenta com a velocidade de corte é uma hipérbole. A representação de uma hipérbole em escala bi-logarítmica é uma reta como mostra a Figura 3b, a partir da qual se obtém o coeficiente angular “ $\alpha$ ” da Equação de Vida de Taylor.

FIGURA 3— DETERMINAÇÃO DA CURVA DE VIDA DE UMA FERRAMENTA.



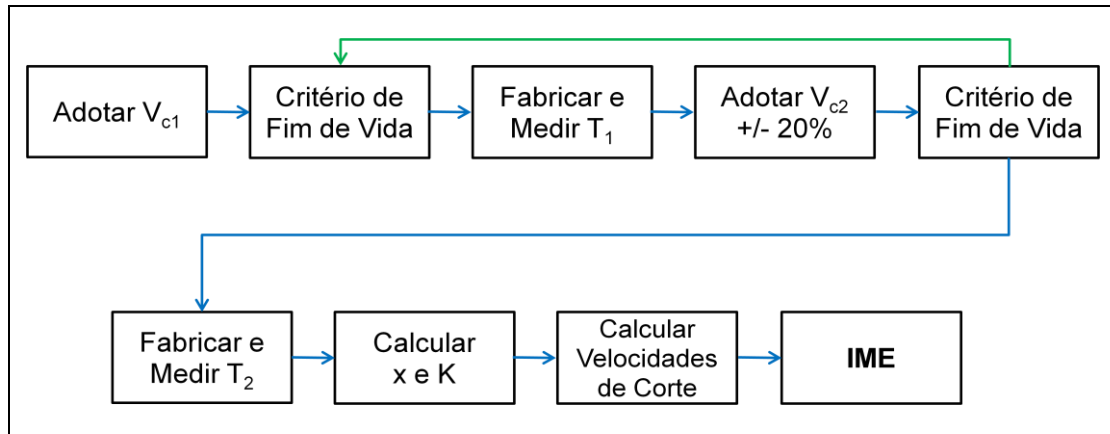
FONTE: O AUTOR.

FONTE: O AUTOR.



Com base neste fato é possível adotar o seguinte modelo de procedimento (BAPTISTA, 2004) (Figura 4):

FIGURA 4 — MODELO DE PROCEDIMENTO PARA OBTENÇÃO DE  $x$  E  $K$ .



FONTE: O AUTOR.

Descrição dos passos:

1. adotar uma velocidade de corte ( $V_{c1}$ ) com base em catálogos de fornecedores ou na experiência do planejador do processo, da mesma forma que hoje é praticado no planejamento do processo;
2. adotar um critério de fim de vida para a ferramenta;
3. fabricar a peça cuja usinagem está em processo de otimização e medir a vida  $T_1$  em minutos;
4. adotar uma nova velocidade de corte ( $V_{c2}$ ) igual a  $\pm 20\%$  em relação a  $V_{c1}$ . É importante ressaltar que o valor aparentemente arbitrário da porcentagem de 20%, tem, na verdade um significado importante, pois:
  - a. valores menores que 20% podem gerar incerteza na definição das vidas correspondentes às duas velocidades, pois, como o processo de usinagem é randômico, as respectivas médias das vidas das arestas de corte podem ser afetadas pelos erros típicos de tal situação. Valores maiores que 20% levarão a resultados tanto mais imprecisos quanto maior for o valor desta porcentagem.

- b. para faixas diferentes das velocidades  $V_{c1}$  e  $V_{c2}$ , os valores de  $x$  e de  $K$  poderão resultar muito diferentes. Esta afirmativa é facilmente constatada por meio de uma análise simples da curva de desgaste mostrada na Figura 1.
5. utilizar o mesmo critério de fim de vida adotado anteriormente (passo 2);
  6. continuar a fabricação da peça com a nova velocidade de corte e medir a vida  $T_2$  em minutos;

Construir o gráfico da Figura 3b utilizando os dados da forma instruída pelos itens de 1 a 6. Para determinar os coeficientes da reta da Figura 3b, o que significa determinar os coeficientes  $x$  da Equação de Vida de Taylor, tem-se a equação (19):

$$x = \frac{\log T_1 - \log T_2}{\log v_{c2} - \log v_{c1}} = \frac{\log \left( \frac{T_1}{T_2} \right)}{\log \left( \frac{v_{c2}}{v_{c1}} \right)} \quad (19)$$

Onde:

$V_{c1}$  = primeira velocidade de corte [m/min.];

$T_1$  = vida da ferramenta correspondente à  $V_{c1}$  [min.];

$V_{c2}$  = segunda velocidade de corte [m/min.];

$T_2$  = vida da ferramenta correspondente à  $V_{c2}$  [min.].

7. Para obter-se o valor da constante  $K$  da Equação de Vida de Taylor, é utilizada a Equação (4) e para o coeficiente  $x$  da Equação de Vida de Taylor a Equação (19).

As velocidades de corte  $V_{c1}$  e  $V_{c2}$  determinadas definem um Intervalo de Validade (IV) de  $x$  e  $K$  da Equação de Vida de Taylor. Assim, após determinados os valores das velocidades apresentadas graficamente na Figura 2, somente as que estiverem dentro do IV de  $x$  e de  $K$  poderão ser consideradas válidas. Pode ocorrer a necessidade de ser adotada uma nova velocidade (por exemplo,  $V_{c3}$ ) que definirá os novos valores de  $x$  e de  $K$ , representando um segundo IV para o qual novas velocidades de corte poderão ser consideradas válidas.

Neste item foram introduzidas noções sobre usinagem com o objetivo de fornecer uma base para o entendimento da problemática.

No próximo item é apresentada a fundamentação teórica sobre os aspectos computacionais e técnicas utilizadas para o desenvolvimento deste trabalho.

## 2.2. DEFINIÇÃO DE INFORMAÇÃO

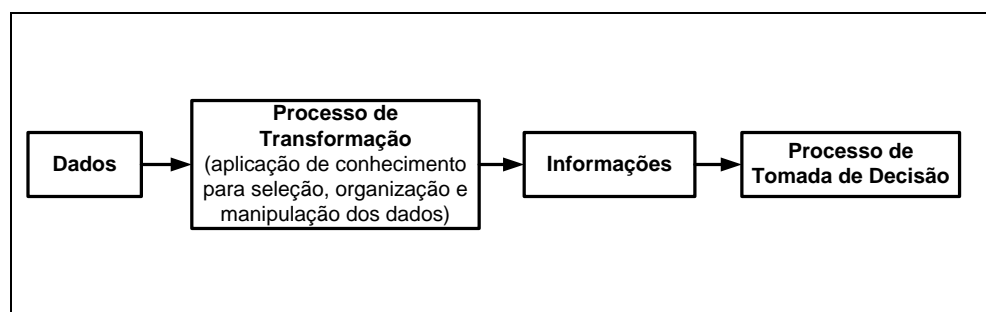
A informação é um bem ou ativo, motivo pela qual deve apresentar integridade, confiabilidade e disponibilidade de forma rápida e objetiva (OLIVEIRA *et al.*, 2008). Entretanto, este termo é confundido com frequência com o termo dados.

Segundo Stair e Reynolds (2006, p. 4), os dados são representações de objetos reais ou fatos e que não possuem valor significativo por si só, apresentando apenas significado na medida em que, seguindo determinado relacionamento lógico, se transformam em informação, conforme mostrado na Figura 5, fornecendo condições para o processo de tomada de decisão.

Ainda segundo os mesmos autores, o termo informação pode ser definido como “[...] um conjunto de fatos organizados de modo a terem valor adicional, além do valor dos fatos propriamente ditos.”.

A informação ainda pode ser descrita como uma resposta compreensível e com valor, servindo de parâmetro para a tomada de decisão, e pode ocorrer de forma manual ou computacional, por meio de sistemas.

FIGURA 5 — PROCESSO DE TRANSFORMAÇÃO DE DADOS EM INFORMAÇÃO.



FONTE: ADAPTADO DE (STAIR; REYNOLDS, 2006).

## 2.3. SISTEMAS

Um sistema pode ser definido como “[...] um conjunto de elementos ou componentes que interagem para atingir objetivos.” (STAIR; REYNOLDS, 2006, p. 7).

Já O’Brien (2010, p. 7) define um sistema de duas formas, primeiramente de forma simples como “[...] um grupo de elementos inter-relacionados ou em interação que formam um todo unificado.” e, de uma forma mais ampla, como “[...] um grupo de componentes inter-relacionados que trabalham rumo a uma meta comum, recebendo insumos e produzindo resultados em um processo organizado de transformação.”.

Os sistemas possuem três funções básicas que participam da interação: entrada (coleta de dados); mecanismos de processamento (transformação e análise); saída (resposta ao processamento). Um sistema pode ainda ser classificado de acordo com o tipo de objetivo a ser atingido, uma vez que a interação entre os elementos em si e suas relações determinam seu funcionamento.

### 2.3.1. SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

Segundo O’Brien (2010, p. 6), “Sistema de Informação é um conjunto organizado de pessoas, *hardware*, *software*, redes de comunicação e recursos de dados que coleta, transforma e dissemina informações em uma organização.”.

Na definição de Stair e Reynolds (2006, p. 14), um sistema de informação baseado em computadores “[...] é composto de *hardware*, *software*, bases de dados, telecomunicações, pessoas e procedimentos configurados para coletar, manipular, armazenar e processar dados em informações.”.

Ambas as definições são consideradas aceitas uma vez que descrevem os elementos necessários para que ocorra a transformação de dados em informações, embora a definição de Stair e Reynolds seja mais completa por abordar a interação dos recursos humanos no processo.

Os sistemas de informação (SI) podem existir de forma manual ou computadorizada, sendo que, em muitos casos, migram da forma manual para a computadorizada. Uma das motivações para construção de SI computadorizados é a rápida evolução da tecnologia da informação nos últimos anos e sua aplicação nas mais diversas áreas, de forma que tais sistemas têm proporcionado grandes benefícios às pessoas e empresas (ALMEIDA, 2010).

A Figura 6 mostra a interação de um sistema de informação em um ambiente empresarial.

*FIGURA 6 — INTERAÇÃO DOS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO NA EMPRESA.*



*FONTE: O AUTOR.*

De acordo com Saciloti (2011), devido ao grande número de informações manipuladas e a forte concorrência de mercado, os sistemas de informação no ambiente produtivo são necessários para o ganho de competitividade. Tais sistemas fornecem condições para criação de estratégias que podem ser utilizadas na tomada de decisão, melhoria dos processos e serviços, redução de custos, aumento dos lucros, entre outros. Na Figura 7 são mostrados os níveis de aplicação para os sistemas de informação no ambiente corporativo.

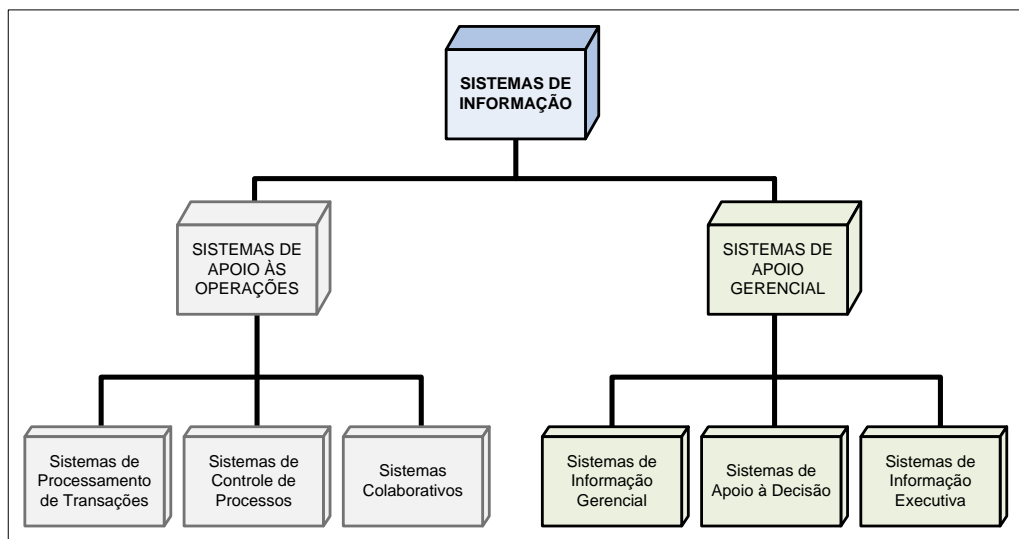
FIGURA 7 — NÍVEIS DOS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO.



FONTE: ADAPTADO DE (CHIAVENATO; SAPIRO, 2003, P. 248).

Em termos conceituais, os sistemas de informação podem ser classificados de diferentes maneiras. A Figura 8 mostra que os SI podem ser classificados destacando-se os principais papéis que cada um desempenha nas operações de um negócio.

FIGURA 8 — TIPOS DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO.



FONTE: ADAPTADO DE (O'BRIEN, 2010, P. 23).

### 2.3.2. SISTEMA DE APOIO OPERACIONAL

Sistema de Apoio Operacional (SAO) é um tipo de SI desenvolvido para atuar diretamente com a parte produtiva do negócio de uma empresa ou indústria (GOUVEIA; RANITO, 2004). Ainda segundo os mesmos autores, tais sistemas

possuem características que são adequadas às funções que desempenham, de modo a maximizar o desempenho de determinadas tarefas, destacando-se: capacidade de armazenamento de grandes quantidades de dados; sistema de busca e recuperação de dados de forma ágil e fornecimento de dados para auxílio na tomada de decisão.

São exemplos de SAO: Sistemas CRM - *Customer Relationship Management* ou Gestão de Relacionamento com o Cliente, ERP - *Enterprise Resource Planning* ou Sistema Integrado de Gestão Empresarial e SCM - *Supply Chain Management* ou Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos (SOUZA; GOLDSTAIN, 2003).

Em linhas gerais, tais sistemas são utilizados para fornecer recursos de modo que uma determinada operação seja realizada dentro do planejamento e das condições operacionais, gerando informações para que outros níveis da estrutura organizacional (Figura 7) possam utilizá-las nas tomadas de decisão.

### **2.3.3. SISTEMA DE APOIO À DECISÃO**

Sistema de Apoio à Decisão (SAD) é um tipo de SI que se utiliza de informações e modelos especializados a fim de colaborar na resolução de problemas organizacionais. Sua função é fornecer apoio ao processo de tomada de decisão nas áreas de planejamento estratégico, controle operacional e gerencial.

O crescimento competitivo entre organizações, principalmente por conta da globalização, gerou uma forte demanda para o surgimento deste tipo de sistema, uma vez que sua utilização fornece dados históricos e ocorrências individuais que, correlacionados, geram informações que possibilitam melhores condições para tomada de decisão, aumentando a obtenção de vantagem competitiva.

Segundo Stair e Reynolds (2006, p. 22), os SAD possuem diversas características, destacando-se: variedade de relatórios; análise de sensibilidade, simulação e tomada de decisão; suporte para diversas fontes de dados; entre outras. Ainda, segundo os mesmos autores, “[...] enquanto os outros sistemas

de informação disponibilizam basicamente relatórios de formato fixo, os SADs possuem uma variedade maior de formatos com flexibilidade.”.

Um exemplo de SAD bastante difundido é o sistema Irriga, o qual é utilizado para fornecer apoio à tomada de decisão na área de irrigação, permitindo controlar o momento correto para aplicar a irrigação, bem como o tempo necessário para o processo. Tal sistema ainda permite avaliar cenários de demanda hídrica, consumo de água e energia. (FREITAS *et al.*, 2008; IRRIGA, 2012).

Por fim, um SAD tem a função de gerar informações, por meio da utilização de ferramentas de análise de dados, banco de dados internos e externos, a fim de fornecer parâmetros que auxiliem na tomada de decisão.

#### **2.3.4. SISTEMAS WEB**

Um sistema *Web* envolve uma mistura de publicação impressa, desenvolvimento de *software*, comercialização, comunicação interna e externa, arte e tecnologia (POWELL, 1998) *apud* (PRESSMAN, 2006, p. 379).

Os sistemas e aplicações com base na *Web* produzem uma complexa matriz de conteúdos e funcionalidades para uma ampla população de usuários (FERREIRA FILHO *et al.*, 2009) e evoluíram para ferramentas computacionais sofisticadas que oferecem, além das funções básicas, a integração com bancos de dados corporativos e aplicações de negócios (PRESSMAN, 2011; VIEIRA; NUNES, 2012).

De acordo com O'Brien (2010), sistemas que utilizam esta tecnologia criam um ambiente de computação aberto, facilitando a interoperabilidade e a troca de informações.

Um sistema *Web* pode ser definido como um *software* cliente/servidor que utiliza o Protocolo de Transferência de Hipertexto (HTTP), no qual o usuário acessa e interage com documentos de forma a enviar solicitações e obter respostas utilizando um navegador *Web*. Este tipo de sistema pode ser desenvolvido por meio da utilização de tecnologias apropriadas, as quais algumas serão abordadas no próximo tópico.



## 2.4. TECNOLOGIAS WEB

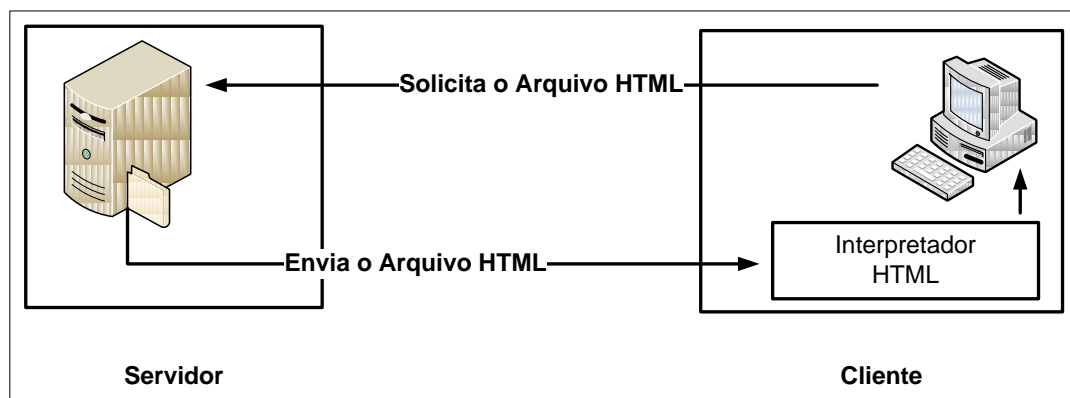
### 2.4.1. HTML

O HTML (*Hyper Text Markup Language*) ou Linguagem de Marcação de Hipertexto é uma linguagem utilizada na produção de páginas *Web*, tendo como função definir uma padronização de modo que a informação seja interpretada por qualquer computador (BRANNAN, 2009). A interpretação de tais páginas é dada por meio da utilização de programas mais conhecidos como navegadores ou *browsers*.

Segundo Alves *et al.* (2007), o surgimento do HTML se deu mediante a necessidade de Tim Berners-Lee, seu criador e inventor da *Web*, para atender a sua necessidade de disseminar informações com seus colegas pesquisadores. Inicialmente o HTML era um conjunto de ferramentas que não possuía padronização, entretanto com a evolução da Internet, o HTML ganhou padrões e especificações e que, atualmente, são administradas pelo W3C (*World Wide Web Consortium*).

Um documento HTML é formado por etiquetas ou *tags*, as quais são os comandos da linguagem e que têm a função de marcar e formatar o texto para exibição no navegador (HARRIS, 2009). Quando solicitado, o documento HTML é enviado pelo servidor para o computador solicitante, interpretado e apresentado na tela conforme mostrado na Figura 9.

FIGURA 9 — PROCESSAMENTO DE UM DOCUMENTO HTML.



FONTE: O AUTOR

Uma etiqueta é formada por comandos, atributos e valores. O comando é o nome da etiqueta propriamente dito, os atributos são os modificadores deste comando e os valores são os dados afetados pelo comando. Para o seu correto funcionamento em concordância com os padrões do W3C, as etiquetas devem estar envolvidas entre os símbolos menor “<” e barra maior “/>”, os quais indicam o início e o término da mesma, existindo ainda algumas etiquetas com sintaxe diferenciada. No Quadro 1 são mostrados alguns exemplos de etiquetas.

QUADRO 1 — EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DE ETIQUETAS HTML.

Etiqueta/Comando	Aplicação	Função	Resultado
<b>h1</b>	<h1>Exemplo</h1>	Título	<b>Exemplo</b>
<b>em</b>	<em>Exemplo</em>	Itálico	<i>Exemplo</i>
<b>strong</b>	<strong>Exemplo</strong>	Negrito	<b>Exemplo</b>
<b>br</b>	 Exemplo	Pular Linha	Exemplo

FONTE: O AUTOR.

Apesar de possuir um grande conjunto de etiquetas ou comandos, cada qual com uma função específica, a sintaxe do HTML é bastante simples e de fácil aprendizado.

O HTML é padronizado e utilizado apenas para a apresentação de páginas na *Web*, entretanto o mesmo fornece apenas conteúdo estático (LAWSON; SHARP, 2010). Por tal motivo, para que um conteúdo dinâmico seja apresentado, é necessária a utilização de outros recursos, tais como as linguagens *Javascript*, PHP ou a biblioteca *jQuery*, ficando o HTML responsável apenas pela sua formatação (GUO *et al.*, 2010).

#### 2.4.2. JQUERY

A *jQuery* é uma biblioteca *Javascript*, a qual é uma linguagem de programação que tem por finalidade criar pequenos programas para serem executados dentro de uma página *Web* (ZAKAS, 2009).

Criada por John Resig para facilitar a utilização do *Javascript* (CHAFFER; SWEDBERG, 2009), a *jQuery* é disponibilizada como *software* livre, ou seja, seu emprego e uso são regidos segundo licença e regras (item 2.10), estabelecidas

pelo MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) e pelo GPL (*GNU General Public License*) (SILVA, 2008).

A *jQuery* possui muitos recursos (BIBEAULT; KATZ, 2010; RICHARDS *et al.*, 2010), destacando-se: orientação a objetos; adição de efeitos visuais e animações; acesso e manipulação de objetos HTML; recuperação de informações no servidor sem a necessidade de recarregamento da página; disponibiliza interatividade e alteração de conteúdos dinamicamente. Tais características favorecem sua aplicação no desenvolvimento de páginas *Web* com segurança e desempenho satisfatório, podendo ser utilizada em conjunto com outras linguagens de programação, tal como a PHP (BATISTA; MANOCHIO, 2009), a qual será abordada no próximo item.

#### **2.4.3. PHP - HYPERTEXT PROCESSOR**

O *Hypertext Preprocessor* ou PHP é uma linguagem de programação que está entre as mais utilizadas atualmente para o desenvolvimento de páginas e aplicações para *Web* (DALL'OGGIO, 2007, p. 20).

O PHP foi desenvolvido por Rasmus Ledorf em 1994 e disponibilizado como *software* livre pela licença *PHP License*. As aplicações desenvolvidas em PHP podem ser executadas em diferentes ambientes como o *Unix*, *Linux* e *Windows*, necessitando apenas da instalação do interpretador PHP correspondente em um dos servidores mencionados para a execução de seus códigos (TRENT *et al.*, 2008).

Um dos pontos forte desta linguagem é a sua portabilidade, pois, conceitualmente, uma aplicação escrita em PHP pode ser executada em qualquer servidor, como citado anteriormente.

O PHP ainda oferece suporte à programação orientada a objetos (discutido no item 2.7), tornando-a uma linguagem de alto nível e com excelente desempenho em sua execução e na geração de conteúdo HTML (ALSHANETSKY, 2007).

Outra característica importante do PHP é a integração com múltiplos bancos de dados por meio da PDO (*PHP Data Objects*) que é a sua biblioteca nativa de acesso a dados (TUESDAY, 2007). Entretanto, é possível obter acesso aos

bancos de dados por meio de bibliotecas desenvolvidas por terceiros tal como a ADODB (*Database Abstraction Library for PHP*) (MGHEDER; RIDLEY, 2008). A facilidade de integração de uma linguagem com banco de dados é de grande importância uma vez que a maioria das aplicações necessita de alguma forma, processar, armazenar e recuperar dados.

O PHP também fornece recursos para a geração de imagens e gráficos (YUE, 2010), além de outros formatos de documentos como: DOC, PDF e XLS. Com tais recursos, as aplicações desenvolvidas podem se tornar mais versáteis sem que haja a necessidade da utilização de outras ferramentas complementares.

Apesar da grande variedade de recursos fornecidos pela linguagem, faz-se importante frisar que sua curva de aprendizagem é relativamente pequena, pois sua sintaxe é similar a outras linguagens de programação, sendo o *Java*, *Perl* e *C/C++* as mais semelhantes (PAULO *et al.*, 2011), destacando-se a última pela ampla utilização no ensino inicial da programação de computadores.

A robustez, confiabilidade e popularidade do PHP no desenvolvimento de aplicações estão presentes na literatura recente por meio de pesquisas nas quais a mesma foi utilizada em diversas áreas do conhecimento, tais como: educação (ABEGG *et al.*, 2010) – Wiki para produção colaborativa; biologia (MONTROYA, 2010; SOUSA *et al.*, 2011) – Avaliação Neurofuncional; medicina (LIN *et al.*, 2011) – Radioesterelização de Tecidos Biológicos.

#### **2.4.4. WEB SERVICE**

Segundo Paulo *et al.* (2011), um *Web Service* (WS) é um tipo de aplicação distribuída e utilizada para integração entre sistemas, possuindo independência de plataforma.

Na definição de FREITAS *et al.* (2009), um WS pode ser definido como um componente de *software* que fornece acesso a outros sistemas utilizando os protocolos padrão da internet HTTP, *eXtensible Markup Language* (XML) e *Simple Object Access Protocol* (SOAP), facilitando a troca de informações entre aplicações desenvolvidas em diferentes linguagens (JAMIL; ZAKI, 2011).

A utilização desta tecnologia possibilita a integração com aplicações já existentes desenvolvidas em plataformas e linguagens diferentes, conferindo compatibilidade entre os sistemas, uma vez que permite a troca de dados no formato universal XML.

## 2.5. NORMAS E METODOLOGIAS PARA DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS

De acordo com Pressman (2011, p. 1), a produção de *software* tornou-se um elemento chave para a evolução de sistemas e produtos baseados em computador. Entretanto, é necessário entender que *software* não é apenas um programa, mas, um conjunto de dados, especificações e documentação.

Para que o desenvolvimento de um sistema possa ocorrer de forma organizada a fim de alcançar os objetivos desejados, a utilização de padrões e modelos faz-se necessária uma vez que tais sistemas possuem diferentes níveis de complexidade, criatividade e esforço coletivo e, de modo geral, são construídos por diversas pessoas ao mesmo tempo (OLIVEIRA, C. S. *et al.*, 2009).

Segundo Dias *et al.* (2010), a norma ABNT ISO/IEC 12.207, que formaliza o Ciclo de Vida de um *software*, fornece um conjunto de diretrizes e boas práticas para a construção de um *software*. Ainda, segundo os mesmos autores, tal norma “[...] estabelece uma arquitetura de alto nível para os processos de ciclo de vida de um *software* [...]”.

Para fortalecer o desenvolvimento de *software*, além da utilização da norma citada, outros métodos foram criados como o RUP (*Rational Unified Process*), Scrum e FDD (*Feature Driven Development*) para a construção de sistemas nas últimas décadas (RAMSIN; PAIGE, 2008). Com isto, novos paradigmas surgiram e são divididos em processos tradicionais e processos ágeis (MUNIZ *et al.*, 2011).

Os processos tradicionais são aqueles no qual o desenvolvimento dos sistemas é efetuado mediante o planejamento e com uma arquitetura bem definida, sendo seus principais objetivos a estabilidade e a garantia de funcionamento (RAMSIN; PAIGE, 2008). Como referência para estes processos o modelo *Capability*

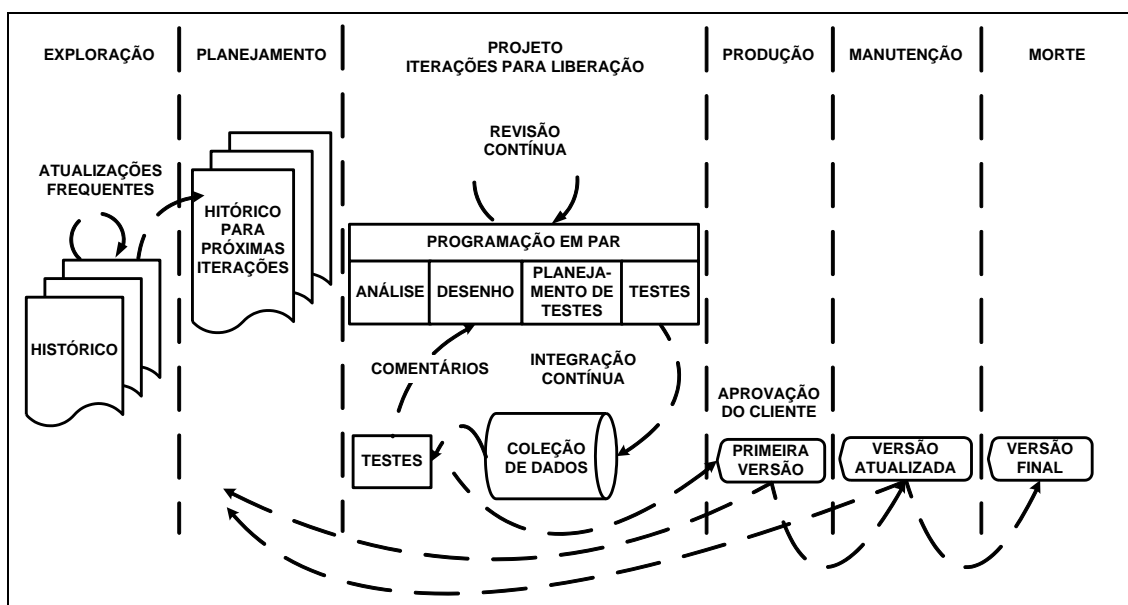
*Maturity Model Integration* (CMMI) pode ser considerado como uma abordagem tradicional (AHERN *et al.*, 2008).

Por outro lado, os processos ágeis são aqueles em que o planejamento é adaptativo e o desenvolvimento do *software* é contínuo, atuando na imprevisibilidade do ambiente e relevando a iteração com o usuário. Dentro desta abordagem, pode-se citar a metodologia de Programação Extrema (do inglês *eXtreme Programming*) ou simplesmente (XP) (Figura 10) (ABRAHAMSSON *et al.*, 2002), que prioriza o controle do projeto nos quesitos custos, tempo, qualidade e escopo de projeto.

Esta metodologia propõe uma série de boas práticas como: padrões de codificação; desenvolvimento orientado a testes; refatoração; integração contínua; testes de aceitação; entre outros, enfatizando a colaboração informal entre clientes e desenvolvedores por meio da opinião contínua dos membros envolvidos, evitando a geração de uma documentação extensa. Além disso, apenas as necessidades imediatas são projetadas e implementadas.

Desta forma, ao utilizar uma metodologia ágil, o desenvolvimento de sistemas torna-se mais dinâmico e com custos e tempos reduzidos, de modo a direcionar sua construção para a real necessidade a ser atendida.

FIGURA 10 — CICLO DE VIDA DOS PROCESSOS XP.



FONTE: ADAPTADO DE (ABRAHAMSSON ET AL., 2002, P. 21).

## 2.6. USABILIDADE DE SISTEMAS

A usabilidade de um sistema ou de um programa de computador é o processo que envolve o projeto e o desenho de uma interface com o objetivo de tornar seu aprendizado e utilização de forma facilitada e com o menor esforço possível, mantendo o visual agradável para o usuário (ROCHA; BARANAUSKAS, 2003, p. 120).

De acordo com a literatura, usabilidade é um conceito chave no campo da Interação Humano-Computador (IHC) que, na definição de Rocha e Baranauskas (2003, prefácio): “[...] é a disciplina relativa ao design, avaliação e implementação de sistemas computacionais interativos para uso humano e aos fenômenos que os cercam.”.

Com a evolução da Internet e o aumento da utilização dos computadores não apenas por especialistas (PRESSMAN, 2006, p. 623), a presença da usabilidade nos sistemas computacionais é um tema crescente entre os desenvolvedores de *software* (DIAS *et al.*, 2010), uma vez que o usuário final está a cada dia utilizando mais sistemas baseados em computador.

Para auxiliar os desenvolvedores na adequação da usabilidade em seus sistemas, algumas normas estão disponíveis, como:

- ISO/IEC 12.207 estabelece uma arquitetura de alto nível para processos de ciclo de vida de *software* (DIAS *et al.*, 2010);
- ISO/IEC 9.126 estabelece um conjunto de atributos e esforços necessários para utilização do *software* (YUEN; LAU, 2008);
- ISO 9.241 – Ergonomia da interação homem-sistema, partes: 100 – introdução às normas relacionadas à ergonomia de *software*; 151 – orientações para interfaces de usuários *World Wide Web*; 11 – orientações sobre usabilidade. Esta norma fornece orientações relevantes sobre ergonomia e padrões de interfaces para o desenvolvimento de *software* (DICKSON *et al.*, 2011).

Segundo Nielsen e Pernice (2010), a clareza da arquitetura da informação, facilidade de navegação, simplicidade no desenho, relevância do conteúdo, consistência das informações e foco no usuário são os itens fundamentais para que a usabilidade possa estar presente em um sistema. Ainda, segundo os mesmos autores, a internacionalização de *softwares* utilizados por meio da Internet necessita de uma usabilidade ainda mais consistente.

Dentre os padrões de usabilidade, os mais utilizados são: diálogo simples e natural; minimização de sobrecarga de memória do usuário; consistência nas ações; relação de opinião (*feedback*); mecanismos de busca; prevenção de erros; ajuda contextualizada e relação gráfica por meio de ícones representando ações (OLIVEIRA, 2011).

Além dos padrões citados, a utilização das cores no desenho de uma interface deve ser tratada com especial atenção, na medida em que esta influencia diretamente as atividades e comportamento dos usuários (KULPA; PIERRE, 2011). A relação das cores utilizadas deve seguir um padrão baseado no contexto ou assunto abordado, considerando-se também as necessidades especiais, tais como para os portadores de algum tipo de deficiência visual (KULPA *et al.*, 2010).

Portanto, a usabilidade é um fator relevante para que um usuário possa utilizar um programa de computador de forma acessível, sem que haja dificuldades ou entraves para a realização de suas tarefas.

## **2.7. ORIENTAÇÃO A OBJETOS**

Neste item é abordado o paradigma da Programação Orientada a Objetos (POO), apresentando seu conceito e elementos básicos, os quais são suficientes para o entendimento do assunto, devido sua extensão e complexidade. Entretanto, para que a POO seja introduzida, faz-se necessário rever alguns conceitos básicos sobre Programação Estruturada.



### **2.7.1. PROGRAMAÇÃO ESTRUTURADA**

Programação Estruturada é uma técnica de programação que possui como principal característica a divisão do programa em módulos de código, sendo estes responsáveis pela execução de tarefas específicas. Tais módulos ainda podem ser denominados como rotinas, funções ou procedimentos, os quais se conectam por meio de três mecanismos básicos: sequência, decisão e iteração. Criada por Michael A. Jackson em 1975 e utilizada até os dias atuais, firmou-se no cenário da engenharia de *software* e desenvolvimento de programas (DALL'OGGIO, 2007, p. 86).

Uma “sequência” representa os passos necessários para que determinada tarefa seja realizada com base em uma “condição” e a “iteração” é a repetição de determinada parte ou trecho do programa de acordo com alguma resposta ou condição lógica atendida.

### **2.7.2. PROGRAMAÇÃO ORIENTADA A OBJETOS**

A POO é uma técnica de programação que foi desenvolvida com o objetivo de tratar algumas limitações da abordagem da programação estruturada (MURTHY *et al.*, 2011), tais como: repetição de código, códigos confusos e dificuldade de manutenção.

Segundo Dall'Oglio (2007, p. 86), o paradigma da POO: “[...] representa toda uma filosofia para construção de sistemas [...]”. Tal filosofia é baseada na representação do mundo real e permite melhor entendimento da problemática a ser resolvida. Esta filosofia orienta que os programas sejam organizados por meio de coleções de objetos os quais representam aproximam-se da representação do mundo real.

#### **2.7.2.1. CLASSE**

Classe é uma estrutura estática que define todas as características comuns a um tipo de objeto e pode conter atributos (variáveis) e comportamentos comuns compartilhados (métodos), os quais manipulam os atributos. De outro modo, uma classe pode ser definida como um modelo para a criação de objetos e que possui características intrínsecas à classe em questão (DALL'OGGIO, 2007;

MURTHY *et al.*, 2011). Segundo Dall'Oglio (2007, p. 90), uma classe poder ser definida como entidades de um negócio (funcionário, máquina, ferramenta, processo), dentre outras como (operação, geração de gráficos, etc.).

Como exemplo, a modelagem da classe “Processo” pode ser descrita com suas propriedades ou atributos: Nome, Descrição e Tipo. Como funcionalidades a serem desempenhadas pela classe, pode-se construir os métodos: Otimizar(), Agendar() e Finalizar(), os quais são responsáveis em manipular os valores dos atributos.

### **2.7.2.2. OBJETO**

Objeto é uma construção de *software* que encapsula estado e comportamento por meio do agrupamento de seus comportamentos e atributos comuns (BOOCH *et al.*, 2007). Objetos permitem que se modele *software* em termos reais e abstrações, ou seja, um objeto é uma instância de uma classe (MURTHY *et al.*, 2011, SINTES, 2002).

Segundo Murthy *et al.*, (2011), os principais conceitos da orientação a objetos são:

- ❑ abstração de dados – define o que um objeto faz sem se preocupar como este será implementado;
- ❑ encapsulamento – propriedade que mantém o controle de determinada ação sem que haja uma interferência ou conhecimento interno de como tal ação é descrita;
- ❑ paradigma de passagem de mensagem - a mensagem, ou seja, meio de comunicação entre os objetos, é uma chamada feita a um objeto com o objetivo de invocar um de seus métodos, ativando um comportamento descrito por sua classe. A mensagem é uma requisição de ação com argumentos necessários para a execução da tarefa solicitada;
- ❑ herança – permite que classes compartilhem métodos e atributos, com o objetivo de reaproveitar código ou comportamento de operações ou atributos, podendo ainda servir como uma especialização dos mesmos.

Em concordância com Sintés (2002) e Murthy *et al.* (2011), existem diversas vantagens em utilizar a POO destacando-se: ganho de produtividade na codificação; manutenção e inclusão de funcionalidades; consistência e qualidade dos programas.

Segundo Booch *et al.*, (2007) podem ocorrer desvantagens na utilização da POO dependendo do tipo de problemática a ser resolvida devido a grande complexidade encontrada na construção de classes que utilizem herança em larga escala.

## **2.8. COMPUTAÇÃO PARALELA**

A computação paralela pode ser definida como uma forma de realizar cálculos simultaneamente com base no princípio de que grandes problemas podem ser divididos em problemas menores, os quais podem ser resolvidos concorrentemente (ALAMSI; GOTTLIEB, 1989).

Segundo Ansoni (2010), existem diferentes técnicas de paralelismo, sendo uma delas a utilização da memória distribuída entre computadores trabalhando em conjunto (*clusters*), a qual é utilizada pela comunidade científica desde a década de 1990, embora esta técnica apresente custos elevados de implantação e manutenção.

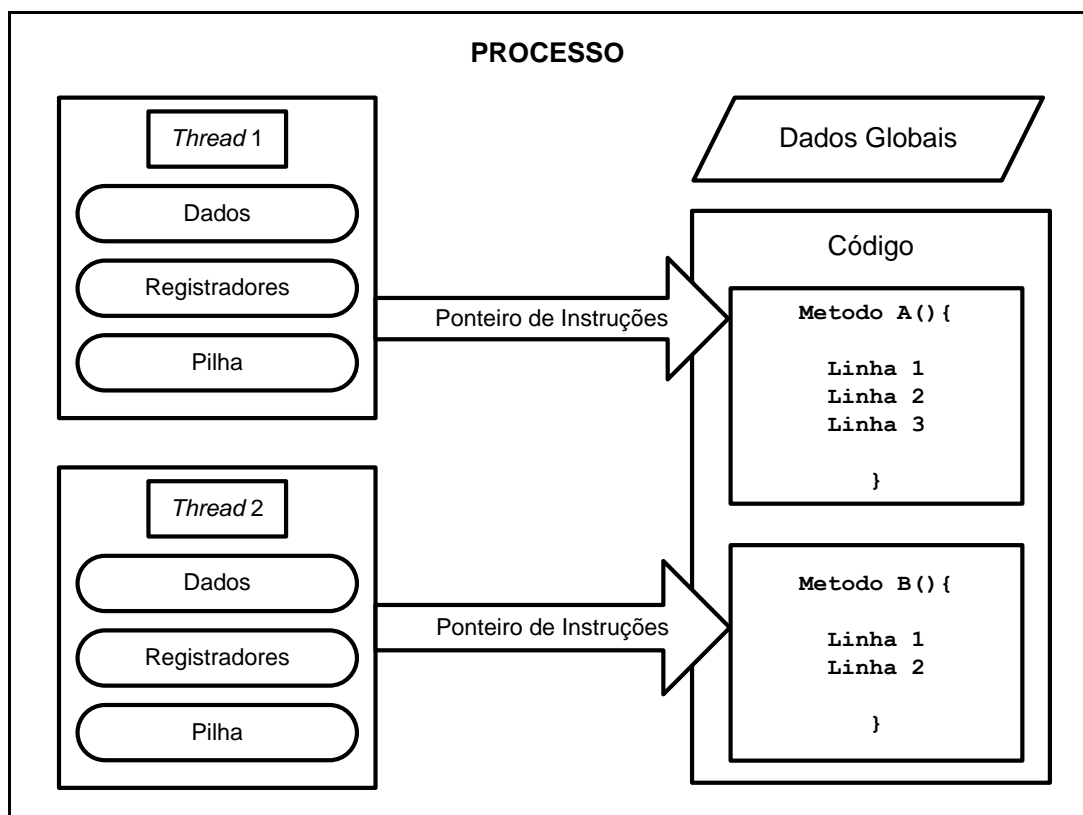
Por outro lado os processadores utilizados em computadores evoluíram de núcleos simples para múltiplos núcleos como o *Intel Core 2 Quad*<sup>®</sup>, o qual possui quatro núcleos, permitindo o aumento do desempenho nas operações e facilitando a resolução de problemas complexos. Tal evolução permitiu a redução dos custos, proporcionando maior acesso aos recursos oferecidos pela técnica de processamento paralelo, uma vez que equipam atualmente servidores e computadores de mesa.

A utilização do recurso de paralelismo pode ocorrer por meio de *Threads* (encadeamentos de execução), que, segundo Ansoni (2010) “[...] é uma linha de execução independente que possui uma memória compartilhada com o processo pai e que pode ser escalonada pelo sistema operacional.”.

Sobre processo pode-se dizer que “é uma instância única de uma aplicação que está sendo executada”, para o qual existe, no mínimo, um *Thread* que executa o código de tal processo.

A utilização desta técnica permite que um programa simples possa executar várias tarefas diferentes ao mesmo tempo com independência dentro de uma aplicação e reduzindo o tempo de processamento. Na Figura 11 é mostrado um processo com dois *Threads*.

FIGURA 11 — ARQUITETURA DE UM THREAD.



FONTE: O AUTOR.

## 2.9. BANCO DE DADOS

Um sistema de banco de dados pode ser definido como um sistema computadorizado que tem como objetivo manter registros armazenados (GÓMEZ-PÉREZ, 2010). Analogamente, um banco de dados pode ser relacionado a um armário físico no qual se pode arquivar e recuperar documentos (dados). É importante ressaltar que existe diferença entre dados e informações, conforme descrito no item 2.2, portanto, faz-se necessária a

distinção entre ambos para o entendimento do mecanismo dos bancos de dados.

Os bancos de dados estão presentes na maioria das aplicações baseadas em computador, devido à alta demanda de dados a serem armazenados, os quais são utilizados para gerar informações para tomadas de decisão, apoio a processos, entre outros (CLEMENTSEN; HE, 2010).

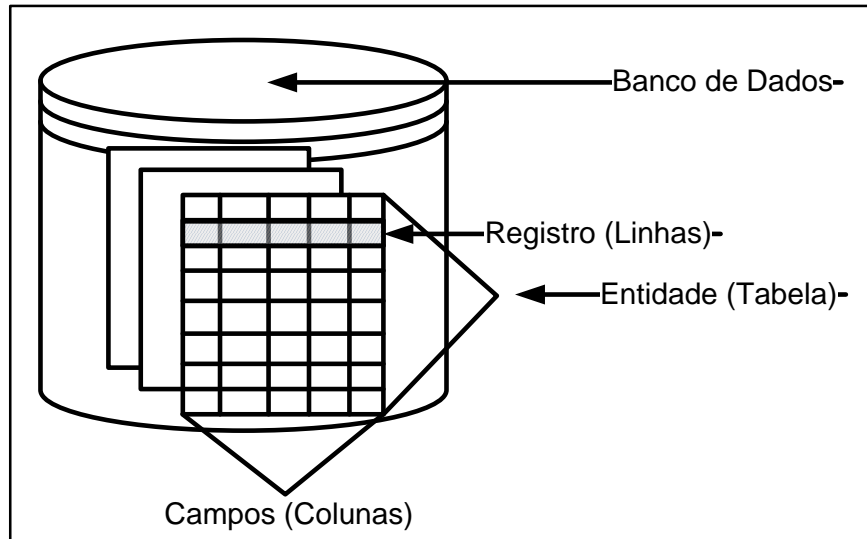
Os sistemas de banco de dados devem fornecer condições para que operações sejam realizadas em relação aos dados, sendo: incluir, alterar, pesquisar e excluir (YU *et al.*, 2011). E, para que tais operações sejam realizadas, é necessário que haja um acesso ao banco de dados, o qual é denominado de requisição (YANG Y, WILSON, L. *et al.*, 2011).

Um banco de dados é constituído por três partes, divididas em: camada física – na qual os dados são efetivamente armazenados; motor de processamento – no qual ocorre o processamento dos dados e o Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD) – interface com o usuário/sistema (DATE, 2004).

Diversos sistemas gerenciadores de bancos de dados estão disponíveis para utilização tais como: Oracle; Sybase; SQLServer; Firebird; MySQL; entre outros, cada qual possuindo suas características específicas.

Em termos gerais, um banco de dados é formado por entidades também conhecidas como tabelas. Cada linha em uma tabela é um conjunto de campos (colunas) denominado de registro ou tupla. Na Figura 12 é apresentada a organização simplificada de um banco de dados.

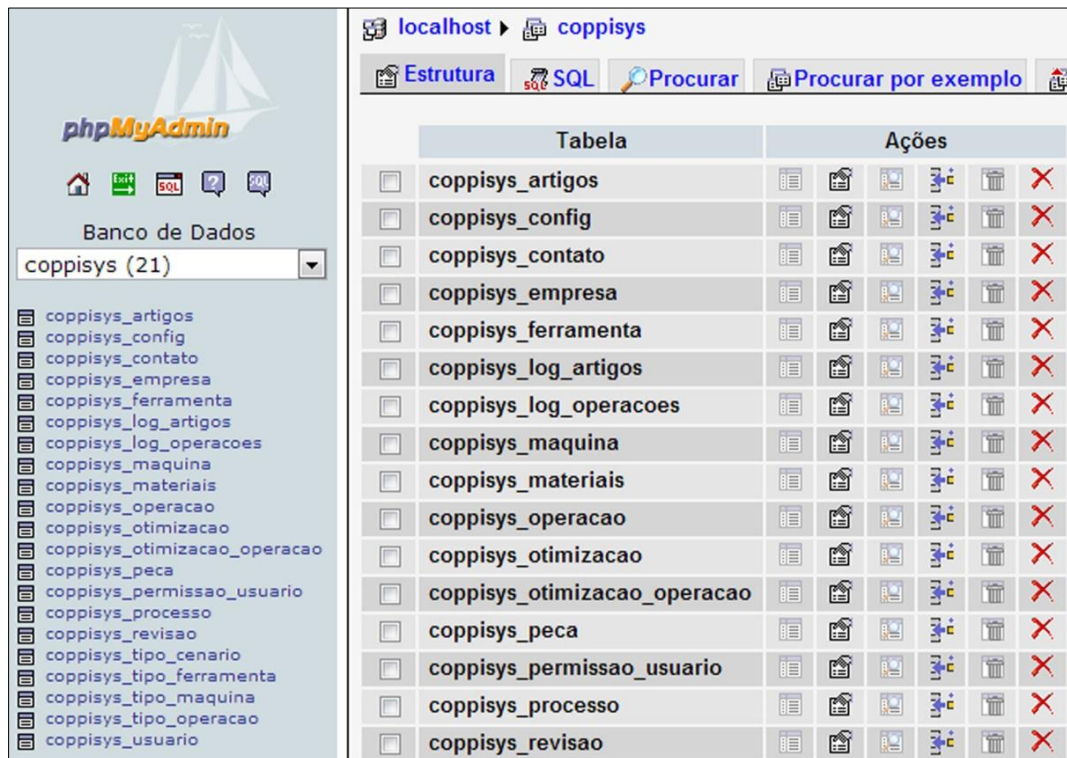
FIGURA 12 — ESTRUTURA SIMPLIFICADA DE UM BANCO DE DADOS.



FONTE: O AUTOR

Na Figura 13 é mostrada a interface do *phpMyAdmin* com o SGBD MySQL, executado em ambiente *Web*.

FIGURA 13 — FRAGMENTO DA INTERFACE DE ADMINISTRAÇÃO DO PHPMYADMIN COM O MYSQL.



FONTE: O AUTOR.

Usualmente, um banco de dados não é utilizado de forma autônoma, ou seja, sistemas são construídos para processarem dados originados de um banco de dados (HOLZE; RITTER, 2011). Por tal motivo, os bancos de dados necessitam apresentar confiabilidade, estabilidade, disponibilidade e segurança (BATISTA; MANOCHIO, 2009).

## **2.10. SOFTWARE LIVRE E A GENERAL PUBLIC LICENSE (GPL)**

Um *software* Livre é um tipo de programa de computador cujo código-fonte deve ser disponibilizado para permitir o uso, a cópia, o estudo e a redistribuição, com base em uma licença de uso que descreve quais condições podem ser adotadas em relação ao programa (HENLEY, 2008). Este conceito se contrapõe ao *software* proprietário, o qual não permite que alterações sejam feitas em seu código, dificultando a customização por parte do usuário/desenvolvedor e criando uma dependência com o proprietário.

A GNU *General Public License* ou (GPL) (RYCHLICKI, 2008), é um tipo de licença de uso que designa um *software* como livre, sendo a mais utilizada entre projetos deste tipo, principalmente pela adoção desta para o sistema operacional *Linux*. Para delinear o conceito de *software* livre, esta licença apresenta quatro conceitos sobre sua utilização (KEMP, 2009):

- ❑ executar o programa para qualquer propósito;
- ❑ estudar o funcionamento interno do programa, ou seja, obter acesso ao código-fonte;
- ❑ redistribuir cópias de modo a ajudar o próximo;
- ❑ aperfeiçoar o programa e compartilhar os aperfeiçoamentos.

A redistribuição do programa condiciona que sejam mantidos os direitos do autor de forma explícita e que a mesma esta anexada ao código-fonte do programa.

Segundo Rolandsson *et al.* (2011), a utilização do *software* livre mudou as características da indústria de *software*, tornando-o mais competitivo. Do ponto

de vista comercial, programas desenvolvidos sob a GPL possuem um preço praticamente nulo, entretanto os desenvolvedores podem explorar comercialmente serviços agregados, gerando desta forma lucros. Os programas com base na GPL ainda apresentam vantagens como: redução de custos em relação ao tempo de desenvolvimento; menor tempo de correção de falhas, uma vez que diversos programadores trabalham ao mesmo tempo no desenvolvimento; exige cautela quanto à qualidade do código, ao passo que outros desenvolvedores possuem acesso ao código-fonte.

Apesar das vantagens, o *software* livre ainda está em fase de maturação por parte das empresas devido à falta de experiência, principalmente em relação à qualidade dos *softwares* desenvolvidos, ao passo que os mesmos são construídos, na maioria dos casos, por comunidades de desenvolvedores.

Neste capítulo foi apresentada a fundamentação teórica sobre Usinagem e conceitos gerais sobre Sistemas, Sistemas de Informação, Tecnologias *Web*, Normas e Metodologias para Desenvolvimento de Sistemas, Usabilidade de Sistemas, Orientação a Objetos, Computação Paralela, Banco de Dados e *Software* Livre, a fim de fornecer entendimento sobre o assunto pesquisado, a qual foi utilizada para o desenvolvimento deste trabalho.



### **3. METODOLOGIA**

Neste capítulo é descrita a classificação metodológica utilizada para o desenvolvimento do presente trabalho e as etapas seguidas para a construção do sistema.

#### **3.1. CLASSIFICAÇÃO**

Segundo Gil (2010, p. 21), um trabalho de pesquisa deve possuir critérios para que possa ser definida sua classificação. Embora haja uma vasta literatura sobre o assunto e com diferentes abordagens, o referido autor destaca-se como uma referência clássica e atendeu às necessidades para a classificação deste trabalho.

Como o presente trabalho trata do desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão e operacional para otimização dos parâmetros de corte em usinagem, baseando-se em sistemas desenvolvidos anteriormente e com a proposta de incluir e aperfeiçoar funcionalidades, aplicando também melhorias na estruturação lógica e funcional, de acordo com a descrição de Gil (2010, p. 41-56), este trabalho pode ser classificado sob duas abordagens diferentes.

Primeiramente pode ser classificado como uma pesquisa explicativa, pois, procura explicar o porquê dos modelos e métodos utilizados em sua construção.

Em uma segunda classificação, pode-se enquadrar como uma pesquisa exploratória, uma vez que, segundo Gil (2010, p. 41): “[...] têm como objetivo principal o aprimoramento de ideias ou a descoberta de intuições.”.

#### **3.2. PROCEDIMENTOS ADOTADOS**

A seguir são descritos os passos adotados para o desenvolvimento desta pesquisa:

- escolha do tema:

- Otimização dos processos de usinagem com base no IME e em restrições do ambiente produtivo.
- formulação do problema:
  - O desenvolvimento de um sistema computacional para a otimização do processo de usinagem que inclui o aperfeiçoamento de funcionalidades existentes nos sistemas MOS e MOS 2, além de novos recursos, pode melhorar o auxílio na obtenção de melhores resultados e para a tomada de decisão?
- delimitação da pesquisa:
  - o sistema deverá fornecer procedimentos de otimização das condições operacionais de usinagem para as operações de torneamento, fresamento e furação, com alto grau de interatividade e flexibilidade, visando atender a diferentes cenários de produção, ampliando as funcionalidades existentes nos sistemas MOS e MOS 2 e incluindo novos recursos.
- plano de trabalho: é apresentado dentro de cada item que segue:
  - pesquisa bibliográfica sobre o tema — A pesquisa bibliográfica foi realizada por meio de sistemas de busca disponíveis no portal de periódicos da CAPES, além da utilização das bases de dados do *Science Direct*, *Web of Science*, *Scielo*, *ACM - Association for Computing Machinery* e *Mendeley*. Também foram obtidos artigos em anais de congressos nacionais e internacionais sobre engenharia de produção e computação. O levantamento bibliográfico foi iniciado no ano de 2011, sempre pesquisando os últimos cinco anos, exceto para as bibliografias clássicas sem reedição. A estratégia de busca consistiu na utilização dos seguintes termos: otimização, usinagem, torneamento, fresamento, furação, intervalo de máxima eficiência, remoção de cavaco, sistemas de otimização e sistemas *Web*. Todos os termos foram

pesquisados em língua portuguesa e inglesa, sendo procurados nas palavras-chave, título e resumo.

- aplicação de pesquisa de campo — Para melhor entender as estruturas atuais das plantas industriais do setor de fabricação por usinagem em termos de recursos computacionais, materiais e humanos, foi aplicada uma pesquisa de campo quantitativa, descrita no item 3.3, para grupos de planejadores de processos de usinagem, programadores e operadores de máquinas CNC (Controle Numérico Computadorizado).
- análise dos sistemas MOS e MOS 2 — Uma análise profunda, descrita no item 4), foi realizada nos sistemas MOS e MOS 2, visando o entendimento das técnicas e modelos matemáticos aplicados em suas construções, além das funcionalidades existentes, usabilidade e abrangência de aplicação em ambiente fabril.
- aquisição do conhecimento — Durante todas as etapas do desenvolvimento do trabalho, foram realizadas entrevistas, por meio de reuniões, com o Prof. Dr. Nivaldo Lemos Coppini e com o Prof. Dr. Elesandro Antonio Baptista, autor do sistema MOS utilizado como referência para o desenvolvimento deste trabalho, os quais atuaram como Engenheiros do Conhecimento, orientando e contribuindo para um melhor entendimento do assunto.
- identificação de melhorias — Conhecidos os sistemas MOS e MOS 2, procurou-se identificar (item 4.2) as possíveis funcionalidades a serem aperfeiçoadas, como: ferramenta de busca; gráfico do IME; melhoramento da interface; e as melhorias que poderiam ser implementadas no sistema proposto, como: otimização automática das velocidades de corte para os diversos cenários de produção; visualização simultânea das velocidades de corte otimizadas; sistema de ajuda intuitivo.

- modelagem do sistema — A modelagem do sistema foi efetuada após a definição das funcionalidades a serem aperfeiçoadas e das novas funcionalidades a serem implementadas, definindo-se nesta etapa o aspectos do sistema relativo ao banco de dados, técnicas de programação desenho das telas e usabilidade. Como o sistema proposto é do tipo *WEB*, as técnicas e requisitos foram selecionados de acordo com a plataforma adotada.
- desenvolvimento do sistema — Uma vez modelado, o sistema foi desenvolvido seguindo-se o modelo definido e utilizando a norma internacional ISO/IEC 12.207, que formaliza o Ciclo de Vida de um *software*, além da aplicação da metodologia Ágil de desenvolvimento *eXtreme Programming (XP)* para a interação com os Engenheiros do Conhecimento em usinagem, promovendo a integração contínua e mantendo controle sobre o projeto nos quesitos custos, tempo, qualidade e escopo de projeto. O sistema foi construído sob o paradigma da POO e codificado com a linguagem de *script* PHP 5.3. Para o armazenamento dos dados, foi adotado o banco de dados MYSQL 5.1. Durante todo o processo de desenvolvimento, diversos testes foram realizados visando verificar a existência de possíveis erros e a correção dos mesmos utilizando-se o método da comparação por meio de planilhas eletrônicas.
- verificação do sistema — Após a conclusão do desenvolvimento, duas simulações foram executadas, apresentadas e discutidas no item 6, com dados conhecidos (GRIVOL, 2007), os quais foram utilizados para a validação do sistema MOS 2. Tais dados foram os mesmos já utilizados por Baptista (2004) para a validação do sistema MOS.

### 3.3. PESQUISA DE CAMPO

Para melhor entender as estruturas atuais das plantas industriais do setor de fabricação por usinagem em termos de recursos computacionais, materiais e

humanos, foi elaborada e aplicada uma pesquisa de campo quantitativa para grupos de planejadores de processos de usinagem, programadores e operadores de máquinas CNC (Controle Numérico Computadorizado).

O método utilizado para o desenvolvimento desta pesquisa foi o uso de questionários (*surveys*), que, de acordo com Wainer (2007), é um método bastante eficiente para coleta de dados uma vez que este tipo de pesquisa utiliza variáveis objetivas com resultados numéricos, os quais são mais ricos que as descrições verbais e, desta forma, favorecem a comparação dos resultados por meio da manipulação estatística.

Uma das características do *survey*, segundo Babbie (1999), é a sua semelhança com o “censo”, sendo que o “*survey* examina uma amostra da população, enquanto o censo geralmente implica uma enumeração da população toda.”.

### 3.3.1. CONSTRUÇÃO DO QUESTIONÁRIO

O questionário construído contou com um conjunto de 19 questões divididas em quatro grupos: área de atuação; usinagem; conectividade e sugestões, a fim de facilitar o sistema de respostas para o respondente e o entendimento dos dados obtidos posteriormente para tabulação. Na Figura 14 é apresentada uma página do formulário eletrônico utilizado para a realização da pesquisa.

FIGURA 14 — PÁGINA DO FORMULÁRIO ELETRÔNICO DA PESQUISA APLICADA.

0%  100%

**ÁREA DE ATUAÇÃO**

• Assinale a sua área de atuação dentro da empresa  
Escolha a(s) que mais se adequem

Usinagem  
 Engenharia  
 Administração  
 TI (Tecnologia da Informação)  
 Outros:

• Indique seu Cargo/Função na empresa  
Escolha uma das seguintes respostas:

Planejador de processos de usinagem  
 Programador de máquinas CNC  
 Operador de máquinas CNC  
 Outro

Continuar mais tarde << Anterior Próximo >> Sair e limpar questionário

FONTE: O AUTOR.

Os enunciados foram elaborados de forma a permitir um conjunto de respostas alternativas pré-definidas com opções de resposta única e múltipla escolha, além de oferecer um campo denominado “outro(s)” para inserção de valores não constantes no conjunto de opções fornecidas. Para o grupo de “sugestões”, o sistema de resposta ocorreu por meio da inserção de textos livres, os quais foram analisados dentro do contexto das respostas e, por consequência, a representação numérica não foi realizada.

### **3.3.2. DISTRIBUIÇÃO DO QUESTIONÁRIO**

A pesquisa foi realizada por meio da Internet utilizando como ferramenta o *software* livre de aplicação de pesquisas *LimeSurvey* que, segundo Engard (2009) e Usher (2011), possui características que fortalecem seu uso como: facilidade de operação; opções avançadas de configuração; criação de grupos de questões; importação e exportação de dados, além da criação automática de relatórios estatísticos.

Para dar início à aplicação da pesquisa, um convite para responder ao questionário foi enviado por *e-mail*, entre os dias 2 e 15 de março de 2011, para 2.364 empresas de pequeno e médio porte do setor de usinagem, distribuídas no território nacional brasileiro. Os contatos das empresas foram fornecidos pela empresa fabricante de ferramentas de usinagem Sandvik, garantindo a segmentação do público alvo da pesquisa.

Para responder ao questionário foi disponibilizado um formulário *on-line* que foi mantido ativo na Internet entre os dias 2 de março e 31 de maio de 2011.

Os resultados obtidos são apresentados no item 5.1.

#### **4. ANÁLISE E AVALIAÇÃO DE SISTEMAS SIMILARES DESENVOLVIDOS POR OUTROS AUTORES**

Na literatura especializada é possível encontrar alguns autores que focaram seus trabalhos na construção de sistemas de apoio ao processo de usinagem utilizando recursos e técnicas computacionais de diferentes formas, aplicando o conhecimento científico e/ou práticos para resolução dos problemas.

Baptista (2004) desenvolveu o sistema especialista *Web-based MOS (Machining Optimizer System)*, com o objetivo de auxiliar na otimização dos processos de torneamento, fresamento e furação, com base no IME para diversos cenários produtivos.

Dando continuidade à pesquisa e aplicação do referido sistema, (BAPTISTA; COPPINI, 2007) validaram o MOS na otimização dos parâmetros de usinagem com dados extraídos do ambiente fabril, comparando os resultados obtidos com informações processadas por meio de planilha eletrônica e dados de catálogo de fornecedores. Os resultados obtidos nos experimentos mostraram que o sistema identificou corretamente os cenários, demonstrando ser confiável para aplicação em ambiente produtivo.

Como proposta de evolução ao sistema MOS, Grivol (2007) desenvolveu o MOS 2 identificando melhorias e adicionando outras funcionalidades, como: novas abordagens de otimização; divisão do sistema em hierarquias bem definidas; inclusão de indicadores de cenários correntes, entre outras. As melhorias adicionadas agregaram benefícios que tornaram o sistema mais consistente e com melhores condições para auxiliar na otimização dos processos em ambiente fabril.

Zheng *et al.* (2008) desenvolveram um sistema no qual os usuários podem selecionar, em um banco de dados, máquinas-ferramentas adequadas e parâmetros de corte, além de avaliar o desempenho de usinagem através da obtenção da força de torneamento, consumo de energia, estado de vibração e distorção da peça de acordo com as condições de usinagem, tais como: material

de ferramenta de corte; material da peça; dureza da peça; tratamento térmico; profundidade de corte, etc. Tal sistema permite ao planejador do processo, mediante conexão com a Internet, consultar todos os recursos de produção de empresas geograficamente distribuídas para realizar o planejamento do processo, possibilitando sua otimização de forma eficiente, utilizando dados já conhecidos de experiências anteriores.

Hanwu e Yueming (2009) propuseram um sistema virtual para treinamento e simulação de otimização de operações para máquinas-ferramentas CNC. O sistema foi desenvolvido com base na estrutura VRML (Linguagem para Modelagem de Realidade Virtual). Esta linguagem permite a criação de objetos tridimensionais, além de oferecer recursos de interação por sensoramento como: deslocamento; aplicação de som; luz; entre outros. Entretanto, este sistema possui uma característica restritiva quanto à tecnologia aplicada, pois sua utilização depende da instalação de programas auxiliares (*plug-ins*) para o funcionamento.

Embora a literatura recente demonstre a existência de sistemas destinados ao apoio à otimização de processos em usinagem, os sistemas MOS e MOS 2 destacam-se por apresentarem a aplicação do aspecto científico mediante a utilização de modelos matemáticos determinísticos com base na obtenção dos coeficientes da Equação de Vida de Taylor, além de utilizarem dados extraídos diretamente do ambiente produtivo, tornando-os sistemas de real aplicação industrial (COPPINI; BAPTISTA, 2007).

#### **4.1. SISTEMAS MOS E MOS 2**

##### **4.1.1. INTRODUÇÃO**

Os sistemas de apoio à otimização dos processos de usinagem MOS e MOS 2 foram utilizados como base para construção do sistema proposto neste trabalho. Utilizando os conceitos obtidos no item 2, os sistemas foram estudados detalhadamente visando o entendimento das técnicas e dos modelos matemáticos utilizados em suas construções, usabilidade e abrangência de aplicação em ambiente fabril.



O estudo foi realizado simultaneamente nos sistemas avaliando os tópicos citados anteriormente, entretanto a descrição sobre os procedimentos não faz distinção entre ambos, na medida em que o objetivo do estudo foi o entendimento e não a comparação entre os sistemas.

#### **4.1.2. ANÁLISE DOS SISTEMAS**

A análise dos sistemas teve início a partir do estudo sobre a interface, na qual foram encontrados pontos específicos com possibilidades de melhorias quanto à usabilidade e facilidade de acesso, uma vez que o aperfeiçoamento destes itens pode aumentar a compatibilidade com os navegadores padrão, além de proporcionar melhor utilização do sistema e visualização de gráficos. Ainda, de acordo com as normas de usabilidade (item 2.6), a navegação entre as telas pode receber melhoramentos a fim de minimizar o número de telas acessadas.

O conteúdo do sistema de ajuda existente satisfaz as necessidades para o auxílio do usuário, embora utilize o recurso de apresentação em nova janela, conhecido como (*pop-up*). Este recurso é normalmente bloqueado na maioria dos navegadores atuais e, por tal motivo, pode gerar dúvidas ao usuário não apresentando o resultado esperado.

Os sistemas foram construídos utilizando a técnica estruturada de programação, a qual não trata separadamente os dados do comportamento do programa, dificultando a manutenção, uma vez que alterações no código impactam em grande parte do programa, não oferecendo a vantagem da inclusão rápida de funcionalidades. A utilização da técnica da programação orientada a objetos pode contribuir para melhorar a organização e o reaproveitamento do código, facilitando a inclusão de funcionalidades futuras.

A linguagem ASP (*Active Server Pages*<sup>®</sup>), utilizada na codificação dos sistemas, apresenta certa restrição quanto ao seu uso, uma vez que os programas escritos nesta linguagem são executados em um servidor IIS (*Internet Information Server*), o qual necessita o pagamento de licença de uso. Por tal motivo, a linguagem PHP pode ser adotada para o desenvolvimento do sistema, uma vez que esta é um *software* livre.

O banco de dados utilizado pelos sistemas para o armazenamento de dados é o *MS Access*<sup>®</sup>, podendo ser substituído pelo MySQL (item 2.9), o qual oferece suporte para um número maior de usuários simultâneos, aumentando a segurança dos dados em compatibilidade com nível de criticidade exigida.

O emprego dos modelos matemáticos e seu funcionamento, utilizados na construção dos sistemas, foram estudados com base na literatura com o objetivo de compreender o procedimento para realização dos cálculos das velocidades de corte obtidas por meio da aplicação dos referidos modelos. Durante o processo, foi realizada uma verificação para analisar a eficiência dos algoritmos em termos de velocidade, precisão e reaproveitamento de código, sempre comparando os resultados obtidos com dados de planilhas eletrônicas encontrados na literatura (BAPTISTA; COPPINI, 2007).

#### **4.2. AVALIAÇÃO DAS POTENCIALIDADES DE MELHORIAS**

Durante a análise dos sistemas mencionados anteriormente, foram identificados alguns pontos os quais se mostraram potenciais para inclusão no sistema proposto. Os resultados obtidos pela aplicação da pesquisa de campo (item 3.3), da análise efetuada aos sistemas existentes (item 4.1.2) e a participação do engenheiro do conhecimento, contribuíram para a inserção de novas funcionalidades e do remodelamento das abordagens de otimização. Algumas sugestões de trabalhos futuros encontradas na literatura (GRIVOL, 2007) também foram incluídas no COPPISYS.

A seguir são apresentadas as novas funcionalidades e melhorias para o sistema.

##### **4.2.1. OTIMIZAÇÃO AUTOMÁTICA DAS VELOCIDADES DE CORTE PARA OS DIVERSOS CENÁRIOS DE PRODUÇÃO**

Uma das principais contribuições deste trabalho é fornecer ao usuário um panorama geral das velocidades de corte otimizadas, bem como dos cenários de produção a que pertencem, aplicando-se o modelo de procedimento para obtenção dos coeficientes da Equação de Vida de Taylor, discutido no item 2.1.6.

Esta funcionalidade permite a redução do tempo para a análise dos parâmetros, facilitando assim a tomada de decisão.

#### **4.2.2. VELOCIDADE DE CORTE SELECIONADA PELO USUÁRIO ( $V_{CSU}$ )**

Além das velocidades de corte mencionadas no item 2.1, foi aperfeiçoada no COPPISYS uma opção de velocidade de corte denominada Velocidade de Corte Seleccionada pelo Usuário ( $V_{CSU}$ ), a qual não é calculada inicialmente pelo sistema no momento da otimização, mas sim informada pelo usuário durante a análise do resultado de uma otimização. Sua finalidade é dar condições para que outras velocidades de corte possam ser analisadas dentro do cenário de fabricação existente, fornecendo maior flexibilidade para o usuário na tomada de decisão.

Esta velocidade foi melhorada com relação aos algoritmos utilizados, os quais permitem que os cálculos sejam realizados com maior velocidade e o valor obtido apresentado simultaneamente na TVO e no gráfico do IMEV de forma dinâmica.

#### **4.2.3. MELHORAMENTO DA INTERFACE**

A interface do COPPISYS foi desenvolvida com técnicas avançadas de programação e orientada pelas normas de usabilidade (descritas no item 2.6), a fim de facilitar e melhorar as aplicações práticas para a otimização de processos em indústrias de usinagem diretamente no ambiente fabril. Os elementos presentes na interface estão dispostos de forma simples e funcional acompanhados por ícones explicativos. Todas as telas do COPPISYS apresentam recursos de ajuda *on-line* ou ajuda intuitiva contextualizada e, nas telas que possuem campos de entrada, ambos os tipos.

#### **4.2.4. APERFEIÇOAMENTO DA FERRAMENTA DE PESQUISA**

Em um sistema de informação a recuperação dos dados armazenados é tão importante quanto o seu armazenamento. No COPPISYS a ferramenta de pesquisa abrange todas as telas do sistema, permitindo efetuar uma busca automática para todos os dados relacionados à tela na qual a pesquisa foi solicitada, não havendo a necessidade de informar um campo específico.

O sistema também possui, como um recurso da pesquisa, uma ferramenta que fornece informações dos registros “logs” das transações efetuadas para todos os cadastros do sistema, abrangendo: inclusão, alteração e exclusão dos dados, bem como para tentativas de transações.

#### **4.2.5. SUPORTE GRÁFICO E TABELA DE VELOCIDADES OTIMIZADAS (TVO)**

Por tratar-se de um sistema de apoio operacional e à decisão, o fornecimento de gráficos torna-se uma ferramenta estratégica para a tomada de decisão, facilitando a visualização de dados de forma agrupada. E, por este motivo, o COPPISYS dispõe de um recurso que efetua a geração de um gráfico no qual são mostrados os seguintes intervalos: IME, IV e IMEV, em tempo real e com base nos dados obtidos pela otimização das velocidades corte.

Além dos intervalos, o gráfico apresenta ainda os seguintes dados: velocidades de corte plotadas sobre as curvas de tempo e custo; coeficientes da Equação de Vida de Taylor e os tempos mínimo e máximo para produção por peça. O sistema possui ainda uma ferramenta tabular, denominada Tabela de Velocidades Otimizadas (TVO), a qual contém os dados dos parâmetros do processo, valor das velocidades de corte calculadas, custos e tempos.

A TVO dispõe de um recurso que fornece condições para efetuar a comparação entre pares de velocidades de corte ou cenários, facilitando a visualização dos dados lado a lado.

#### **4.2.6. UTILIZAÇÃO DE PROCESSAMENTO PARALELO - *THREADS***

No COPPISYS a utilização desta técnica permite que sejam calculadas concorrentemente: velocidades de corte; custos e tempos, além da geração do gráfico do IME e da TVO. O principal benefício desta técnica é o aumento da velocidade de execução dos cálculos, principalmente àqueles que utilizam algoritmos de regressão para o cálculo das velocidades de corte  $V_{cmxg}$  e  $V_{csu}$  e na geração do gráfico.

#### 4.2.7. MÓDULO ACADÊMICO

Um módulo para a difusão do conhecimento sobre processos de usinagem e também a sua otimização está disponível e pode ser utilizado como um simulador de otimizações para operações de torneamento, fresamento e furação. Este módulo ainda possui uma área na qual, professores e ou facilitadores, podem disponibilizar material didático de forma pública ou privada para os alunos cadastrados previamente.

#### 4.3. CARACTERÍSTICAS INOVADORAS DO SISTEMA

Mediante a inclusão de funcionalidades e do melhoramento das ferramentas existentes nos sistemas MOS e MOS 2, o COPPISYS apresenta as seguintes características:

- fornece ao usuário um panorama geral das velocidades de corte otimizadas, bem como dos cenários produtivos a que pertencem de forma panorâmica, permitindo que este faça uma análise comparativa tanto pela forma gráfica quanto por uma tabela de dados (TVO). Esta funcionalidade é a principal contribuição deste trabalho;
- possui compatibilidade com os navegadores de Internet mais utilizados e dispositivos móveis existentes no mercado, por meio de uma interface avançada, facilitando a utilização em ambiente fabril;
- apresenta uma ferramenta de busca totalmente remodelada, melhorando o processo de pesquisa de dados históricos;
- utiliza a técnica de processamento paralelo (*Threds*) para o aumento do desempenho dos cálculos realizados, principalmente na geração de gráficos e na criação da TVO;
- disponibiliza *Web Services* que permitem determinar velocidades de corte otimizadas, facilitando a troca de informações entre sistemas;

- permite que um número ilimitado de empresas possa utilizá-lo simultaneamente e, além disso, com a participação simultânea de múltiplos usuários de forma independente;
- permite seu uso mesmo com baixas velocidades de conexão com a Internet, uma vez que a transferência de dados é pequena, devido à utilização de algoritmos eficientes e processamento concorrente;
- disponibiliza um módulo específico para o ensino e difusão do conhecimento sobre processos de usinagem e também a sua otimização.

## 5. DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA

Neste capítulo é tratado o desenvolvimento do COPPISYS, detalhando-se todas as etapas percorridas para sua construção, iniciando-se com a apresentação dos resultados obtidos por meio da aplicação da pesquisa de campo.

### 5.1. RESULTADOS E DISCUSSÕES DA PESQUISA DE CAMPO

Foram contabilizadas 208 empresas que responderam ao questionário, totalizando 8,8% dos convites enviados. De acordo com a divisão em áreas de interesse e da importância dos requisitos para a utilização do COPPISYS em ambiente fabril, os dados foram classificados e tabulados, os quais são apresentados a seguir.

#### 5.1.1. ÁREA DE ATUAÇÃO

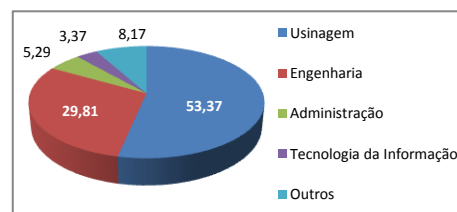
A área de atuação foi dividida em dois grupos: área de atuação e cargo e ou função desempenhada. Na Tabela 1 são apresentados os resultados obtidos para as áreas de atuação do respondente dentro da empresa, dentre as quais a usinagem destaca-se com 53,37%, apontando capacidade para utilização do sistema.

TABELA 1 — ÁREAS DE ATUAÇÃO.

Área de Atuação	%
Usinagem	53,37
Engenharia	29,81
Administração	5,29
Tecnologia da Informação	3,37
Outros	8,17

FONTE: O AUTOR.

FIGURA 15 — GRÁFICO DA TABELA 1.



FONTE: O AUTOR.

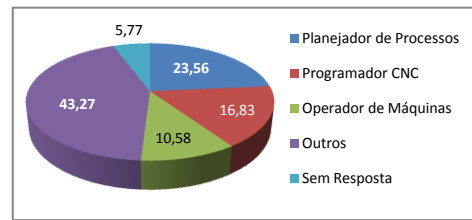
Na Tabela 2 são apresentados os resultados para os cargos informados na pesquisa. Os cargos diretamente envolvidos com o processo de produção somam 50,97%. Este número indica que há uma quantidade expressiva de colaboradores potenciais usuários do sistema.

TABELA 2 — CARGOS E OU FUNÇÕES.

Área de Atuação	%
Planejador de Processos	23,56
Programador CNC	16,83
Operador de Máquinas	10,58
Outros	43,27
Sem Resposta	5,77

FONTE: O AUTOR.

FIGURA 16 — GRÁFICO DA TABELA 2.



FONTE: O AUTOR.

### 5.1.2. RECURSOS MATERIAIS

Com relação aos recursos materiais (Tabela 3), os números apontam que um percentual expressivo das empresas consultadas possui equipamentos CNC conectados a computadores e, desta forma, o COPPISYS pode ser acessado em ambiente fabril. Outro dado relevante é que 53,24% dos equipamentos informados são programados por meio de conexão com a rede de dados local (LAN - *Local Area Network*), indicando a utilização dos recursos disponíveis nos equipamentos.

TABELA 3 — RECURSOS MATERIAIS.

Recursos Materiais	%
Máquinas CNC no ambiente fabril com conexões a computadores	37,02
Forma de introdução de programação: Ethernet LAN	19,71
Outros	43,27

FONTE: O AUTOR.

### 5.1.3. RECURSOS COMPUTACIONAIS

Para as respostas relacionadas aos recursos computacionais e de conectividade, os dados apresentados na Tabela 4 revelam que as empresas possuem os requisitos necessários para utilizar o COPPISYS no ambiente fabril, principalmente com relação à velocidade para transferência de dados e a presença de acesso à rede no chão de fábrica.

O valor estimado como referência para transferência de dados pelo COPPISYS foi de 56 Kb/s para execução de forma plena. E, de acordo com estudo realizado pela empresa *The Nielsen Company* (2011), a velocidade média de transferência de dados oferecida no Brasil está entre 512 Kb/s e 2 Mb/s,



portanto, a velocidade de transferência necessária para o COPPISYS, utilizando a Internet, representa apenas 10,93% da velocidade mínima oferecida.

*TABELA 4 — RECURSOS COMPUTACIONAIS – CONECTIVIDADE.*

<b>Recursos Computacionais</b>	<b>%</b>
Conexão de alta velocidade com a Internet	49,52
Outros tipos de conexão	50,48
Compartilhamento da Internet	37,02
Conexão interna da rede (LAN)	99,04
Conexão de rede em ambiente fabril	88,46

*Fonte: O Autor.*

#### **5.1.4. UTILIZAÇÃO DO SISTEMA NA EMPRESA**

Quando se trata da aquisição de sistemas de informação, existem políticas empresariais para a instalação e utilização de novos sistemas, as quais variam em cada caso. Entre tais políticas pode-se citar: custos de aquisição e manutenção; segurança da informação; retorno de investimento; benefícios; entre outros.

Apesar da existência de tais restrições, o número de respostas indicou haver interesse por parte das empresas em utilizar o sistema, uma vez que, mesmo não havendo total autonomia dos respondentes para adoção do sistema, o número de respostas negativas à sua utilização é foi pequeno. Na Tabela 5 são apresentados os indicativos de interesse.

*TABELA 5 — INTERESSE NA UTILIZAÇÃO DO COPPISYS.*

<b>Condição de Uso</b>	<b>%</b>
Resultados obtidos em testes	29,33
Investimento	8,65
Fora da alçada de decisão com poder de recomendação	12,98
Não utilizaria	0,96
Sem resposta	48,08

*Fonte: O Autor.*

#### **5.1.5. RESULTADO FINAL DA PESQUISA DE CAMPO**

Como era esperado, o percentual de respondentes sempre resulta pequeno, principalmente quando a pesquisa não é realizada corpo a corpo, entretanto,

este percentual foi suficiente para informar que existe um número de empresas satisfatoriamente grande que possui conexão com a Internet e infraestrutura de rede em ambiente fabril, além de explorarem o potencial oferecido pelos equipamentos em termos de conexão. Estes aspectos são de fundamental importância para a utilização do COPPISYS de forma plena.

As empresas respondentes demonstraram ainda um eventual interesse em utilizar o sistema, considerando os aspectos restritivos quanto às políticas empresariais para aquisição e utilização de novos sistemas de informação, além dos resultados obtidos em testes no que tange a benefícios, custo, estabilidade e segurança.

## **5.2. TECNOLOGIA EMPREGADA**

Para o desenvolvimento do COPPISYS foi adotada a plataforma *Web*, a mesma utilizada nos sistemas MOS e MOS 2, uma vez que o uso desta plataforma é uma tendência crescente encontrada na literatura, como nos trabalhos de (ABDUL KADIR *et al.*, 2011, BAPTISTA; COPPINI, 2007, GRIVOL, 2007; HANWU; YUEMING, 2009, MONTOYA, 2010, ZHENG *et al.*, 2008).

A opção por manter a mesma plataforma se deu pelo fato de que esta oferece um ambiente que pode ser facilmente acessado utilizando um navegador *Web* tanto em computadores e dispositivos móveis, como em outros equipamentos que forneçam suporte a esta tecnologia, necessitando apenas de uma conexão com a Internet ou com a rede local na qual o sistema proposto se encontrar instalado.

A utilização da plataforma *Web* ainda apresenta outras características como: flexibilidade; agilidade de implantação e manutenção, propiciando uma redução de custos com infraestrutura de Tecnologia da Informação (TI), além da familiarização com seus conceitos, os quais se encontram bastante difundidos (CABRITA; GODOY JÚNIOR, 2012), tornando sua utilização simples e sem a necessidade de treinamentos específicos.

Visando a qualidade no desenvolvimento do COPPISYS, a norma ISO/IEC 12.207 e a metodologia XP, ambas abordadas no item 2.5, foram aplicadas na

modelagem do sistema. Os objetivos em utilizar normas e metodologias de desenvolvimento foram os de minimizar erros em sua construção, facilitar a inclusão de futuras ferramentas e reduzir esforços de manutenção, propiciando economia de custos e tempo.

O COPPISYS foi codificado sob o paradigma da POO por meio da utilização da linguagem PHP 5.3, pois esta apresenta vantagens por ser um *software* livre, possuir sintaxe simples, velocidade de processamento, segurança e estabilidade, além de ser compatível com o paradigma da POO (MERCER, *et al.*, 2004). A biblioteca *jQuery* foi utilizada para a aplicação de códigos *Javascript*, os quais interagem com as páginas HTML e elementos CSS na atribuição e controle de eventos, efeitos de apresentação, alteração ou criação de elementos dinâmicos e na consistência de dados por meio do uso de máscaras.

### **5.3. SELEÇÃO E MODELAGEM DO BANCO DE DADOS**

De acordo com a pesquisa realizada, a utilização de um sistema de apoio à decisão e operacional na indústria de fabricação por usinagem demanda alta disponibilidade, confiabilidade e agilidade no acesso as informações, pois a necessidade de uma tomada de decisão pode ocorrer a qualquer tempo.

Mediante tais características, é necessário utilizar um sistema de banco de dados que ofereça suporte para um grande fluxo de dados armazenados e solicitação de acessos, além de considerar um fator de extrema importância que é a segurança da informação, pois esta deve manter os dados íntegros, disponíveis e seguros (OLIVEIRA, *et al.*, 2008).

Estão disponíveis no mercado diversos SGBDs, cada qual com suas particularidades. Entretanto, a fim de atender as necessidades observadas, o *software* livre MySQL 5.1 foi adotado, uma vez que atendeu aos requisitos em relação a necessidade de armazenamento para o COPPISYS, além de ser totalmente compatível com o PHP e apresentar como principais características a estabilidade, confiabilidade, portabilidade e alto desempenho (BATISTA; MANOCHIO, 2009).

### 5.3.1. MODELAGEM DAS ENTIDADES

Em um sistema de informação os dados geralmente são armazenados em bancos de dados, pois suas agregações dão origem às informações (mencionado no item 2.2). Desta forma, os dados são a parte mais importante de um sistema, ou seja, é a matéria prima que será manipulada pelo sistema.

Diante de tal importância, o armazenamento e a recuperação de tais dados deve ocorrer de forma correta e consistente, e, para que sejam atendidos tais requisitos, é necessário que haja uma modelagem da estrutura para armazenamento dos dados.

A modelagem consiste em organizar, de forma lógica e estruturada, como um determinado dado ou conjunto de dados devem ser armazenados no banco de dados, impedindo que ocorram duplicações, inconsistências e lentidão na sua recuperação.

No universo de banco de dados, algumas terminologias técnicas são usadas com frequência, entretanto, neste trabalho apenas as definições de entidade e relacionamento são abordadas, de modo a facilitar o entendimento da modelagem do COPPISYS.

Entidades ou tabelas são os dispositivos físicos que armazenam os registros (conjunto de dados) em um banco de dados. Já os relacionamentos são as ligações ou associações entre entidades distintas que, relacionadas, fornecem um novo conjunto de dados.

No Quadro 2 são apresentadas as 19 entidades, em ordem alfabética, que foram modeladas de acordo com análise dos sistemas e que compõe o banco de dados do COPPISYS.

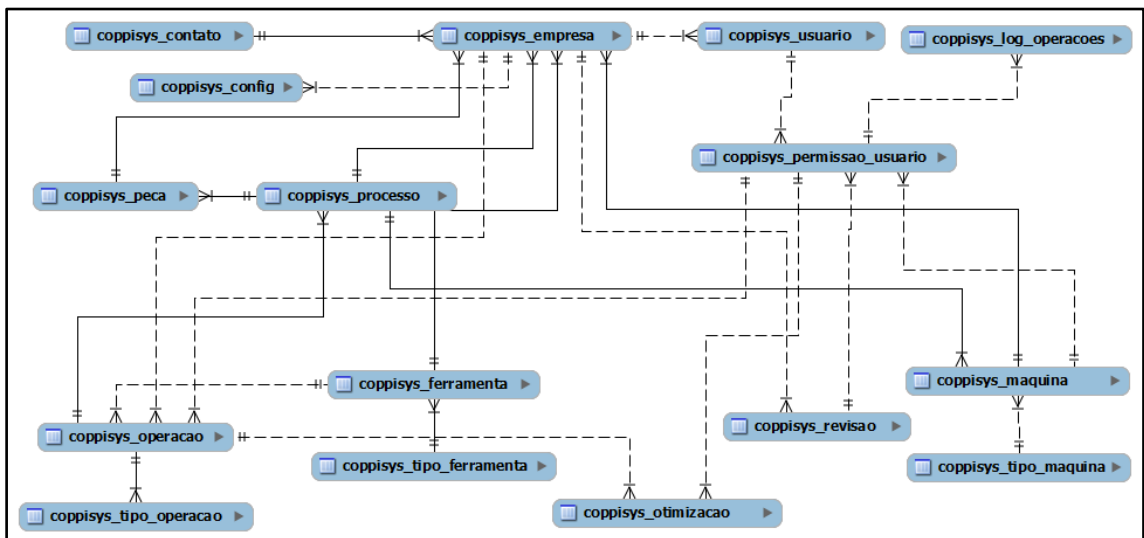
Para modelagem do banco de dados do COPPISYS, foi utilizada a ferramenta MySQL Workbench 5.2 que é uma ferramenta visual para criação e administração de bancos de dados MySQL, facilitando a manipulação de entidades e de relacionamentos (LÓPEZ, 2009). Na Figura 17 é apresentado, de forma resumida, o Diagrama Entidade-Relacionamento do banco de dados do COPPISYS.

QUADRO 2 — LISTA DAS ENTIDADES DO BANCO DE DADOS DO COPPISYS.

Entidade	Descrição
coppisys_artigos	Dados sobre os artigos disponíveis para consulta <i>on-line</i> .
coppisys_config	Dados sobre as configurações de idioma, cores, etc.
coppisys_contato	Dados sobre o contato registrado para a empresa.
coppisys_empresa	Dados cadastrais da empresa.
coppisys_ferramenta	Dados sobre as ferramentas cadastradas.
coppisys_log_artigos	Dados de acesso e download aos artigos do site.
coppisys_log_operacoes	Dados referentes ao registro das operações do sistema.
coppisys_maquina	Dados sobre as máquinas cadastradas.
coppisys_materiais	Dados sobre os materiais de confecção das peças.
coppisys_operacao	Dados sobre a operação (torneamento, fresamento e furação).
coppisys_otimizacao	Dados sobre as otimizações realizadas ou em espera.
coppisys_peca	Dados sobre a peça a ser fabricada.
coppisys_permissao	Dados referentes às permissões dos usuários.
coppisys_processo	Dados referentes aos processos cadastrados.
coppisys_revisao	Dados referentes às alterações efetuadas nos cadastros.
coppisys_tipo_maquina	Dados referentes às máquinas cadastradas.
coppisys_tipo_operacao	Dados sobre os tipos de operação a serem realizadas.
coppisys_usuario	Dados cadastrais dos usuários.

FONTE: O AUTOR.

FIGURA 17 — DIAGRAMA RESUMIDO: ENTIDADE-RELACIONAMENTO DO COPPISYS.

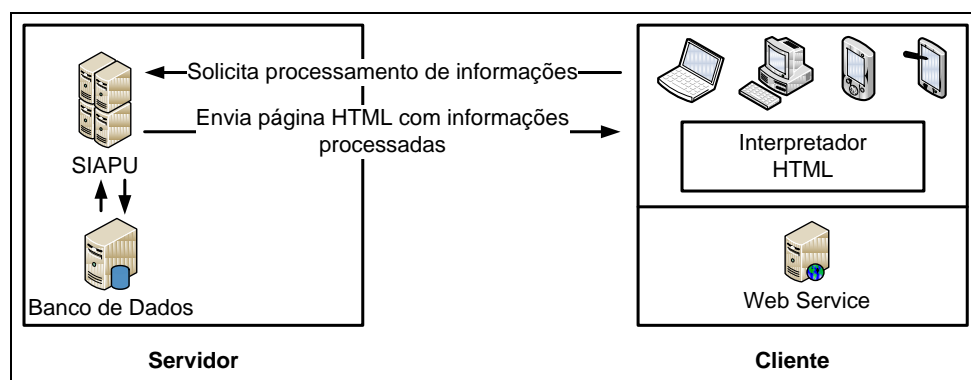


FONTE: O AUTOR.

O banco de dados do COPPISYS está disponível em um servidor *Web* dedicado e pode ser acessado de via Internet. Entretanto, o acesso não pode ocorrer de forma direta, ou seja, apenas via sistema os dados estão disponíveis. O principal motivo desta restrição é manter a segurança e a integridade dos dados armazenados.

Apesar de ser tratada neste trabalho apenas a utilização do sistema via Internet, o mesmo também pode ser instalado e acessado em uma rede local LAN, entretanto o modo de acesso aos dados ocorre da mesma forma. Na Figura 18 é apresentado o diagrama de funcionamento da conexão entre o COPPISYS e o banco de dados.

FIGURA 18 — DIAGRAMA DA CONEXÃO ENTRE O COPPISYS E O BANCO DE DADOS.



FONTE: O AUTOR

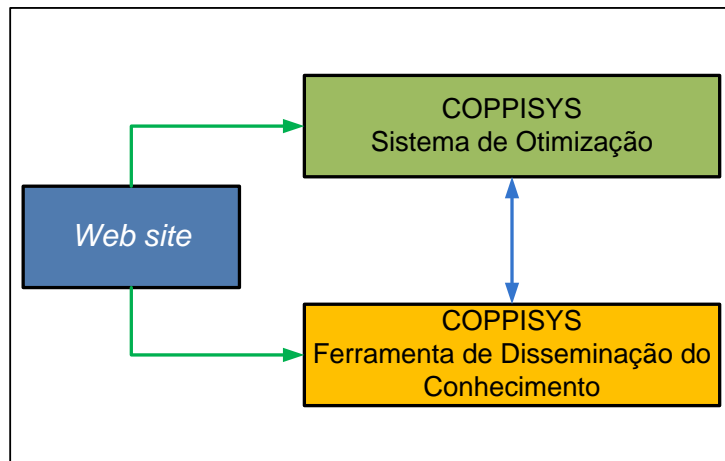
#### 5.4. ORGANIZAÇÃO DO SISTEMA

Com base nas informações obtidas por meio do estudo dos sistemas, discutido no Capítulo 4, do levantamento bibliográfico e da orientação dos engenheiros do conhecimento, o COPPISYS foi dividido em três partes: *Web Site*; sistema de otimização e ferramenta para disseminação do conhecimento em usinagem (Figura 19). Tal divisão teve como objetivo tratar separadamente cada aplicação, entretanto compartilhando do mesmo ambiente e funcionalidades.

O *Web Site*, que pode ser definido como um conjunto de páginas acessíveis por meio do protocolo HTTP é responsável por apresentar informações sobre: o objetivo do COPPISYS para os visitantes, no qual estão presentes alguns referenciais teóricos publicados; demonstração de utilização do sistema por

meio de apresentação em vídeo; formulário de contato com o desenvolvedor; sistema de acesso; área de cadastro para empresas, profissionais liberais, professores e/ou pesquisadores e estudantes.

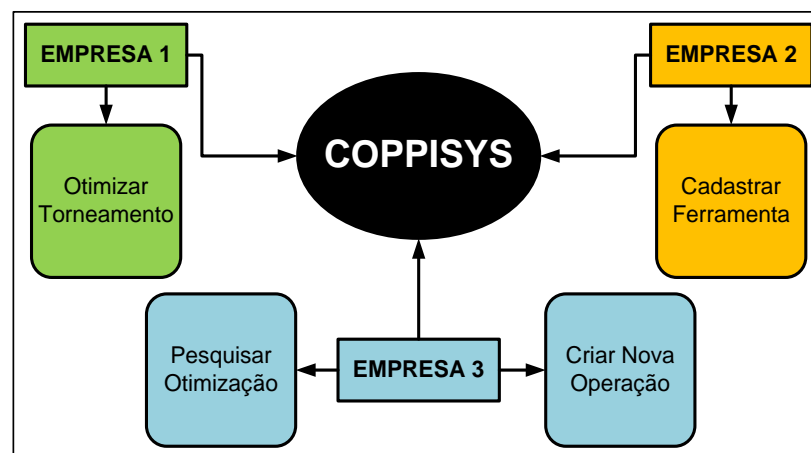
FIGURA 19 — ESTRUTURA GERAL DO COPPISYS.



FONTE: O AUTOR.

A estrutura de acesso (Figura 20) foi elaborada de forma que ilimitadas empresas possam utilizá-lo ao mesmo tempo e com múltiplos usuários de forma independente. Desta forma, ao efetuar o cadastro e aceitar os termos contratuais, a empresa pode administrar o sistema configurando-o, inserindo informações e otimizando operações sem a intervenção de um administrador externo, assumindo automaticamente o contato informado no formulário de cadastro como administrador do sistema para a empresa.

FIGURA 20 — ESTRUTURA COM MÚLTIPLOS ACESSOS E OPERAÇÕES INDEPENDENTES.



FONTE: O AUTOR.

## 5.5. CONSTRUÇÃO DA INTERFACE

O primeiro contato de um usuário com qualquer sistema se dá por meio de uma interface. Por este motivo, para que o mesmo tenha uma boa aceitação, a interface deve oferecer uma navegação intuitiva, facilidade de uso, rápido reconhecimento de funções e que transmita seriedade.

Seguindo estes conceitos, a interface do COPPISYS foi diagramada de modo a fornecer tais elementos, fazendo uso de padrões de navegação funcionais (BENEVENUTO *et al.*, 2011) e com base nos padrões de usabilidade, descritos no item 2.6.

Os padrões estéticos das telas também seguem o conceito da *Web 2.0* que, de acordo com O'Reilly Media (2004), é a mudança da Internet como plataforma de modo a não mais ocorrerem a existência de elementos estáticos, mas existindo uma interação do usuário provocando efeitos. Em outras palavras, *Web 2.0* é o aumento da interatividade na Internet, fornecendo ao usuário, a possibilidade de personalizar a sua maneira de acessar as informações.

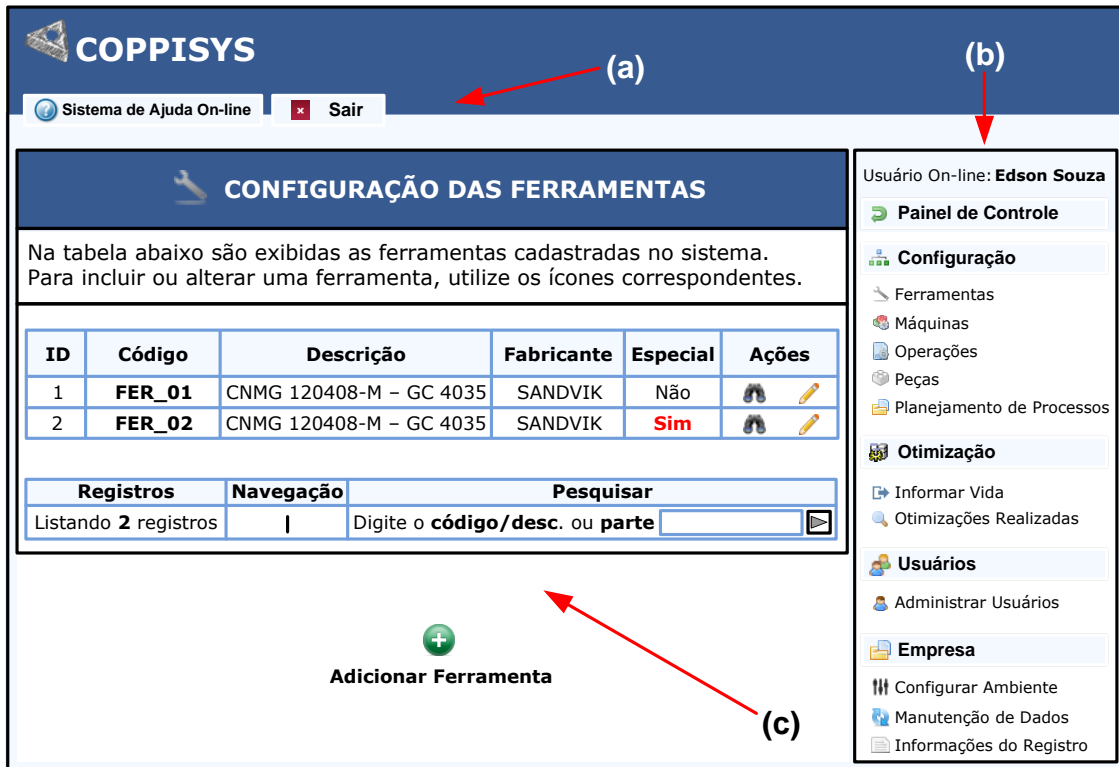
Apesar de o COPPISYS aceitar múltiplos idiomas, todas as telas e descrições apresentadas neste trabalho estão escritas em Língua Portuguesa.

Todas as áreas da interface do sistema são fixas em relação à disposição na tela, embora a área de informações sofra crescimento vertical (rolagem de tela) dependendo da quantidade de informações a ser apresentada. De acordo com as normas de usabilidade, o ideal é que não ocorra a rolagem da tela, a fim de facilitar a visualização da informação de forma completa. Entretanto, algumas telas do COPPISYS utilizam-se deste recurso para que a informação não seja fragmentada, principalmente nas telas que apresentam gráficos e formulários.

A estrutura da interface do COPPISYS (Figura 21) foi dividida em três áreas funcionais: menu superior (a); menu lateral (b) e área de informações (c). Para o *Web Site*, a área do menu lateral (b) é substituída pela apresentação de imagens aleatórias durante a navegação, além das opções de seleção dos idiomas disponíveis (d) e de cores para navegação (e), conforme mostra a Figura 22.



FIGURA 21 — INTERFACE DO COPPISYS COM A DIVISÃO DAS ÁREAS DE NAVEGAÇÃO.



FONTE: O AUTOR.

FIGURA 22 — INTERFACE DO WEB SITE.



FONTE: O AUTOR.

Ainda abordando o conceito de usabilidade, a interface do COPPISYS utiliza um sistema de cores dividido em cinco paletas: azul; vermelha; verde; mista e uma paleta marrom de alto-contraste para usuários com deficiência visual, variando apenas a tonalidade dentro de cada uma delas. A paleta de cores pode ser selecionada nas configurações do sistema, abordado no item 5.8.1.

A tipologia utilizada para apresentação dos textos segue o esquema de fontes padrão dos navegadores tanto na família de tipos “Verdana, Arial, Helvetica”, quanto no tamanho do corpo “12px”, além de manter o contraste de acordo com a paleta selecionada.

Todas as telas possuem ajuda imediata interativa no formato de dicas rápidas ao acessar algum objeto na tela – caixa de texto, seleção, etc., além de ícones representando cada funcionalidade. A Figura 23 mostra os ícones distribuídos na tela e a exibição da ajuda interativa para um campo selecionado, em destaque.

FIGURA 23 — ÍCONES E AJUDA INTERATIVA EM FUNCIONAMENTO.

Este módulo é destinado a criação e alteração de operações. Após efetuar a configuração ou alteração, clique em **Otimizar Operação** da linha correspondente para dar início a uma nova otimização e...

O COPPISYS permite que uma mesma operação possua diversas otimizações com parâmetros recomendados que, para cada alteração de parâmetros, seja criada uma nova operação. Desta forma, a operação registrada e não necessitará ser alterada posteriormente, facilitando o acesso com mais rapidez.

ID	Cód. Operação	Ferramenta	Tipo	Operação	Ações
1	OP_01	FER_01	TORNEAMENTO	DESBASTE	Otimizar Operação
2	OP_02	FER_01	TORNEAMENTO	DESBASTE	Otimizar Operação
3	OP_03	FER_01	TORNEAMENTO	DESBASTE	Otimizar Operação
4	OP_04	FER_01	TORNEAMENTO	DESBASTE	Otimizar Operação

Registros: Listando 4 registros

Navegação: |

Pesquisar: Digite o código/desc. ou parte:

**Alterar Dados da Operação**

**Informações Sobre a Operação**

Código da Operação : OP\_01

Descrição :

Processo Vinculado :

**DESCRIÇÃO**

Utilize esse campo para descrever esta operação. Detalhes específicos podem ajudar posteriormente no sistema de busca.

Peças

Planejamento de Processos

**Otimização**

Informar Vida

Otimizações Realizadas

**Usuários**

Administrar

**Empresa**

Configurar Ambiente

Manutenção de Dados

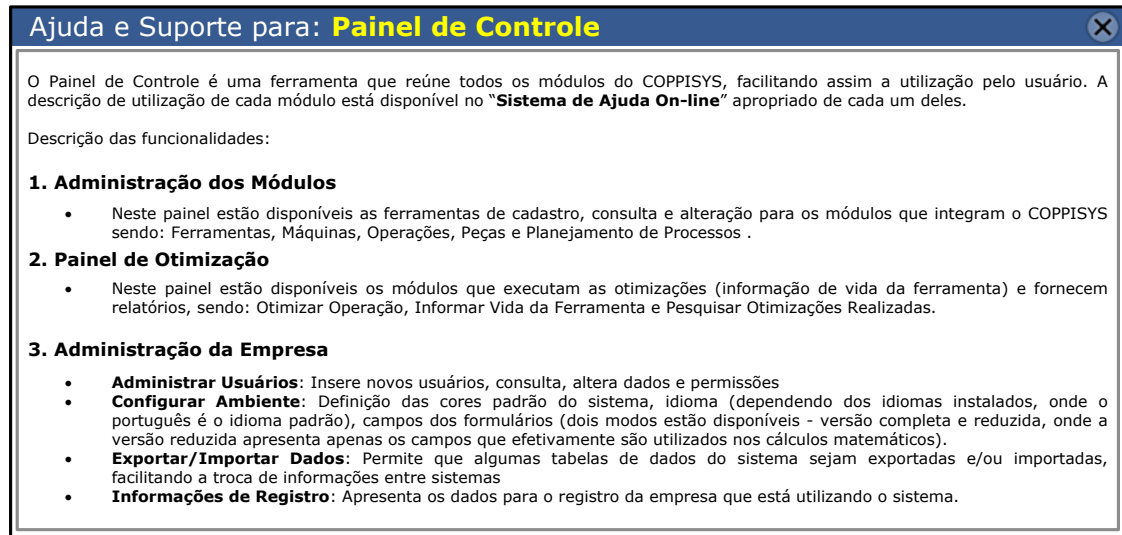
Info. Registro

FONTE: O AUTOR.

Além da ajuda interativa contextualizada, foi incluído no COPPISYS um sistema de ajuda *on-line* com o objetivo de explicar, em detalhes, a funcionalidade de uma ferramenta ou tela acessada. Este recurso pode ser acessado através do

menu superior em todas as telas do sistema. Na Figura 24 é apresentada a interface da ajuda *on-line*.

FIGURA 24 — TELA DA AJUDA ON-LINE.



FORTE: O AUTOR.

No ANEXO A são apresentadas algumas telas do COPPISYS em comparação ao sistema MOS 2, mostrando a evolução da interface e da estrutura geral.

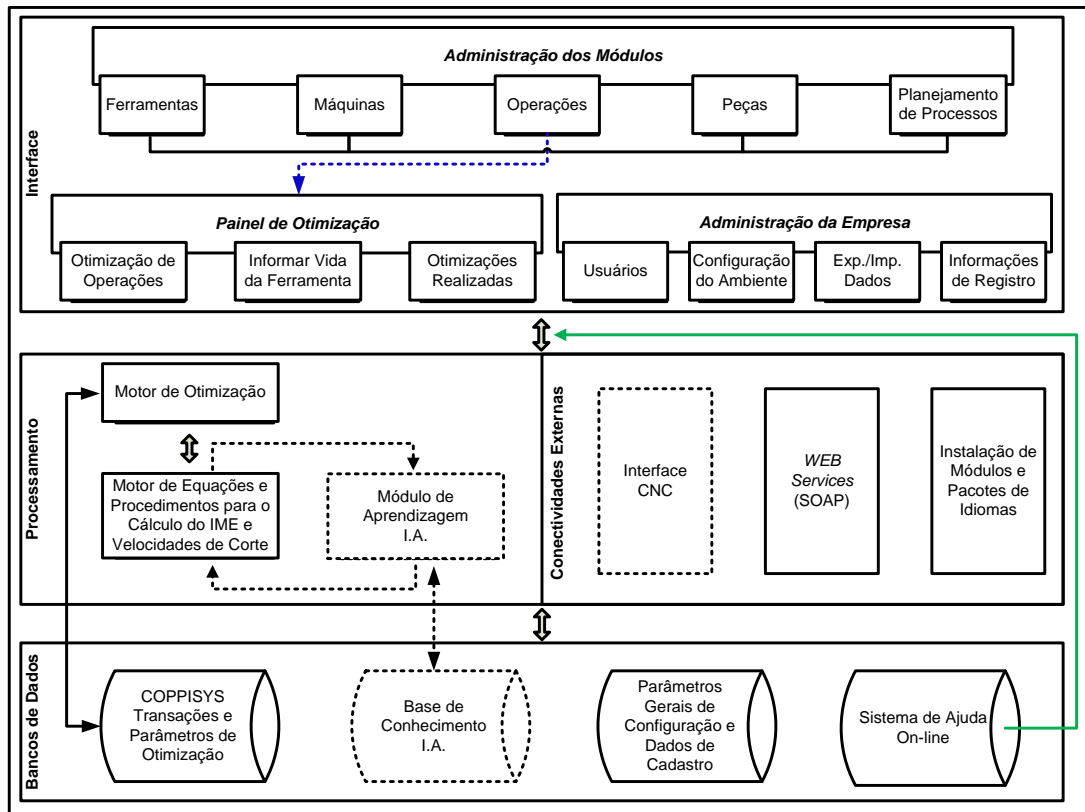
## 5.6. ESTRUTURA DO SISTEMA

O COPPISYS foi construído utilizando-se módulos, os quais estão distribuídos em camadas, as quais exercem funções específicas dentro do sistema e encontram-se divididas em três níveis: interface; processamento; banco de dados.

Nas camadas de processamento e banco de dados, as funções relacionadas à Inteligência Artificial (IA) - Módulo de Aprendizagem, Interface CNC e Base de Conhecimento IA não estão disponíveis nesta versão do sistema, portanto, não são abordadas neste trabalho.

Na Figura 25 é mostrado o diagrama da estrutura interna do COPPISYS.

FIGURA 25 — DIAGRAMA DA ESTRUTURA INTERNA DO COPPISYS.



FONTE: O AUTOR.

### 5.6.1. CAMADA DA INTERFACE

A camada da interface é responsável pela interação entre o usuário e o COPPISYS, apresentando informações na tela e fornecendo acesso aos recursos disponíveis no sistema. Nesta camada estão presentes os recursos disponibilizados pela biblioteca *jQuery* para validação de dados do lado do cliente e máscaras de preenchimento, apresentação dos sistemas de ajuda e manipulação dos elementos HTML para formatação.

Sua manipulação é feita por módulos exclusivos que efetuam a recuperação e o tratamento das informações, interagindo com as demais camadas do sistema, as quais serão apresentadas a seguir.

### 5.6.2. CAMADA DE PROCESSAMENTO

A camada de processamento é o núcleo do sistema, na medida em que todos os cálculos são realizados nela. Esta camada está dividida em:

- motor de otimização: responsável por realizar todos os cálculos e decisões para que a otimização seja realizada. Este módulo realiza suas tarefas com base no Motor de Equações;
- motor de equações: responsável pelo fornecimento das equações que serão utilizadas pelo Motor de Otimização na otimização de uma operação. Este módulo está preparado para receber novas equações futuramente sem a necessidade de alterações no código do motor de otimizações;
- conectividades externas: responsável pelo fornecimento de *Web Services* para troca de informações entre aplicações, podendo ser utilizado para efetuar otimizações de forma remota sem que haja a necessidade de usar a interface do sistema;
- pacotes de idiomas: fornece conexão via texto no formato HTML para instalação de pacotes de idiomas sem que haja a necessidade de adaptação do código fonte ou algum tipo de alteração na estrutura do sistema.

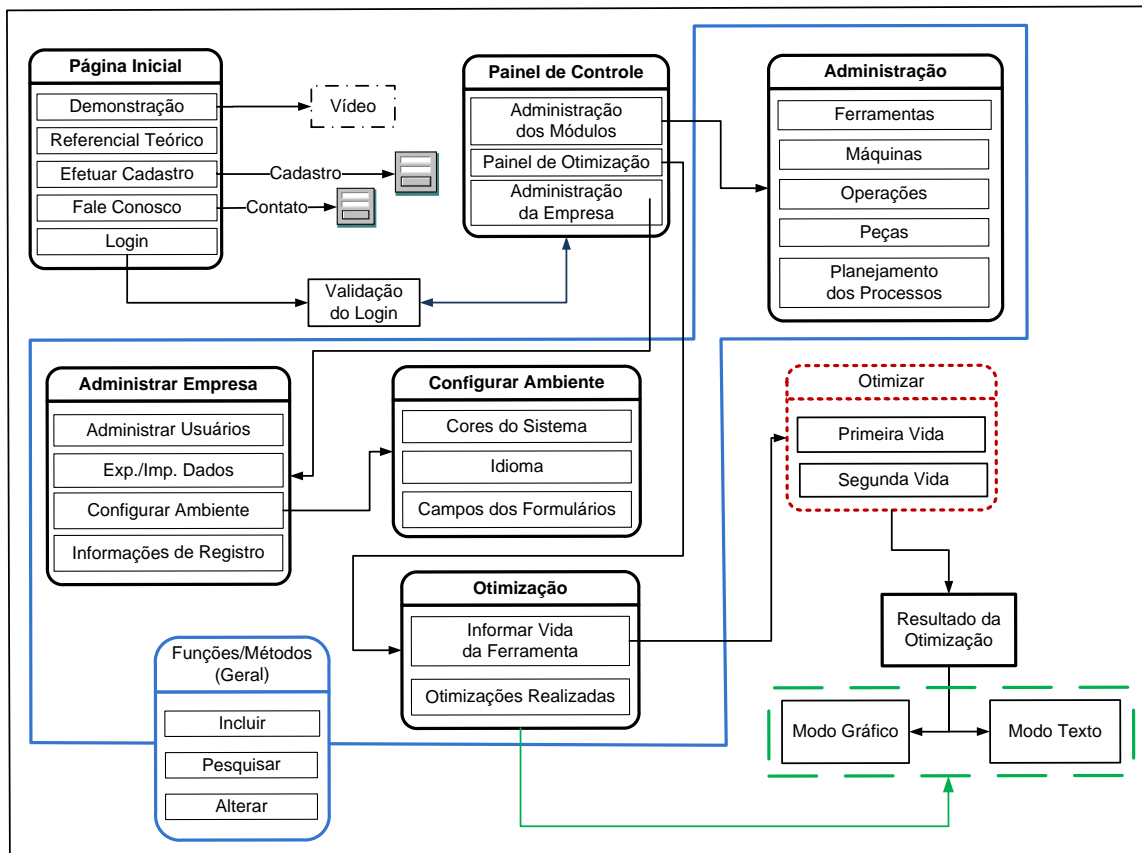
### 5.6.3. CAMADA DE BANCO DE DADOS

Esta camada é responsável pelo armazenamento dos dados cadastrais (máquinas, ferramentas, processos, operações, etc.), parâmetros de otimização, transações e sistema de ajuda *on-line*. Por medida de segurança, esta camada não pode ser acessada diretamente por um usuário ou por outro sistema, ou seja, apenas o COPPISYS, inclusive os *Web Services* disponíveis, podem acessar e manipular os dados armazenados.

### 5.7. DIAGRAMA DE NAVEGAÇÃO

A estrutura de navegação do COPPISYS foi desenvolvida a fim de proporcionar um acesso rápido e fácil para o usuário, considerando uma pequena sequência de passos para a realização de uma tarefa de otimização, conforme mostra a Figura 26.

FIGURA 26 — DIAGRAMA DE NAVEGAÇÃO DO COPPISYS.



FONTE: O AUTOR.

## 5.8. UTILIZAÇÃO DO SISTEMA

Para que o COPPISYS possa ser utilizado tanto como ferramenta de apoio à decisão e operacional para a otimização dos parâmetros de corte em usinagem, quanto como ferramenta educacional para aprendizagem em usinagem, é necessário que o cadastro, disponível na página principal do *Web Site*, seja preenchido, submetido e o acesso autorizado pelo desenvolvedor.

No momento do cadastro é solicitado que seja informado um contato, o qual será designado automaticamente como administrador do sistema, podendo este ser substituído posteriormente. Após autorização, um *e-mail* é enviado para o administrador da empresa com as informações de acesso: *login* e senha. Para acessar o sistema pela primeira vez, o usuário “administrador” deve informar os dados recebidos por *e-mail* na opção “Login”, localizada no menu da página principal do *Web Site* do COPPISYS. Após efetuar o *login*, o usuário é

direcionado para o Painel de Controle, no qual estão contidas informações sobre: número de acessos ao sistema; nome do usuário conectado; número de otimizações realizadas e otimizações em andamento, conforme mostra a Figura 27.

FIGURA 27 — PAINEL DE CONTROLE DO COPPISYS.



FONTE: O AUTOR.

O COPPISYS possui, em sua configuração padrão, níveis hierárquicos de acesso variando do maior para o menor na seguinte ordem: administrador, gerência, planejador de processos, programador de processos e operador, de modo que cada nível pode ser configurado com permissões diferenciadas, entretanto, por padrão, os níveis mais altos sempre herdam as permissões dos níveis inferiores.

O sistema possui ainda uma ferramenta de pesquisa em todos os módulos para facilitar a localização de registros, os quais podem ser pesquisados utilizando uma informação completa ou apenas um fragmento da mesma. O resultado da pesquisa, caso encontre ocorrências, apresenta apenas 10 resultados por vez na tela com o objetivo de manter a interface limpa e com fácil navegabilidade, conforme mostrado na Figura 28.



FIGURA 28 — RESULTADO DE UMA PESQUISA.

Cod. Otimização	Cod. Operação	Cod. Processo	Peça	Máquina	Ferramenta	Data	Hora	Status
OT_131	OP_01	VF_PRT_01	PECA_01	VF_MAT_01	VF_FET_001	21/08/2012	15:34:59	Visualizar Resultados
OT_129	OP_01	VF_PRT_01	PECA_01	VF_MAT_01	VF_FET_001	09/08/2012	15:34:29	Visualizar Resultados
OT_128	OP_02	VF_PRT_02	PECA_02	VF_MAT_01	VF_FET_002	04/07/2012	16:58:25	Visualizar Resultados
OT_126	OP_02	VF_PRT_02	PECA_02	VF_MAT_01	VF_FET_002	03/07/2012	21:49:28	Visualizar Resultados
OT_99	OP_02	VF_PRT_02	PECA_02	VF_MAT_01	VF_FET_00	27/06/2012	18:43:52	Visualizar Resultados

Registros	Navegação	Pesquisar
Listando 5 registros		Digite o <b>cód.</b> da otimização/operação: <input type="text" value="OP_02"/>

**Resultado**

Cod. Otimização	Cod. Operação	Cod. Processo	Peça	Máquina	Ferramenta	Data	Hora	Status
OT_128	OP_02	VF_PRT_02	PECA_02	VF_MAT_01	VF_FET_002	04/07/2012	16:58:25	Visualizar Resultados
OT_126	OP_02	VF_PRT_02	PECA_02	VF_MAT_01	VF_FET_002	03/07/2012	21:49:28	Visualizar Resultados
OT_99	OP_02	VF_PRT_02	PECA_02	VF_MAT_01	VF_FET_00	27/06/2012	18:43:52	Visualizar Resultados

Registros	Navegação	Pesquisar
Listando 3 registros		Digite o <b>cód.</b> da otimização/operação: <input type="text"/>

FONTE: O AUTOR:

### 5.8.1. PAINEL DE ADMINISTRAÇÃO DOS MÓDULOS

Para que o COPPISYS possa desempenhar suas funções de otimização é necessário que o cadastro de ferramentas, máquinas, peças, planejamento do processo e operações (Figura 27) seja efetuado antes de dar início a qualquer processo de otimização.

Além da inclusão de dados estão disponíveis, em cada módulo deste painel, as opções de alteração e consulta. Todos os módulos possuem mecanismos internos para evitar a duplicidade da entrada de dados, além da validação prévia dos mesmos antes de serem gravados no banco de dados. A seguir são apresentados os módulos que compõe este painel:

- ferramentas – responsável pelo cadastro das ferramentas a serem utilizadas nas operações de torneamento, fresamento e furação;



- ❑ máquinas – responsável pelo cadastro das máquinas na qual as operações serão efetuadas;
- ❑ operações – este é o módulo principal deste painel, no qual é possível realizar o cadastro de informações sobre o processo, ferramenta, tipo de operação e demais dados que serão utilizados em sua otimização;
- ❑ peças – responsável pelo cadastro das peças a serem usinadas em ambiente fabril;
- ❑ planejamento de processos – este módulo reúne as informações relativas à determinada peça, máquina e dos dados que serão utilizados na otimização dos processos.

#### **5.8.2. PAINEL DE ADMINISTRAÇÃO DA EMPRESA**

O painel de administração da empresa pode ser acessado pelo administrador do sistema ou por um usuário que tenha sido delegado e que possua as permissões necessárias para efetuar alterações no ambiente. Nele estão presentes as seguintes ferramentas:

- ❑ administrar usuários - ferramenta que permite incluir, alterar, consultar e bloquear um usuário, além de atribuir ou revogar permissões;
- ❑ configurar ambiente:
  - cores padrão – fornece cinco opções de configuração da cor das telas do sistema: azul, vermelho, verde, marrom e mista, sendo a cor marrom de alto contraste com o objetivo de oferecer uma opção aos usuários que apresentem dificuldades visuais com relação à visualização de cores;
  - idioma – apresenta as opções dos idiomas instalados, sendo que o Português é o idioma padrão e o Inglês alternativo. A instalação de novos idiomas pode ser feita pelo desenvolvedor do sistema e disponibilizada automaticamente para uso na empresa, pois o

sistema reconhece novos elementos instalados sem a necessidade de configurações adicionais;

- campos de formulários – fornece a opção de habilitar e/ou desabilitar a visualização completa dos campos dos formulários de entrada para máquinas e ferramentas, pois cada empresa pode optar ou não por trabalhar com todos os dados que não estejam diretamente envolvidos com os processos de otimização.
- importação/exportação de dados – permite importar ou exportar dados no padrão XML para troca de informações com outros sistemas;
- informações de registro – permite a visualização dos dados acerca da empresa como: chave de acesso (*Token*); data de instalação; CNPJ; endereço; entre outros.

### **5.8.3. PAINEL DE OTIMIZAÇÃO**

O Painel de otimização é a parte do COPPISYS no qual se encontram as opções para a inclusão dos dados de usinagem coletados em ambiente fabril, além do sistema de pesquisa que apresenta o resultado das otimizações já finalizadas.

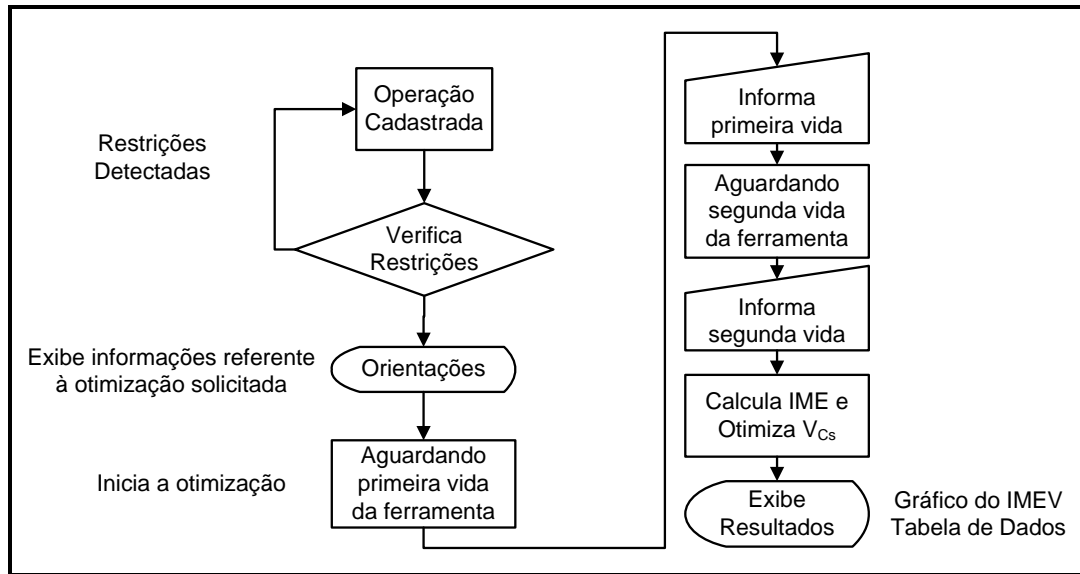
#### **5.8.3.1. OTIMIZAR OPERAÇÃO**

O processo de otimização de uma operação é realizado em cinco etapas:

1. cadastro das informações referente às máquinas, ferramentas, processos e da operação;
2. início da otimização com verificação sobre restrições;
3. informação sobre a primeira vida da ferramenta;
4. informação sobre a segunda vida da ferramenta;
5. determinação do IME e otimização das velocidades de corte.

Na Figura 29 é mostrado o diagrama de estado para uma otimização.

FIGURA 29 — DIAGRAMA DE ESTADO DA OTIMIZAÇÃO.



FONTE: O AUTOR

A otimização de uma operação é iniciada, de acordo com a Figura 29, quando a operação solicitada está cadastrada. Na Figura 30 é apresentada a tela de “Configuração das Operações”, na qual a opção “Otimizar Operação” encontra-se disponível para cada operação cadastrada.

FIGURA 30 — CONFIGURAÇÃO DAS OPERAÇÕES.

### CONFIGURAÇÃO DAS OPERAÇÕES

Este módulo é destinado a criação e alteração de operações. Após efetuar a configuração ou alteração de uma operação, clique em **Otimizar Operação** da linha correspondente para dar início a uma nova otimização e siga as instruções.

O COPPISYS permite que uma mesma operação possua diversas otimizações com parâmetros diferentes, entretanto, é recomendado que, para cada alteração de parâmetros, seja criada uma nova operação. Desta forma, a operação ficará registrada e não necessitará ser alterada posteriormente, facilitando o acesso com mais rapidez.

ID	Cód. Operação	Ferramenta	Tipo	Operação		Ações
1	OP_01	FER_01	TORNEAMENTO	DESBASTE		Otimizar Operação
2	OP_02	FER_01	TORNEAMENTO	DESBASTE		Otimizar Operação
3	OP_03	FER_01	TORNEAMENTO	DESBASTE		Otimizar Operação
4	OP_04	FER_01	TORNEAMENTO	DESBASTE		Otimizar Operação

<b>Registros</b>	<b>Navegação</b>	<b>Pesquisar</b>
Listando 4 registros		Digite o código/desc. ou parte: <input style="width: 80%;" type="text" value=""/> <span style="float: right;">▶</span>

FONTE: O AUTOR.

Ao selecionar a opção de otimizar a operação, segunda etapa, o COPPISYS verifica as seguintes restrições para a operação:

- cálculo da potência requerida diante à potência da máquina informada;
- cálculo das velocidades pela potência da operação, da máquina e velocidade da operação, comparadas às velocidades:  $V_{c1}$  informada na configuração da operação e com a  $V_{c2}$  calculada pelo sistema, mediante informação de porcentagem para a segunda vida na configuração.

Caso haja restrições, o sistema solicita que seja revista a configuração dos parâmetros para a operação. De modo contrário, apresenta uma tela com informações referentes à operação, além de orientações de como o usuário deve proceder para dar prosseguimento à otimização.

Ao finalizar esta etapa, o usuário é direcionado para a “Listagem de Otimizações Realizadas” que estão aguardando informações sobre a vida da ferramenta. Ao clicar na opção “Aguardando Vida”, da listagem, o usuário é direcionado para a tela na qual irá informar a vida medida da ferramenta. Na tela acessada está disponível a entrada para informar a primeira vida da ferramenta, terceira etapa, de modo que, ao preencher o campo, o sistema libera outro campo referente à segunda vida da ferramenta, quarta etapa.






Ao informar a segunda vida, o COPPISYS executa a quinta etapa e direciona o usuário a tela de resultados, a qual contém o gráfico do IMEV e a TVO, os quais serão abordados adiante.

### **5.8.3.2. OTIMIZAÇÕES REALIZADAS**

O resultado de uma otimização é apresentado pelo COPPISYS quando uma otimização já finalizada é solicitada. As otimizações finalizadas estão disponíveis na “Listagem das Otimizações Concluídas” (Figura 31). Nesta tela o usuário têm as informações principais sobre a otimização: código da otimização, operação, processo, ferramenta; data e hora e o link para acesso aos resultados.

Ao selecionar “Visualizar Resultados” de uma otimização, o sistema apresenta os resultados da otimização, os quais são descritos a seguir.

FIGURA 31 — LISTAGEM DAS OTIMIZAÇÕES CONCLUÍDAS.

Listagem das Otimizações Concluídas								
Na tabela abaixo estão listadas as otimizações que foram concluídas. Para visualizar uma otimização, clique no ícone  correspondente.								
Cod. Otimização	Cod. Operação	Cod. Processo	Peça	Máquina	Ferramenta	Data	Hora	Status
OT_12	OP_03	PROC_03	PECA_03	MAQ_01	FER_01	04/11/12	13:52:07	 Visualizar Resultados
OT_5	OP_03	PROC_03	PECA_03	MAQ_01	FER_01	02/11/12	13:26:03	 Visualizar Resultados
OT_2	OP_02	PROC_02	PECA_02	MAQ_01	FER_01	02/11/12	13:18:03	 Visualizar Resultados
OT_1	OP_01	PROC_01	PECA_01	MAQ_01	FER_01	29/10/12	21:26:41	 Visualizar Resultados
Registros		Navegação		Pesquisar				
Listando 4 registros				Digite o <b>cód.</b> da otimização/operação: <input type="text"/>				

FONTE: O AUTOR.

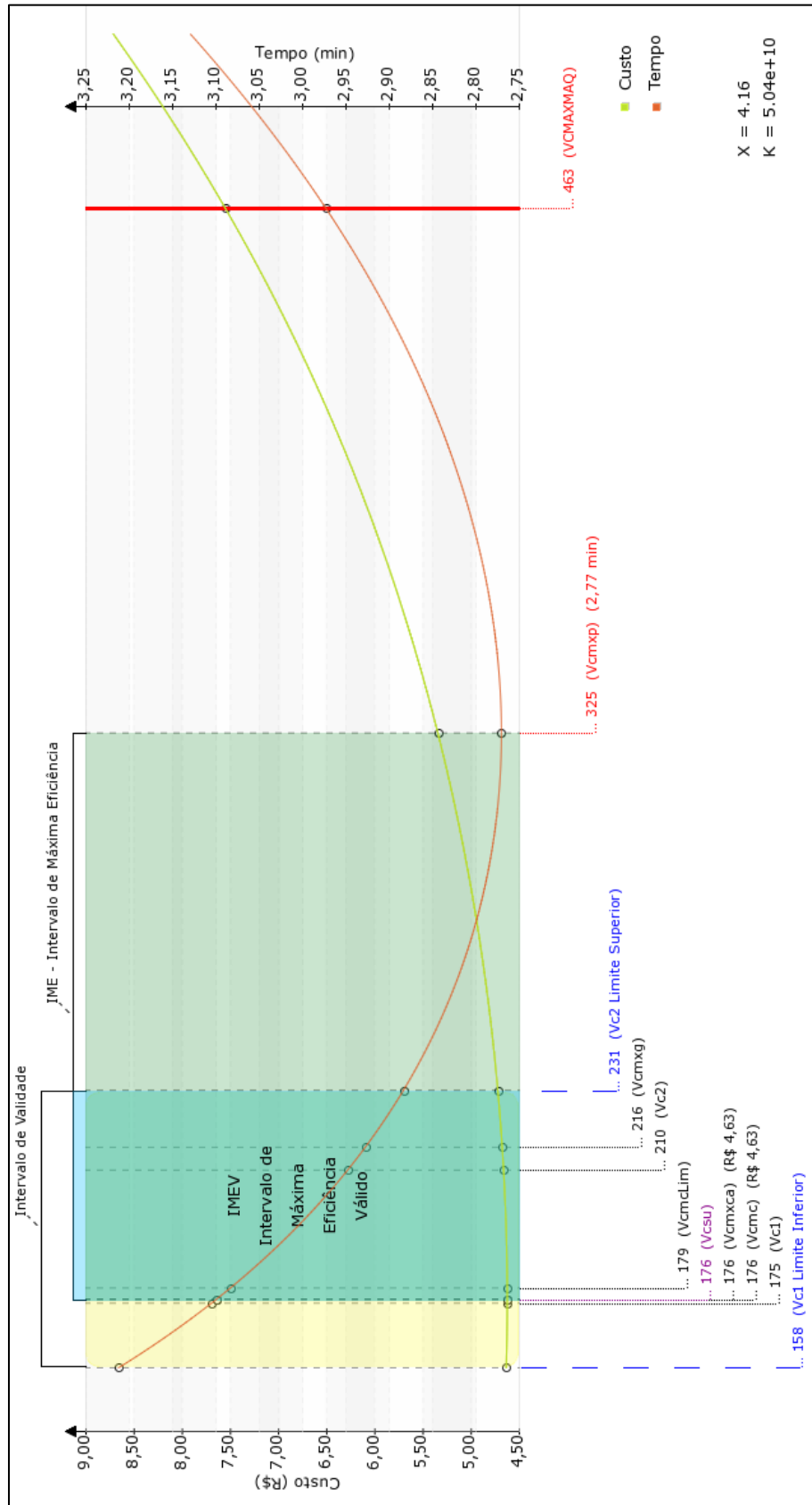
#### 5.8.4. RESULTADOS DA OTIMIZAÇÃO

Uma das contribuições deste trabalho é o fornecimento de um relatório, em forma de tabela (TVO), além da utilização de um gráfico dinâmico (IME) para o agrupamento dos possíveis cenários de produção, descritos no item 4.2.1.

O primeiro recurso a ser apresentado na tela é o um gráfico contendo as velocidades de corte otimizadas, o IME, o IV e o IMEV que é intervalo que contém as velocidades de corte que estão dentro do IME e do IV simultaneamente. O gráfico apresenta também as curvas de custo e tempo relativos às velocidades de corte plotadas. Este recurso tem como função apresentar uma visão geral do cenário produtivo para a operação otimizada, fornecendo condições de acesso rápido e resumido, conforme apresentado na Figura 32.

Em segundo lugar, é apresentada a TVO (Figura 33), na qual estão dispostas as principais informações sobre o IV, IME, IMEV, parâmetros do processo, custos e tempos. Apresenta também sigla das velocidades de corte, indicando ainda o cenário produtivo a qual pertence. Possui também um sistema de dicas que ao passar do *mouse* sobre a sigla é apresentado o nome da velocidade de corte.

FIGURA 32 — GRÁFICO DO RESULTADO DE UMA OTIMIZAÇÃO (IMEV).



FONTE: O AUTOR.

FIGURA 33 — TABELA DE VELOCIDADES OTIMIZADAS (TVO).

**Velocidades de Corte (m/min) para: Processo [PROC\_01] - Otimização [OT\_1] - Versão (1) - Data (29/10/2012)**

Abaixo são exibidos os resultados obtidos com os valores informados da Primeira e Segunda velocidades de Corte. Também é possível especificar uma nova velocidade de corte para comparação (V<sub>cmóvel</sub>).

Caso queira efetuar uma comparação entre duas velocidades de corte que pertencem ao IME acima, faça a seleção por meio das Caixas de Seleção abaixo e, no final da tabela, pressione o botão "Comparar as Velocidade Seleccionadas".

Descrição	As velocidades que determinam o Intervalo de Confiança são: <b>158 e 231</b> (m/min)											
	Adotar	Adotar	Adotar	Adotar	Adotar	Adotar	Adotar	Adotar	Adotar	Adotar	Adotar	Adotar
	V <sub>c1</sub> * 0.9	V <sub>c1</sub> Inicial	V <sub>cmc</sub> Normal	V <sub>cmxca</sub> Normal	V <sub>csu</sub> Flexível	V <sub>cmclm</sub> Normal	V <sub>c2</sub> Final	V <sub>cmxg</sub> Normal	V <sub>c2</sub> * 1.1	V <sub>cmxp</sub> Gargalo		
Lim. Inferior					4.63							
<b>Parâmetros do Processo</b>												
Velocidade de Corte	158	175	176	176	176	179	210	216	231	325		
Avanço	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25		
Profundidade de Usinagem	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00		
Número de peças por vida	31,14	22,55	22,15	22,15	22,15	21,00	12,69	11,61	9,39	3,20		
Número de arestas pelo lote	64,23	88,67	90,28	90,28	90,28	95,23	157,66	172,32	212,99	625,71		
Número de insertos pelo lote	16,06	22,17	22,57	22,57	22,57	23,81	39,41	43,08	53,25	156,43		
Número de peças do lote	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000		
<b>Custos</b>												
Custo da aresta por vida	0,09	0,14	0,14	0,14	0,14	0,15	0,29	0,33	0,43	1,79		
Custo total de arestas pelo lote	210,66	290,85	296,12	296,12	296,12	312,35	517,12	565,21	698,62	2.052,32		
Custo ferramenta por peça	0,11	0,15	0,15	0,15	0,15	0,16	0,26	0,28	0,35	1,03		
Custo total de produção por peça (Kp)	4,64	4,63	4,63	4,63	4,63	4,63	4,66	4,68	4,72	5,35		
Custo total de produção do lote	9,273,17	9,251,16	9,251,13	9,251,13	9,251,13	9,251,84	9,327,71	9,356,41	9,447,80	10,693,70		
Preço de Venda por Peça	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00		
Preço Total de Venda do Lote	14,000,00	14,000,00	14,000,00	14,000,00	14,000,00	14,000,00	14,000,00	14,000,00	14,000,00	14,000,00		
Ganho	7,542,59	7,724,10	7,732,76	7,732,76	7,732,76	7,757,42	7,899,11	7,903,19	7,880,75	6,683,26		
Margem (%)	62,67	61,48	61,41	61,41	61,41	61,21	59,15	58,76	57,76	49,47		
<b>Tempos</b>												
Produção horária	18,68	19,32	19,36	19,36	19,36	19,46	20,35	20,49	20,81	21,66		
Tempo total de produção por peça	3,21	3,11	3,10	3,10	3,10	3,08	2,95	2,93	2,88	2,77		
Tempo de corte por peça	1,18	1,06	1,06	1,06	1,06	1,04	0,89	0,86	0,80	0,57		
Tempo total de produção do Lote (min)	6,425	6,210	6,199	6,199	6,199	6,167	5,896	5,856	5,767	5,541		
Tempo de troca da ferramenta	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58		
Tempo total de trocas	9,31	12,86	13,09	13,09	13,09	13,81	22,86	24,99	30,88	90,73		
Tempo de vida da aresta de corte	36,64	23,96	23,40	23,40	23,40	21,81	11,23	9,99	7,56	1,83		
Tempo de troca da aresta por peça	0,0186	0,0257	0,0262	0,0262	0,0262	0,0276	0,0457	0,0500	0,0618	0,1815		
Tempos improdutivo	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02		

FONTE: O AUTOR.



No cabeçalho da TVO estão dispostos dois campos para entrada de dados, os quais são utilizados para definir os parâmetros relativos às velocidades de corte  $V_{csu}$  e  $V_{cmxa}$ , conforme mostra a Figura 34.

FIGURA 34 — CABEÇALHO DA TABELA DE VELOCIDADES OTIMIZADAS (TVO).

As velocidades que determinam o Intervalo de Confiança são: <b>158 e 231</b> (m/min)									
Adotar	Adotar	Adotar	Adotar	Adotar	Adotar	Adotar	Adotar	Adotar	Adotar
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
$V_{c1} * 0.9$	$V_{c1}$	$V_{cmc}$	$V_{cmxa}$	$V_{csu}$	$V_{cmclim}$	$V_{c2}$	$V_{cmxg}$	$V_{c2} * 1.1$	$V_{cmxp}$
Lim. Inferior	Inicial	Normal	Normal	Flexível	Normal	Final	Normal	Lim. Superior	Gargalo
			4.63						

FONTE: O AUTOR.

Todas as velocidades de corte calculadas pelo COPPISYS são apresentadas após o processo de otimização pelo Motor de Otimização. Entretanto, a velocidade de corte  $V_{cmxa}$  é apresentada, porém não otimizada – apresenta os valores iniciais iguais ao da  $V_{cmc}$ , uma vez que esta velocidade determina isoladamente um tipo de cenário produtivo e depende que um custo seja informado para a realização de seu cálculo.

A  $V_{cmxa}$  é a velocidade de corte que tem como base um custo a ser aceito, visando-se trabalhar o mais próximo possível da velocidade de máxima produção  $V_{cmxp}$ . Tal velocidade determina o cenário para o qual se visa à racionalização da produção e do custo, para o qual o intervalo de aceite está entre o custo mínimo  $V_{cmc}$  e a máxima produção  $V_{cmxp}$ .

Para esta velocidade de corte, a flexibilidade em aceitar um custo maior do que o previsto no orçamento, de acordo com a negociação do cliente, possibilita a tomada de decisão com base nos novos parâmetros sobre o cálculo efetuado, permitindo a readequação do processo para a produção.

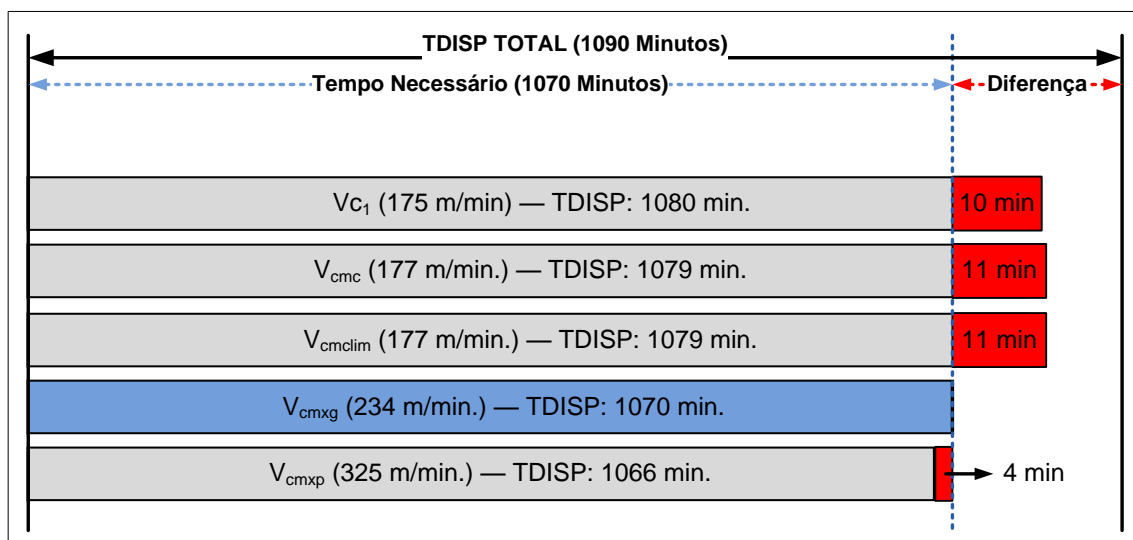
O outro campo editável do cabeçalho da TVO fornece a possibilidade do usuário inserir uma velocidade de corte denominada  $V_{csu}$  que não conste na TVO otimizada, a fim de efetuar uma análise comparativa dentro do cenário de fabricação existente, ou seja, a nova velocidade não determina um cenário, mas torna-se parte de um cenário existente.



Uma das velocidades de corte otimizadas pelo COPPISYS é a  $V_{cmxg}$ , que é a velocidade de corte que expressa o máximo ganho possível para a produção de um lote de peças, na medida em que, se o tempo disponível ( $TDISP$ ) da  $V_{cmxg}$  for utilizado para as outras velocidades, nota-se que faltará tempo para a produção das peças, exceto para  $V_{cmxp}$ , entretanto o custo de produção é maior. Sendo assim, o ganho será menor.

Na equação de cálculo do ganho, Equação (18), o valor do ganho está diretamente relacionado com o  $TDISP$ , por esse motivo, quanto maior o tempo disponível, maior será o ganho, pois, ao utilizar o  $TDISP$  de cada velocidade “calculada”, o ganho sempre será maior para as baixas velocidades. Logo, se a produção ocorrer com uma velocidade maior e dentro do tempo “necessário”, o ganho será maior. Neste caso, mesmo com uma velocidade maior, o ganho será maior, pois a produção ocorrerá em menor tempo. Na Figura 35 é mostrada a comparação entre as velocidades de corte em relação ao  $TDISP$  para a  $V_{cmxg}$ .

FIGURA 35 — COMPARAÇÃO DAS VELOCIDADES DE CORTE COM RELAÇÃO AO  $TDISP$ .



FONTE: O AUTOR.

A TVO possui também um recurso que permite efetuar comparações entre velocidades de corte par a par, permitindo uma análise mais profunda sobre os cenários selecionados para o tomador de decisão ou auditor do processo. A comparação é feita por meio da seleção das velocidades de corte desejadas e

comparadas mediante o acionamento do botão “Comparar Velocidades Seleccionadas”, localizado no rodapé da TVO.

Após o processamento, o resultado é apresentado, destacando-se as velocidades seleccionadas, além de mostrar uma coluna na qual estão contidos dados sobre as diferenças calculadas. Para melhorar a visualização, ainda são apresentados ícones que apontam se houve melhora ou piora dos valores entre a primeira e a segunda velocidade de corte. Na Figura 36 é mostrado o resultado de uma comparação entre as velocidades de corte  $V_{cmc}$  e  $V_{cmxp}$ .

FIGURA 36 — RESULTADO DE UMA COMPARAÇÃO ENTRE VELOCIDADES DE CORTE.

Descrição	Adotar	Adotar	COMPARAÇÃO
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	$V_{cmc}$	$V_{cmxp}$	
	Normal	Gargalo	
<b>Parâmetros do Processo</b>			
Velocidade de Corte	176	325	149
Avanço	0,25	0,25	=
Profundidade de Usinagem	1,00	1,00	=
Número de peças por vida	22,15	3,20	18,96 ↓
Número de arestas pelo lote	90,28	625,71	535,43 ↑
Número de insertos pelo lote	22,57	156,43	133,86 ↑
Número de peças do lote	2.000	2.000	=
<b>Custos</b>			
Custo da aresta por vida	0,14	1,79	1,65 ↑
Custo total de arestas pelo lote	296,12	2.052,32	1.756,20 ↑
Custo ferramenta por peça	0,15	1,03	0,88 ↑
Custo total de produção por peça (Kp)	4,63	5,35	0,72 ↑
Custo total de produção do lote	9.251,13	10.693,70	1.442,57 ↑
Preço de Venda por Peça	7,00	7,00	=
Preço Total de Venda do Lote	14.000,00	14.000,00	=
Ganho	7.732,76	6.683,26	1.049,50 ↓
Margem (%)	61,41	49,47	11,94 ↓
<b>Tempos</b>			
Produção horária	19,36	21,66	2,30 ↑
Tempo total de produção por peça	3,10	2,77	0,33 ↓
Tempo de corte por peça	1,06	0,57	0,48 ↓
Tempo total de produção do Lote (min)	6.199	5.541	658 ↓
Tempo de troca da feramenta	0,58	0,58	=
Tempo total de trocas	13,09	90,73	77,64 ↑
Tempo de vida da aresta de corte	23,40	1,83	21,57 ↓
Tempo de troca da aresta por peça	0,0262	0,1815	0,1553 ↑
Tempos improdutivos	2,02	2,02	=

FONTE: O AUTOR.

Ainda no cabeçalho da TVO estão presentes botões denominados “Adotar”, os quais têm como função marcar qual velocidade de corte e cenário que o usuário vai utilizar para realizar a produção do lote, facilitando a localização de informações quando a otimização for acessada novamente.

Para facilitar a visualização dos dados, a TVO dispõe do recurso de iluminação de linha, com diferenciação de cor, acionado pela movimentação do *mouse*.

#### 5.8.5. WEB SERVICE PARA CÁLCULOS REMOTOS

O COPPISYS possui um conjunto de *Web Services*, os quais permitem a realização de otimizações mediante a passagem de parâmetros via URL (*Uniform Resource Locator*) do inglês Localizador Padrão de Recursos.

Ao solicitar um dos *Web Services*, o COPPISYS efetua os cálculos e retorna os dados no formato XML sobre a otimização realizada, os quais podem ser utilizados para geração de gráficos ou então serem manipulados de acordo com a necessidade do solicitante (cliente).

Para fazer uso dos *Web Services* é necessário que o *Token* de acesso seja válido, ou seja, somente empresas cadastradas no COPPISYS podem realizar consultas e ou manipulação de dados.

No Quadro 3 é mostrada a estrutura para a passagem de parâmetros para o cálculo das velocidades de corte  $V_{cmc}$ ,  $V_{cmclim}$  e  $V_{cmxp}$ .

QUADRO 3 — FUNCIONAMENTO DE UM WEB SERVICE DO COPPISYS.

Variável Enviada	Vetor de Valores
Vetor p	$[V_{c1}, T_1, V_{c2}, T_2, S_{hm}, K_{ft}, t_{ft}, T_k:]$
p=	[175, 24, 210, 11.25, 28.6, 3.2, 0.58]

FONTE: O AUTOR.

No qual:

$S_{hm}$ : valor do salário homem + salário máquina [R\$/hora];

$T_k$ : *token* - chave de acesso da empresa.

Na Figura 37 são mostrados os dados retornados pelo COPPISYS no formato XML.

*FIGURA 37 — DADOS RETORNADOS PELO WEB SERVICE NO FORMATO XML.*

```
<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1"?>
  <response>
    <x>4.16</x>
    <K>51433908064</K>
    <Vc1>175</Vc1>
    <T1>24</T1>
    <Vc2>210</Vc2>
    <T2>11.25</T2>
    <Vcmc>177</Vcmc>
    <Vcmclim>180</Vcmclim>
    <Vcmxp>325</Vcmxp>
  </response>
```

*FONTE: O AUTOR.*

De posse das informações, o cliente pode manipular e utilizar os dados em sua aplicação.

O COPPISYS dispõe ainda de outros tipos de cálculos via *Web Service* tais como: custos em função da velocidade; número de ferramentas utilizadas em um processo; tempo de produção de uma peça e do lote; entre outros.

## **5.9. FERRAMENTA DE EXPORTAÇÃO E IMPORTAÇÃO DE DADOS**

Com o objetivo de facilitar a troca de dados entre aplicações e ou sistemas dentro da empresa, o COPPISYS contém uma ferramenta que permite a exportação e importação de dados.

Para a exportação dos dados, estão disponíveis as tabelas: ferramentas, máquinas, operações, peças, processos e otimizações. As demais tabelas são de uso interno do sistema e, por este motivo, a exportação não é permitida.

Para a importação de dados, as tabelas “operações” e “otimização” não são permitidas, uma vez que tais informações são manipuladas exclusivamente pelo COPPISYS.

A Figura 38 mostra a tela de acesso ao módulo de exportação e importação de dados, na qual estão dispostas caixas de seleção para a escolha das tabelas a serem exportadas e a ferramenta para efetuar a importação dos arquivos.

FIGURA 38 — MÓDULO DE EXPORTAÇÃO E IMPORTAÇÃO DE DADOS.

**Exportação de Dados**

Nome do Arquivo no Sistema	Tipo de Informação	Selecionar
coppisys_ferramenta	Cadastro das Ferramentas	<input type="checkbox"/>
coppisys_maquina	Cadastro das Máquinas	<input checked="" type="checkbox"/>
coppisys_operacao	Cadastro das Operações	<input type="checkbox"/>
coppisys_pecas	Cadastro das Peças	<input type="checkbox"/>
coppisys_processo	Cadastro dos Processos	<input type="checkbox"/>
coppisys_otimizacao	Registro das Otimizações	<input type="checkbox"/>

**Arquivos Gerados para Exportação**  
 Clique com o botão direito sobre o arquivo e escolha a opção "Salvar link como" para fazer o download

COPPISYS\_MAQUINA\_07\_12\_2012\_7F1F72F275BA856E7A385FF0466D94F5.xml

**Importação de Dados**

Para efetuar a importação dos dados de uma tabela para o COPPISYS, selecione o arquivo desejado e clique em prosseguir. A importação somente será efetuada caso os campos estejam de acordo com o "layout" do sistema. Em caso de dúvidas, consulte o link "[Ajuda On-line](#)" para obter todas as informações necessárias.

**ATENÇÃO:** por medidas de segurança, os arquivos "coppisys\_operacao" e "coppisys\_otimizacao" não são importáveis.

Nenhum arquivo selecionado

FONTE: O AUTOR.

O módulo de exportação e importação foi desenvolvido utilizando-se o padrão XML para geração dos arquivos de dados. No Quadro 4 é mostrada a estrutura e nomenclatura dos arquivos utilizada no COPPISYS.

QUADRO 4 — NOMENCLATURA DO ARQUIVO XML EXPORTADO.

Nome do Sistema	Nome da Tabela	Data da Exportação	<i>Token</i>	Extensão
COPPISYS_	TABELA_	05_09_2012	7F1F73F278BA8 26E2E393FF041 2D94B9	xml

FONTE: O AUTOR.

A estrutura apresentada no Quadro 4 foi modelada a fim de não gerar dúvidas no momento da geração dos arquivos para os usuários. A inclusão do *Token*, número da chave exclusiva de acesso para cada empresa cadastrada no COPPISYS, visa manter a segurança no momento da importação dos dados, garantindo que não haja manipulação incorreta dos arquivos.

Na Figura 39 é apresentada a estrutura interna do arquivo de dados gerado pelo sistema para exportação, a qual deverá ser respeitada quando utilizada para importação de dados.

FIGURA 39 — ESTRUTURA INTERNA DO ARQUIVO XML EXPORTADO.

```
<?xml version='1.0' encoding='ISO8859-1'?>
<ROOT>
  <ROW>
    ... campos
    <idEmpresa>ID da Empresa</idEmpresa>
    ... campos
  </ROW>
</ROOT>
```

FONTE: O AUTOR.

## 5.10. MÓDULO ACADÊMICO

O módulo acadêmico foi desenvolvido para ser utilizado na disseminação do conhecimento em usinagem, estudo sobre otimização de operações e treinamentos. Este módulo fornece todas as ferramentas disponíveis no sistema principal, entretanto não está previsto um monitoramento em relação aos modelos matemáticos utilizados, bem como a inclusão de novas funcionalidades em versões posteriores.

Neste módulo o administrador do sistema pode disponibilizar material didático por meio do envio do arquivo ao COPPISYS (Figura 40). Após o envio, os alunos (usuários) podem efetuar o *download* do material.

O COPPISYS disponibilizará também materiais relacionados ao assunto, os quais ficarão com uma situação de “Público”, podendo qualquer usuário acessá-los. Os documentos fornecidos pelos administradores do sistema serão de

acesso restrito e sinalizados com a situação de “Privado” aos usuários cadastrados, exceto se for efetuada a mudança da situação para “Público”.

FIGURA 40 — PAINEL DE CONTROLE PARA MATERIAIS DIDÁTICOS

**ADMINISTRAÇÃO DE MATERIAL ACADÊMICO**

Nesta tela é possível efetuar o upload de arquivos para que os estudantes possam fazer o download dos materiais. Para descarregar o arquivo desejado, clique sobre o nome do mesmo. Na parte superior da tela estão listados os arquivos disponíveis para download. Na parte inferior do formulário para enviar os arquivos ao servidor.

**Material para Download**

ID	Título	Responsável	Tipo	Data
1	Técnicas de Usinagem - Básico	Carlos Nascimento	Privado	31/08/12
2	Gerência de Produção	Carlos Nascimento	<b>Público</b>	01/09/12
3	Medida de Parâmetros de Usinagem	COPPISYS	<b>Público</b>	17/09/12
4	Resistência dos Materiais	Carlos Nascimento	Privado	17/09/12
5	Jegue	Carlos Nascimento	Privado	11/11/12
6	Tipos de Inserto (Guia)	Carlos Nascimento	<b>Público</b>	03/09/12
7	Apostila de Usinagem 3	COPPISYS	<b>Público</b>	03/09/12
8	Estudo sobre Geração de Cavacos	COPPISYS	<b>Público</b>	03/09/12
9	SDF	Carlos Nascimento	Privado	11/11/12

**Upload de Material**

Para efetuar o upload, selecione o arquivo desejado e clique em "enviar".

O tamanho máximo de um arquivo é 2MB e necessariamente deve estar no formato **PDF** sem criptografia.

**Dados do Arquivo**

Título do Arquivo :

Tipo de Arquivo :  ▾

Arquivo :  Nenhum arquivo selecionado

FONTE: O AUTOR.

Como forma de segurança, ao efetuar o envio de um material ao COPPISYS, o sistema faz uma inserção automática no cabeçalho do documento com o nome do responsável pelo envio do arquivo, informando sobre os direitos autorais, como mostra a Figura 41, além de inserir uma marca d'água com o texto “COPPISYS Módulo Acadêmico” nas páginas ímpares do documento.



FIGURA 41 — FRAGMENTO DO ARQUIVO PDF COM A INSERÇÃO NO CABEÇALHO E MARCA D'ÁGUA NO CORPO DO TEXTO.

Este material foi disponibilizado por "Edson Melo de Souza". Proibida a sua distribuição.  
Os direitos autorais são reservados ao autor sob a pena da Lei, ao menos que seja um documento livre.

## New Operational Support System for Cutting Process Optimization

Edson Melo de Souza, Aparecida de Fátima Castello Rosa, Elesandro Antonio Baptista, Nivaldo Lemos Coppini

Industrial Engineering Post Graduation Program, Nove de Julho University, Av. Francisco Matarazzo, 612-Água Branca, São Paulo, SP.  
Email: souzaem@uninove.edu.br, afc.rosa@uninove.br, elesandro@uninove.br, ncoppini@uninove.br

**Abstract**

Manufacturing cost minimization and productivity maximization are essential for the machining industries sector to survive in the market. The production shop floor is a source of achieving strategic data, providing information to assist cutting processes optimization and better help to use equipment and resources efficiently. In this sense, the objective of this work is to present the development of a New Cutting Process Operational Support System which is following the most modern computational architecture (this system is being known in Portuguese as SIAPU). Before starting the system development, a survey was conducted. For this purpose, a questionnaire was prepared and sent to approximately 3850 companies active in matters related to material cutting process. The number of respondents was 208, or 5.40% of the total queried. This matter should be part of another specific job to analyze the answers. However, it was possible to understand that the industry in general is interested in having such a system like this one being developed in this work. The system development is being based on new optimization cutting process approaches. The expectation is that, at this final development, the system could offer characteristics as practicability, usability, mobility, beyond contain a help system intuitive on-line. Finally, this work has concluded that the use of the system in industry shop floor can contribute as a remarkable tool to minimize costs and maximize productivity, given to the industries, an opportunity to look for larger profits.

**Keywords:** cutting process; operational support system; optimization.

FONTE: O AUTOR.



## **6. VERIFICAÇÃO DO SISTEMA E ANÁLISE DOS RESULTADOS**

Neste capítulo é apresentada a verificação das rotinas e procedimentos realizados pelo COPPISYS. Faz-se importante destacar que, neste trabalho, não foi realizada nenhuma avaliação do sistema em relação à sua usabilidade, recursos visuais e aplicação em ambiente fabril, por meio da utilização de dispositivos como: questionários de avaliação; testes de estresse, entre outros. Portanto, apenas as avaliações sobre o desenvolvimento foram realizadas a fim de fornecer suporte ao desenvolvimento do sistema e não são apresentadas neste trabalho.

A verificação do sistema foi realizada com base em simulações do processo de otimização em usinagem, utilizando-se dados do trabalho de Grivol (2007), os quais também foram empregados na verificação do sistema MOS. Durante a verificação foram observados: o comportamento do sistema, velocidade de processamento e, principalmente, as rotinas que determinam os valores dos parâmetros otimizados.

Ao longo do desenvolvimento do COPPISYS, a implementação computacional do modelo de procedimento foi verificada utilizando-se o método da comparação por meio de uma planilha eletrônica, a fim de identificar possíveis erros de programação.

Para a verificação do sistema, duas simulações denominadas Simulação\_01 e Simulação\_02 foram realizadas, sendo executadas primeiramente pelo COPPISYS e os resultados obtidos comparados, posteriormente, aos cálculos efetuados por planilha eletrônica.

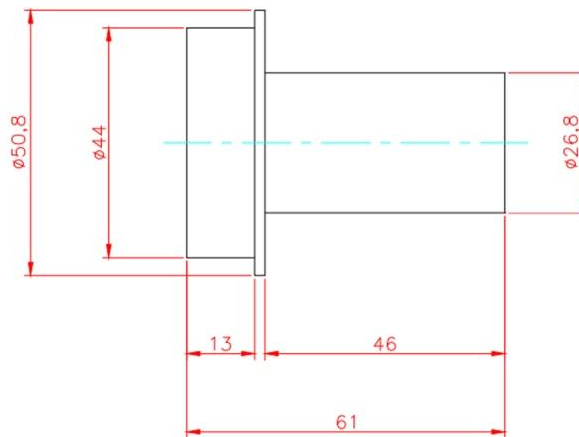
A Simulação\_02 foi elaborada a partir da Simulação\_01, alterando-se o material e a geometria da peça, nas quais os dados foram obtidos em catálogos do fabricante de ferramentas Sandvik®.

Para a Simulação\_02 apenas os dados alterados são apresentados na lista de configurações.

## 6.1. SIMULAÇÃO\_01 — INFORMAÇÕES, CÁLCULOS E RESULTADOS

Para realização da primeira simulação, foi utilizada uma peça, denominada PECA\_01 (Figura 42), a qual foi utilizada no ensaio de usinagem realizado por Malaquias (1999) *apud* (GRIVOL, 2007), e os dados descritos no item 6.1.1.

FIGURA 42 — PEÇA CÓDIGO PECA\_01.



FONTE: (MALAQUIAS, 1999) APUD (GRIVOL, 2007).

### 6.1.1. INFORMAÇÕES UTILIZADAS NA VERIFICAÇÃO DO SISTEMA – SIMULAÇÃO\_01

Os dados relacionados à Simulação\_01 são descritos a seguir:

- Peça:
  - Código da Peça: PECA\_01;
  - Preço de Venda: R\$ 7,00;
  - Custo do Material: R\$ 3,00;
  - Material: Aço SAE 4330;
  - Dureza: 33,4 HRC;
  - Diâmetro: 26,8 mm.
- Máquina:
  - Código da Máquina: MAQ\_01;
  - Descrição: Torno CNC CENTUR 30 RV;

- Potência Líquida do Motor: 6,65 kW;
  - Rotação Máxima: 5.500 rpm;
  - Diâmetro Máximo: 300 mm;
  - Valor de Aquisição: R\$ 85.000,00;
  - Idade da Máquina: 4 anos;
  - Previsão de Vida: 10 anos;
  - Área Ocupada: 14,2 m<sup>2</sup>;
  - Valor do m<sup>2</sup>: R\$ 40,00;
  - Custo da Manutenção Anual: R\$ 2.400,00;
  - Taxa de Juros Anuais: 35%;
  - Horas de Trabalho: 2.400 h;
  - Salário Máquina: R\$ 15,00;
  - Salário Homem: R\$ 13,60.
- Ferramenta:
- Código da Ferramenta: FER\_01;
  - Descrição: CNMG 120408-M – GC 4035;
  - Tempo de Troca: 0,58 min.;
  - Ângulo de Posição: 95°;
  - Ângulo de Saída: 16°;
  - Raio de ponta: 0,8 mm;
  - Número de Arestas: 4;
  - Custo por Aresta: R\$ 3,28.
- Processo:
- Código do Processo: PROC\_01;
  - Descrição: SIMULACAO\_01;
  - Máquina: MAQ\_01;
  - Peça: PECA\_01;

- Tempo de *SETUP*: 35 min.;
- Tempos não produtivos: 2 min.
- Operação:
  - Código da Operação: OPER\_01;
  - Processo: PROC\_01;
  - Tipo de Operação: Torneamento;
  - Velocidade de Corte Inicial: 175 m/min.;
  - Porcentagem para 2ª vida: 20%;
  - Tolerância para  $V_c$  Calculada: 10%;
  - Limite da  $V_c$  inferior: 50 m/min.;
  - Avanço de Usinagem: 0,25 mm/volta;
  - Profundidade de Usinagem: 1 mm;
  - Maior Diâmetro: 50,8 mm;
  - Menor Diâmetro: 26,8 mm;
  - Rotação Limite: 4.000 rpm;
  - Comprimento de Corte: 552 mm;
  - Tamanho do Lote: 2000.
- Otimização:
  - Código da Otimização: OT\_1;
  - Primeira Vida Medida: 23,96 min.;
  - Segunda Velocidade de Corte (+20%): 210 m/min.;
  - Segunda Vida Medida: 11,23 min.

### 6.1.2. RESULTADOS DA OTIMIZAÇÃO PELO COPPISYS: OT\_1

Após a inclusão de todos os dados no COPPISYS a otimização foi realizada, resultando na TVO (Figura 43), a qual contém as velocidades de corte calculadas, bem como todos os indicadores de custos, tempos e parâmetros do processo, presentes no sistema.

Na Figura 44 é apresentado o gráfico do IMEV resultante da otimização OT\_1, no qual estão dispostas as velocidades de corte e as curvas de tempo e custo.

FIGURA 43 — RESULTADOS DA OTIMIZAÇÃO OT\_1.

**Velocidades de Corte (m/min) para: Processo [PROC\_01] - Otimização [OT\_1] - Versão (1) - Data (29/10/2012)**

Abaixo são exibidos os resultados obtidos com os valores informados da Primeira e Segunda velocidades de Corte. Também é possível especificar uma nova velocidade de corte para comparação ( $V_{cmóvel}$ ).

Caso queira efetuar uma comparação entre duas velocidades de corte que pertencem ao IME acima, faça a seleção por meio das Caixas de Seleção abaixo e, no final da tabela, pressione o botão "Comparar as Velocidade Seleccionadas"

### Tabela de Velocidades Otimizadas (TVO)

As velocidades que determinam o Intervalo de Confiança são: **158 e 231** (m/min)

Descrição	Adotar		Adotar		Adotar		Adotar		Adotar		Adotar		Adotar	
	$V_{c1} * 0.9$	$V_{c1}$	$V_{cnc}$	$V_{cncx}$	$V_{csu}$	$V_{cndim}$	$V_{c2}$	$V_{cmxg}$	$V_{c2} * 1.1$	$V_{cmxp}$	Lim. Inferior	Lim. Superior	Gargalo	
	7,00	175	176	176	176	179	210	216	231	325				
			Normal	Normal	Flexível	Normal	Final	Normal	Lim. Superior					
					4.63									
<b>Parâmetros do Processo</b>														
Velocidade de Corte	0,09	0,14	0,14	0,14	0,14	0,15	0,29	0,33	0,43	1,79				
Avanço	210,66	290,85	296,12	296,12	296,12	312,35	517,12	565,21	698,62	2.052,32				
Profundidade de Usinagem	0,11	0,15	0,15	0,15	0,15	0,16	0,26	0,28	0,35	1,03				
Custo ferramenta por peça	4,64	4,63	4,63	4,63	4,63	4,63	4,66	4,68	4,72	5,35				
Custo total de produção por peça (Kp)	9,273,17	9,251,16	9,251,13	9,251,13	9,251,13	9,251,84	9,327,71	9,356,41	9,447,80	10,693,70				
Preço de Venda por Peça	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00				
Preço Total de Venda do Lote	14,000,00	14,000,00	14,000,00	14,000,00	14,000,00	14,000,00	14,000,00	14,000,00	14,000,00	14,000,00				
Ganho	7,542,59	7,724,10	7,732,76	7,732,76	7,732,76	7,757,42	7,899,11	7,903,19	7,880,75	6,683,26				
Margem (%)	62,67	61,48	61,41	61,41	61,41	61,21	59,15	58,76	57,76	49,47				
<b>Tempos</b>														
Produção horária	18,68	19,32	19,36	19,36	19,36	19,46	20,35	20,49	20,81	21,86				
Tempo total de produção por peça	3,21	3,11	3,10	3,10	3,10	3,08	2,95	2,93	2,88	2,77				
Tempo de corte por peça	1,18	1,06	1,06	1,06	1,06	1,04	0,89	0,86	0,80	0,57				
Tempo total de produção do Lote (min)	6,425	6,210	6,199	6,199	6,199	6,167	5,896	5,856	5,767	5,541				
Tempo de troca de ferramenta	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58				
Tempo total de trocas	9,31	12,86	13,09	13,09	13,09	13,81	22,86	24,99	30,88	90,73				
Tempo de vida da aresta de corte	36,64	23,96	23,40	23,40	23,40	21,81	11,23	9,99	7,56	1,83				
Tempo de troca da aresta por peça	0,0186	0,0257	0,0262	0,0262	0,0262	0,0276	0,0457	0,0500	0,0618	0,1815				
Tempos improdutivos	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02				

FONTE: O AUTOR.



No gráfico (Figura 44) é possível perceber a influência das velocidades de corte nos custos e tempos de produção. É possível perceber também que, para esta otimização, apenas a  $V_{cmxp}$  encontra-se fora do IMEV, proporcionando facilmente a tomada de decisão utilizando os dados apresentados na TVO (Figura 43) juntamente com o gráfico do IMEV calculado (Figura 44). Após a realização da otimização da operação pelo COPPISYS, foi utilizada uma planilha eletrônica, MS Excel<sup>®</sup> 2007, preparada para realizar o cálculo das velocidades de corte, assim como os indicadores de custos e tempos. Os resultados obtidos pelo cálculo são apresentados no Quadro 5.

QUADRO 5 — CÁLCULOS REALIZADOS PELA PLANILHA ELETRÔNICA PARA A OT\_1.

Cálculo das Velocidades	$V_{c1}$	$V_{cmc}$	$V_{cmxa}$	$V_{cmclim}$	$V_{c2}$	$V_{cmxg}$	$V_{cmxp}$
		175	176	176	179	210	216
Produção Horária	19,32	19,36	19,36	19,46	20,35	20,49	21,66
Número de Peças por Vida	22,55	22,15	22,15	21,00	12,69	11,61	3,20
Numero de Insertos pelo Lote	22,17	22,57	22,57	23,81	39,41	43,08	156,42
<b>TEMPOS (minutos)</b>							
$T_1$ (Tempos Passivos)	2,0172	2,0172	2,0172	2,0172	2,0172	2,0172	2,0172
$T_2$ (Tempo de Corte)	1,0623	1,0563	1,0563	1,0386	0,8852	0,8607	0,5720
$T_3$ (Tempo de Troca da Aresta)	0,0257	0,0262	0,0262	0,0276	0,0457	0,0500	0,1815
Total de Fabricação por Peça	3,11	3,10	3,10	3,08	2,95	2,93	2,77
Tempo de Corte ( $T_c$ )	1,06	1,06	1,06	1,04	0,89	0,86	0,57
Vida da Aresta	23,96	23,40	23,40	21,81	11,23	9,99	1,83
Troca da Ferramenta	0,0257	0,0262	0,0262	0,0276	0,0457	0,0500	0,1815
Tempo Produção do Lote	6.210	6.199	6.199	6.167	5.896	5.856	5.541
<b>CUSTOS (R\$)</b>							
$k_{p1}$ (Custos Passivos)	0,9615	0,9615	0,9615	0,9615	0,9615	0,9615	0,9615
$k_{p2}$	0,5064	0,5035	0,5035	0,4950	0,4220	0,4102	0,2727
$k_{p3}$	0,1577	0,1605	0,1605	0,1693	0,2804	0,3064	1,1126
Custo por Peça ( $K_p$ )	4,63	4,63	4,63	4,63	4,66	4,68	5,35
Custo da Aresta por Peça	0,15	0,15	0,15	0,16	0,26	0,28	1,03
Custo da Aresta pelo Lote	290,85	296,12	296,12	312,35	517,12	565,20	2.052,29
Custo Total Produção do Lote	9.251,16	9.251,13	9.251,13	9.251,84	9.327,71	9.356,41	10.693,67

FONTE: O AUTOR.

### 6.1.3. COMPARAÇÃO DO RESULTADOS DA OTIMIZAÇÃO OT\_1

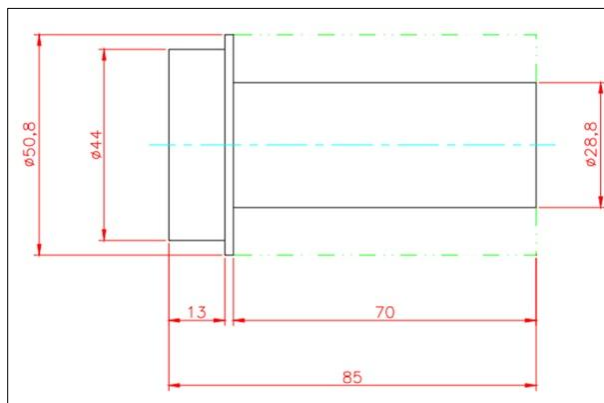
Comparando-se os valores mostrados na Figura 43 com os do Quadro 5, é possível verificar que os resultados encontram-se muito próximos, apresentando

pequenas diferenças em relação às casas decimais, uma vez que foram utilizados programas computacionais distintos para a realização dos cálculos.

## 6.2. SIMULAÇÃO\_02 — INFORMAÇÕES, CÁLCULOS E RESULTADOS

Para realização da segunda simulação, foi utilizada peça, denominada PECA02 (Figura 45), com os dados descritos no item 6.2.1.

FIGURA 45 — PEÇA CÓDIGO PECA\_02.



FONTE: (GRIVOL, 2007).

### 6.2.1. INFORMAÇÕES UTILIZADAS NA VERIFICAÇÃO DO SISTEMA – SIMULAÇÃO\_02

Os dados relacionados à simulação são descritos a seguir:

- Peça:
  - Código da Peça: PECA02;
  - Diâmetro: 28,8 mm.
- Processo:
  - Código do Processo: PROC02;
  - Descrição: SIMULACAO\_02;
  - Peça: PECA02.
- Operação:
  - Código da Operação: OPER02;
  - Processo: PROC02;



- Menor Diâmetro: 24,8 mm;
- Comprimento de Corte: 770 mm.
- Otimização:
  - Código da Otimização: OT\_02
  - Primeira Vida: 53,13 min.;
  - Segunda Vida: 24,71 min.

### 6.2.2. RESULTADOS DO CÁLCULO PELO COPPISYS: OT\_2

Após a inclusão de todos os dados no COPPISYS a otimização foi realizada, resultando na TVO apresentada na Figura 46, a qual contém as velocidades de corte calculadas, bem como todos os indicadores de custos, tempos e parâmetros do processo, presentes no sistema.

Na Figura 47 é apresentado o gráfico do IMEV resultante da otimização OT\_2, no qual estão dispostas as velocidades de corte e as curvas de tempo e custo.

No gráfico é possível perceber que, para esta otimização, as velocidades de corte de máximo ganho ( $V_{cmxg}$ ) e a velocidade de corte de máxima produção ( $V_{cmxp}$ ) encontram-se fora do IMEV.

Neste caso, o auditor do processo deverá utilizar a tabela de dados (Figura 46) para realizar a tomada de decisão com mais segurança, uma vez que os custos de produção deverão ser analisados com cautela.

FIGURA 46 — RESULTADOS DA OTIMIZAÇÃO OT\_2.

**Velocidades de Corte (m/min) para: Processo [PROC\_02] - Otimização [OT\_2] - Versão (1) - Data (02/11/2012)**

Abaixo são exibidos os resultados obtidos com os valores informados da Primeira e Segunda velocidades de Corte. Também é possível especificar uma nova velocidade de corte para comparação (V<sub>cmóvel</sub>).

Caso queira efetuar uma comparação entre duas velocidades de corte que pertençam ao IME acima, faça a seleção por meio das caixas de Seleção abaixo e, no final da tabela, pressione o botão "Comparar as Velocidade Seleccionadas"

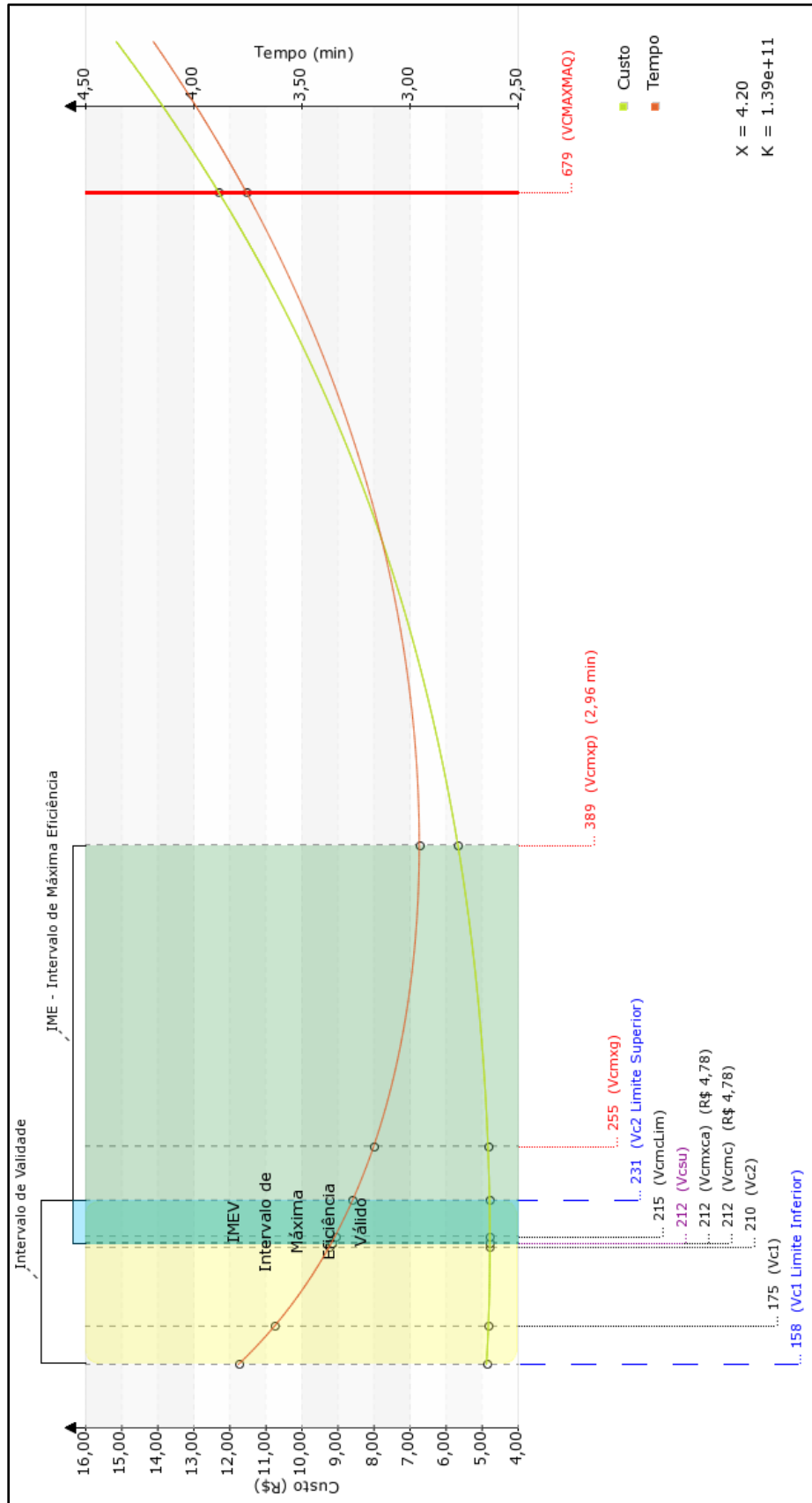
### Tabela de Velocidades Otimizadas (TVO)

As velocidades que determinam o intervalo de Confiança são: **158 e 231** (m/min)

Descrição	V <sub>C1</sub> *0.9		V <sub>C1</sub>		V <sub>C2</sub>		V <sub>cmc</sub>		V <sub>cmxca</sub>		V <sub>csu</sub>		V <sub>cmclm</sub>		V <sub>C2</sub> * 1.1		V <sub>cmxp</sub>			
	Lim. Inferior	Adotar	Adotar	Adotar	Adotar	Adotar	Adotar	Adotar	Adotar	Adotar	Adotar	Adotar	Adotar	Adotar	Adotar	Adotar	Adotar	Adotar	Adotar	
	Final	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
<b>Parâmetros do Processo</b>																				
Velocidade de Corte	158	175	210	212	212	212	212	212	212	212	212	212	212	212	212	212	212	212	212	212
Avanço	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Profundidade da Usinagem	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Número de peças por vida	46,26	33,36	18,62	18,06	18,06	18,06	18,06	18,06	18,06	18,06	18,06	18,06	18,06	18,06	18,06	18,06	18,06	18,06	18,06	18,06
Número de arestas pelo lote	43,23	59,94	107,41	110,71	110,71	110,71	110,71	110,71	110,71	110,71	110,71	110,71	110,71	110,71	110,71	110,71	110,71	110,71	110,71	110,71
Número de insertos pelo lote	10,81	14,99	26,85	27,68	27,68	27,68	27,68	27,68	27,68	27,68	27,68	27,68	27,68	27,68	27,68	27,68	27,68	27,68	27,68	27,68
Número de peças do lote	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
<b>Custos</b>																				
Custo da aresta por vida	0,04	0,06	0,13	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
Custo total de arestas pelo lote	141,79	196,62	352,29	363,14	363,14	363,14	363,14	363,14	363,14	363,14	363,14	363,14	363,14	363,14	363,14	363,14	363,14	363,14	363,14	363,14
Custo ferramenta por peça	0,07	0,10	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
Custo total de produção por peça (Kp)	4,88	4,83	4,79	4,78	4,78	4,78	4,78	4,78	4,78	4,78	4,78	4,78	4,78	4,78	4,78	4,78	4,78	4,78	4,78	4,78
Custo total de produção do lote	9,758,26	9,654,36	9,570,14	9,569,97	9,569,97	9,569,97	9,569,97	9,569,97	9,569,97	9,569,97	9,569,97	9,569,97	9,569,97	9,569,97	9,569,97	9,569,97	9,569,97	9,569,97	9,569,97	9,569,97
Preço de Venda por Peça	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00
Preço Total de Venda do Lote	14,000,00	14,000,00	14,000,00	14,000,00	14,000,00	14,000,00	14,000,00	14,000,00	14,000,00	14,000,00	14,000,00	14,000,00	14,000,00	14,000,00	14,000,00	14,000,00	14,000,00	14,000,00	14,000,00	14,000,00
Gainho	6,987,79	7,259,07	7,647,35	7,662,88	7,662,88	7,662,88	7,662,88	7,662,88	7,662,88	7,662,88	7,662,88	7,662,88	7,662,88	7,662,88	7,662,88	7,662,88	7,662,88	7,662,88	7,662,88	7,662,88
<b>Tempos</b>																				
Produção horária	15,82	16,54	17,78	17,84	17,84	17,84	17,84	17,84	17,84	17,84	17,84	17,84	17,84	17,84	17,84	17,84	17,84	17,84	17,84	17,84
Tempo total de produção por peça	3,79	3,63	3,38	3,36	3,36	3,36	3,36	3,36	3,36	3,36	3,36	3,36	3,36	3,36	3,36	3,36	3,36	3,36	3,36	3,36
Tempo de corte por peça	1,76	1,59	1,33	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31
Tempo total de produção do Lote (min)	7,587	7,254	6,751	6,728	6,728	6,728	6,728	6,728	6,728	6,728	6,728	6,728	6,728	6,728	6,728	6,728	6,728	6,728	6,728	6,728
Tempo de troca da ferramenta	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58
Tempo total de trocas	6,27	8,69	15,57	16,05	16,05	16,05	16,05	16,05	16,05	16,05	16,05	16,05	16,05	16,05	16,05	16,05	16,05	16,05	16,05	16,05
Tempo de vida da aresta de corte	81,60	53,13	24,71	23,75	23,75	23,75	23,75	23,75	23,75	23,75	23,75	23,75	23,75	23,75	23,75	23,75	23,75	23,75	23,75	23,75
Tempo de troca da aresta por peça	0,0125	0,0174	0,0311	0,0321	0,0321	0,0321	0,0321	0,0321	0,0321	0,0321	0,0321	0,0321	0,0321	0,0321	0,0321	0,0321	0,0321	0,0321	0,0321	0,0321
Tempos improdutivos	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02

FONTE: O AUTOR.

FIGURA 47 — GRÁFICO DO IMEV PARA A OTIMIZAÇÃO OT\_2.



FONTE: O AUTOR.

Após a realização da otimização da operação pelo COPPISYS, foi utilizada novamente uma planilha eletrônica, MS Excel<sup>®</sup> 2007, preparada para realizar o cálculo das velocidades de corte, assim como os indicadores de custos e tempos. Os resultados obtidos pelo cálculo são apresentados no Quadro 6.

QUADRO 6 — CÁLCULOS REALIZADOS PELA PLANILHA ELETRÔNICA PARA A OT\_2.

Cálculo das Velocidades	V <sub>c1</sub>	V <sub>c2</sub>	V <sub>cmc</sub>	V <sub>cmxa</sub>	V <sub>cmclim</sub>	V <sub>cmxg</sub>	V <sub>cmxp</sub>
	175	210	212	212	215	255	389
Produção Horária	16,54	17,78	17,84	17,84	17,93	18,94	20,29
Número de Peças por Vida	33,36	18,62	18,06	18,06	17,27	10,01	2,59
Numero de Insertos pelo Lote	14,99	26,85	27,68	27,68	28,95	49,97	192,93
<b>TEMPOS (minutos)</b>							
<i>T<sub>1</sub> (Tempos Passivos)</i>	2,0172	2,0172	2,0172	2,0172	2,0172	2,0172	2,0172
<i>T<sub>2</sub> (Tempo de Corte)</i>	1,5924	1,3270	1,3145	1,3145	1,2961	1,0928	0,7164
<i>T<sub>3</sub> (Tempo de Troca da Aresta)</i>	0,0174	0,0311	0,0321	0,0321	0,0336	0,0580	0,2238
Total de Fabricação por Peça	3,63	3,38	3,36	3,36	3,35	3,17	2,96
Tempo de Corte (T <sub>c</sub> )	1,59	1,33	1,31	1,31	1,30	1,09	0,72
Vida da Aresta	53,13	24,71	23,75	23,75	22,39	10,94	1,86
Troca da Ferramenta/Peça	0,0174	0,0311	0,0321	0,0321	0,0336	0,0580	0,2238
Tempo Produção do Lote	7.254	6.751	6.728	6.728	6.694	6.336	5.915
<b>CUSTOS (R\$)</b>							
<i>k<sub>p1</sub> (Custos Passivos)</i>	0,9615	0,9615	0,9615	0,9615	0,9615	0,9615	0,9615
<i>k<sub>p2</sub></i>	0,7590	0,6325	0,6266	0,6266	0,6178	0,5209	0,3415
<i>k<sub>p3</sub></i>	0,1066	0,1910	0,1969	0,1969	0,2059	0,3554	1,3723
Custo por Peça (K <sub>p</sub> )	4,83	4,79	4,78	4,78	4,79	4,84	5,68
Custo da Aresta por Peça	0,10	0,18	0,18	0,18	0,19	0,33	1,27
Custo da Aresta pelo Lote	196,62	352,29	363,14	363,14	379,83	655,59	2.531,18
Custo Total Produção do Lote	9.654,36	9.570,14	9.569,97	9.569,97	9.570,58	9.675,75	11.350,55

FONTE: O AUTOR.

### 6.2.3. COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DA OTIMIZAÇÃO: OT\_2

Comparando-se a Figura 46 com o Quadro 6, verifica-se que os resultados obtidos encontram-se muito próximos, nos quais as pequenas diferenças encontradas estão relacionadas apenas às casas decimais, uma vez que foram utilizados programas computacionais diferentes para a realização dos cálculos.

Também é possível perceber a diminuição do IMEV em relação ao IMEV calculado na OT\_01, mostrando assim a real funcionalidade do gráfico para auxílio na tomada de decisões.

### 6.3. ANÁLISE DOS RESULTADOS DA VERIFICAÇÃO DO SISTEMA

#### 6.3.1. OTIMIZAÇÕES REALIZADAS

Mediante a comparação efetuada com os resultados obtidos das simulações realizadas pelo COPPISYS e dos obtidos pela planilha eletrônica, é possível afirmar que não existem inconsistências ou erros no equacionamento das rotinas de cálculo, uma vez que os resultados não apresentaram diferenças significativas, ocorrendo apenas variações em relação às casas decimais.

Com relação ao funcionamento, o COPPISYS manteve-se estável durante a realização das simulações, não apresentando travamentos ou lentidão no processamento, demonstrando ser um sistema confiável na execução de suas tarefas.

Nas duas simulações realizadas, a otimização das velocidades de corte e seus respectivos cenários propostos foram calculados e apresentados corretamente, gerando os gráficos em tempo real em conjunto com a TVO, atendendo aos objetivos propostos neste trabalho, uma vez que o sistema apresentou os parâmetros otimizados, fornecendo condições para a tomada de decisões.

#### 6.3.2. DESEMPENHO DE EXECUÇÃO DO COPPISYS

Durante a Simulação\_01 e Simulação\_02, executadas através da Internet, foram registrados os seus tempos de execução para o cálculo das velocidades de corte, a fim de medir o desempenho dos algoritmos que efetuam tais cálculos para o modelo matemático utilizado. Na Tabela 6 são apresentados os valores obtidos, os quais mostram que os algoritmos implementados são eficientes, uma vez que o tempo de processamento foi rápido em relação à complexidade dos cálculos envolvidos.

TABELA 6 — TEMPO DE PROCESSAMENTO PARA AS OTIMIZAÇÕES.

Código da Otimização	Tempo de Execução (min.)
OT_1	0,00659
OT_2	0,00717
Média	0,00688

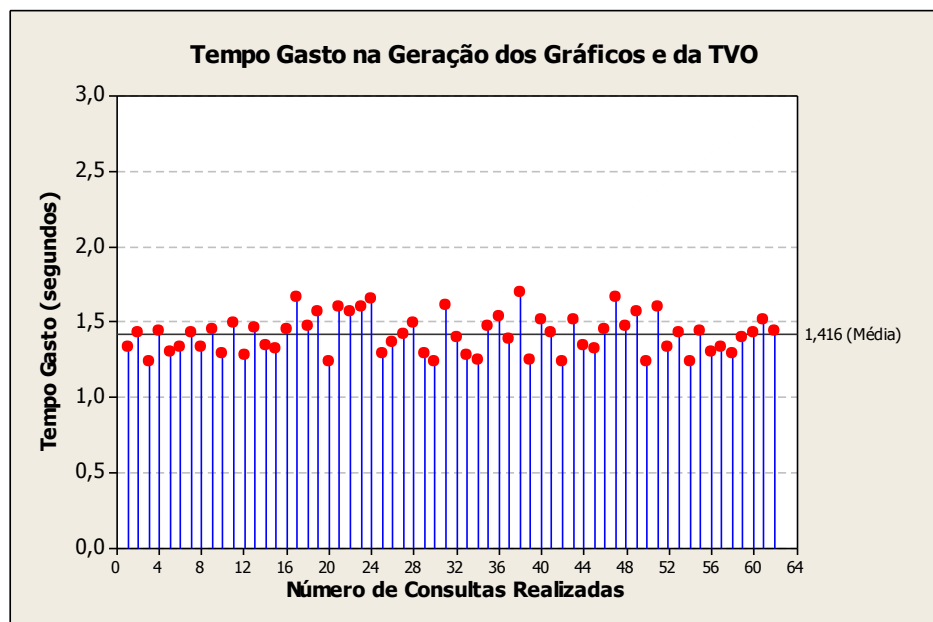
FONTE: O AUTOR.

Após a conclusão das otimizações buscou-se obter os tempos de resposta a um usuário comum por meio da simulação da utilização do COPPISYS em um ambiente de produção. Durante o teste foram efetuadas 62 consultas aleatórias às duas otimizações realizadas anteriormente. Para a medição dos tempos foi utilizada a função *microtime()* do PHP 5.3, implementada em uma classe que efetua os tratamentos e a gravação do resultados.

Os recursos medidos foram sobre a utilização das ferramentas de comparação e restauração das velocidades de corte, além da geração do gráfico do IMEV e da TVO, os quais são gerados dinamicamente a cada requisição.

Na Figura 48 é mostrado o gráfico do desempenho para geração da TVO e do gráfico do IMEV, para os quais o tempo médio obtido foi de 1,416 segundos e representa uma grande eficiência na apresentação das informações ao usuário.

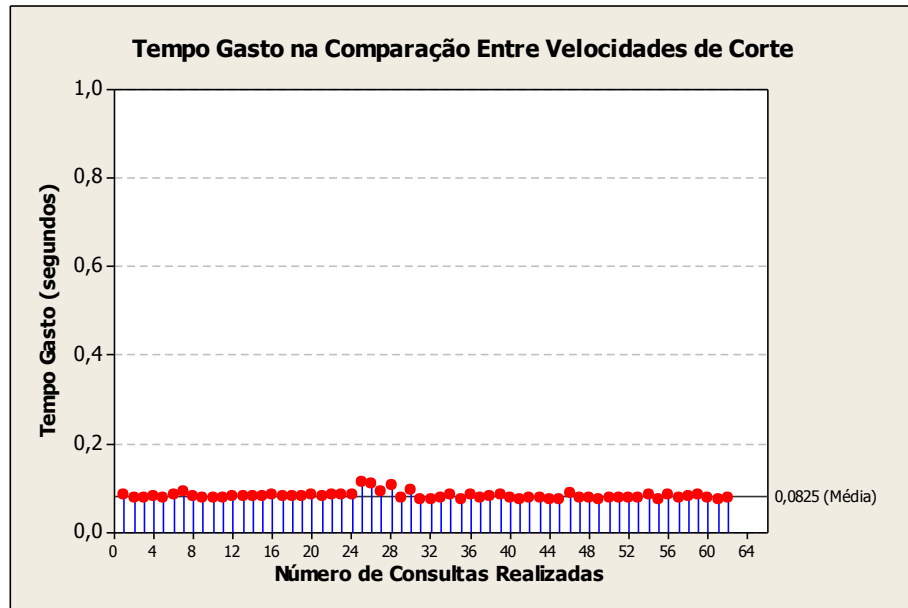
FIGURA 48 — DESEMPENHO NA GERAÇÃO DOS GRÁFICOS E DA TVO.



FONTE: O AUTOR.

Na Figura 49 é apresentado o gráfico do desempenho para as comparações efetuadas entre as velocidades de corte selecionadas, as quais também foram escolhidas aleatoriamente. O tempo médio gasto para a realização das comparações e apresentação dos dados ao usuário foi de 0,0825 segundos.

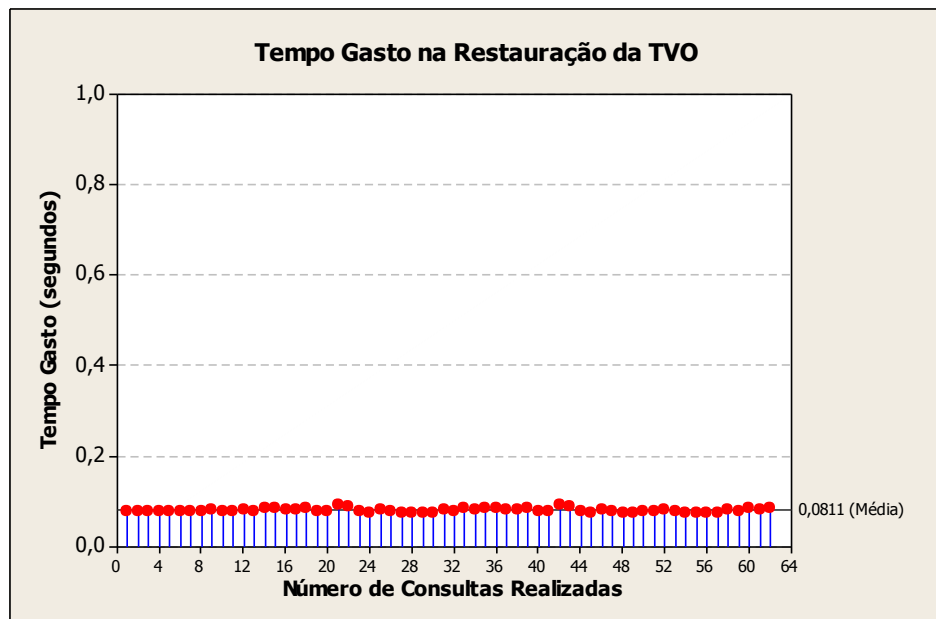
FIGURA 49 — DESEMPENHO ENTRE COMPARAÇÕES DAS VELOCIDADES DE CORTE.



FONTE: O AUTOR.

Na Figura 50 é apresentado o gráfico do desempenho para a restauração das velocidades de corte, para o qual o tempo médio gasto foi de 0,0811 segundos, demonstrando, assim como nas tarefas realizadas anteriormente, eficiência na apresentação das informações ao usuário.

FIGURA 50 — DESEMPENHO NA RESTAURAÇÃO DAS VELOCIDADES DE CORTE.



FONTE: O AUTOR.

Após a análise dos gráficos, pode-se concluir que o COPPISYS apresentou rapidez na realização das tarefas propostas, mesmo quando executado paralelamente com outras aplicações no mesmo computador.

A variação ocorrida entre as amostras se deu pelo fato de que cada comparação possui um conjunto de dados diferentes, a utilização do computador com outros aplicativos sendo executados paralelamente e a velocidade de conexão com a Internet.

Apesar da geração de picos de processamento, o tempo de resposta foi baixo, demonstrando que o sistema pode ser utilizado em ambiente fabril com poucos recursos de conexão a dados, fornecendo respostas rápidas ao usuário.



## 7. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

### 7.1. CONCLUSÕES

O COPPISYS, tal como apresentado neste trabalho, é um Sistema de Apoio à Decisão e Operacional para Otimização dos Parâmetros de Corte em Usinagem desenvolvido especificamente para ser utilizado em aplicações práticas, a fim de otimizar os parâmetros e processos de usinagem com o objetivo de minimizar os custos ou maximizar a produção.

Sua principal característica é a utilização de um modelo matemático determinístico com base nos coeficientes da Equação de Vida de Taylor, utilizando dados adquiridos diretamente do ambiente fabril e em tempo real durante a produção das peças, o qual foi validado por meio de simulação para a aplicação em ambiente produtivo.

O COPPISYS fornece ainda uma visão geral das velocidades de corte otimizadas, bem como dos cenários produtivos a que pertencem de forma panorâmica, permitindo que o usuário faça uma análise comparativa tanto pela forma gráfica quanto por uma tabela de dados (TVO), tornando-se assim, uma real evolução dos sistemas MOS e MOS 2. Sendo assim, pode-se concluir que:

- o resultado da pesquisa de campo realizada demonstrou que existe um número satisfatório de empresas com eventual interesse em utilizar o sistema, as quais possuem infraestrutura de rede de dados em ambiente fabril para utilização do COPPISYS de forma plena;
- o estudo dos sistemas MOS e MOS 2 permitiu a completa compreensão da problemática e dos modelos matemáticos utilizados em suas construções, facilitando o trabalho de modelagem e desenvolvimento do COPPISYS;

- ❑ os modelos matemáticos foram otimizados com os novos algoritmos implementados, permitindo o aumento na velocidade dos cálculos e facilitando a execução de tarefas complexas de forma paralela;
- ❑ a utilização de técnicas computacionais como a programação orientada a objetos e o uso de processamento paralelo, contribuíram para a inclusão de novos recursos como: gráfico do IME contendo todas as informações acerca das velocidades de corte; tabela com visão geral das velocidades otimizadas, parâmetros de corte, custos e tempos; apresentação dos possíveis cenários de produção relacionados às velocidades de corte correspondentes, além do melhoramento dos existentes nos sistemas MOS e MOS 2;
- ❑ a troca de dados entre sistemas é facilitada por meio da utilização de *Web Services* e da ferramenta de exportação e importação de dados;
- ❑ o sistema possui estabilidade, fornecendo respostas rápidas ao usuário com baixo custo computacional;
- ❑ o sistema apresenta um módulo específico para o ensino e difusão do conhecimento sobre processos de usinagem e também sua otimização.

Diante as características descritas, o COPPISYS apresenta-se como um real Sistema de Apoio à Decisão e Operacional para Otimização dos Parâmetros de Corte em Usinagem, fornecendo a possibilidade da realização de otimizações de processos de usinagem em ambiente fabril com flexibilidade, usabilidade e com uma estrutura que permite sua atualização e adição de funcionalidades de modo rápido e com baixos custos.

## **7.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

- ❑ criar procedimento de avaliação estatística dos resultados gerados pelo COPPISYS, visando maior precisão e confiança dos mesmos;

- criar interface de comunicação visando a coleta, processamento e retroalimentação de dados, respectivamente antes e depois da otimização;
- fornecer interface para acoplamento de outros sistemas que façam leitura dos tempos de corte e tempos passivos principalmente para peças de geometria complexas em tempo real;
- expandir os indicadores no relatório de resultados, oferecendo mais opções para auxílio na tomada de decisão;
- incluir procedimento para otimização da produção em cenário de fabricação flexível.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDUL KADIR, A.; XU, X.; HÄMMERLE, E. *Virtual machine tools and virtual machining — A technological review*. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, v. 27, n. 3, p. 494-508, Jun. 2011. DOI: 10.1016/j.rcim.2010.10.003.

ARRUDA, F. **A velocidade média da internet no Brasil [infográfico]**. [S.l.]: Tech Mundo. Disponível em: <<http://www.tecmundo.com.br/infografico/9683-a-velocidade-media-da-internet-no-brasil-infografico-.htm>>. Acesso em: 1 jan. 2012.

ABEGG, I.; MÜLLER, F. M.; FRANCO, S. R. K. Wikis na Educação: Potencial de Criação e Limites para Produção Colaborativa em Atividades no Moodle. **Revista Inter Ação**, v. 35, n. 2, Dez. 2010. DOI: 10.5216/ia.v35i2.12672.

ABRAHAMSSON, P.; SALO, O.; RONKAINEN, J.; WARSTA, J. *Agile software development methods*. **VTT Publications**, v. 478, n. 3, p. 167-168, 2002. ISBN 951-38-6009-4.

AHERN, D.; CLOUSE, A.; TURNER, R. **CMMI Distilled: a practical introduction to integrated process improvement, Third Edition**. 3 ed. Boston, MA: Addison-Wesley Professional, 2008. p. 288. ISBN 0-321-46108-8.

ALMEIDA, J. M. F. D. Sistemas de informação e evolução tecnológica: mitos e realidade. **Encontros Bibli: Revista Eletrônica de Biblioteconomia e Ciência da Informação**, p. 56-64, 2010. DOI: 10.5007/1518-2924.2010v15nesp2p56.

ALMEIDA, A. T.; COSTA, A. P. C. S. Sistemas de Informação e Gestão do Conhecimento. In: BATALHA, M. O. (Org.). **Introdução à Engenharia de Produção**. 1 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008. p. 227-228.

ALSHANETSKY, I. **High Performance PHP**. PHP Tek, Chicago, May. 2007.

ALVES, R. C. V.; BANHOS, V. T. M.; BICHERI, A. L. A. O.; SANTAREM SEGUNDO, J. E.; WOIDA, L. M. Ciência da Informação, Ciência da Computação e Recuperação da Informação : algumas considerações sobre os métodos e tecnologias da informação utilizados ao longo do tempo. **Revista Eletrônica Informação e Cognição**, v. 6, n. 1, p. 28-40, 2007. ISSN 1807-8281.

ANSONI, J. L. **Resolução de um problema térmico inverso utilizando processamento paralelo em arquiteturas de memória compartilhada**. 2010. 139 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

BABBIE, Earl. **Métodos de pesquisas de Survey**. Tradução Guilherme Cezarino. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 1999, 519 p.

BAPTISTA, Elesandro Antonio. **Desenvolvimento de um Sistema Especialista para a Otimização do Processo de Usinagem Baseado na WEB**. 2004. 213 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara d'Oeste, 2004.

BAPTISTA, E. A.; COPPINI, N. L. Otimização de processos de usinagem: uma abordagem para sistemas de fabricação flexível que foi implementada em um sistema baseado na Web. Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação. **Anais...** Estância de São Pedro: Anais do Congresso, 2007. p. 1-9.

BATISTA, E. A.; MANOCHIO, K. D. Disponibilizando Dados de um sistema escrito em COBOL para serem consultados em ambiente WEB : Um Estudo de Caso. **Revista Network Technologies**, v. 3, n. 1, p. 1-12, 2009. ISSN: 1809-5240.

BENEVENUTO, F.; ALMEIDA, J. M.; SILVA, ALTIGRAN, S. Explorando Redes Sociais Online: Da Coleta e Análise de Grandes Bases de Dados às Aplicações. XXIX Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos. **Anais...** Campo Grande, MS: SBRC., 2011. p. 64-102.

BIBEAULT, B.; KATZ, Y. **jQuery in Action**. 2 ed. Greenwich, CT: Manning Publications Co., 2008. p. 475. ISBN 1-935182-32-3.

BOOCH, G.; MAKSIMCHUK, R. A.; ENGLE, M. W. *et al.* **Object-Oriented Analysis and Design with Applications**. 3 ed. Boston, MA: Addison-Wesley Professional, 2007. v. 1, p. 720. ISBN 0-8053-5340-2.

BRANNAN, J. A. **Brilliant HTML & CSS**. 1 ed. Edinburgh, UK: Pearson Education, 2009, p. 304. ISBN: 978-0-273-72152-9.

CABRITA, D. M.; GODOY JÚNIOR, W. *PNG Optimization Techniques Applied to Lossless Web Images*. **Revista IEEE América Latina**, v. 10, n. 1, p. 1398-1401, 2012.

CHAFFER, J.; SWEDBERG, K. **Learning jQuery 1.3 - Better Interaction Design and Web Development with Simple JavaScript Techniques**. Birmingham, UK: Packt Publishing Ltd., 2009. p. 421. ISBN 978-1-847196-70-5.

CHIAVENATO, I.; SAPIRO, A. **Planejamento Estratégico**. 2 ed. Rio de Janeiro : Elsevier, 2009. p. 341.

CLEMENTSEN, D. S.; HE, Z. *Vertical Partitioning for Flash and HDD Database Systems*. **The Journal of Systems & Software**, v. 83, n. 11, p. 2237-2250, 2010. DOI: 10.1016/j.jss.2010.06.044.

COPPINI, N. L.; BAPTISTA, E. A. Sistema Especialista em Usinagem : MOS – Machining Optimizer System. **Revista Ciências Exatas**, p. 49-58, 2007. ISSN 2176-8625.

COPPINI, N. L.; MALAQUIAS, J. C. Gerenciamento em usinagem – proposta para cenário de fabricação flexível. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, ENEGEP. Niterói, RJ, 1998.

COPPINI, N. L. ; ROSA, A. F. C. ; LIBRANTZ, A. F. H. ; CARVALHO, A. A. M. . *Simulated Annealing Applied to Minimize the Idleness and Maximize the Contribution Margin for Generics Flexibles Machining Cells. In: 2nd International Conference on Engineering Optimization*, 2010. Lisboa, 2010. v. 1. p. 1-8.

DALL’OGLIO, P. **PHP - Programando com Orientação a Objetos**. 1 ed. São Paulo: Editora Novatec, 2007. p. 580. ISBN: 978-85-7522-137-2.

DATE, C. J. **Introdução a Sistemas de Banco de Dados**. 8 ed. São Paulo: Campus, 2004. p. 803. ISBN 8535212736.

DATTA, R.; DEB, K. *A classical-cum-Evolutionary Multi-objective optimization for optimal machining parameters. 2009 World Congress on Nature & Biologically Inspired Computing (NaBIC)*, p. 607-612, 2009. DOI: 10.1109/NaBIC.2009.5393425.

DIAS, A. L.; FORTES, R. P. M.; MASIERO, P. C.; GOULARTE, R. Uma Revisão Sistemática sobre a inserção de Acessibilidade nas fases de desenvolvimento da Engenharia de Software em sistemas Web. Simpósio de Fatores Humanos em Sistemas Computacionais. Workshop sobre Aspectos da Interação Humano-Computador na Web Social, 2010, Belo Horizonte. **Anais...** Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2010. v. 2. p. 39-48.

DICKSON, T. J.; TERWIEL, F. A.; WADDINGTON, G.; TRATHEN, S. Evaluation of the use of a GPS data-logging device in a snowsport environment. **Procedia Engineering**, v. 13, n. 0, p. 470-475, 2011. DOI: 10.1016/j.proeng.2011.05.116.

DING, L.; MATTHEWS, J. *A contemporary study into the application of neural network techniques employed to automate CAD/CAM integration for die manufacture. Computers & Industrial Engineering*, v. 57, n. 4, p. 1457-1471, Nov. 2009. ISBN 020189551X. DOI: 10.1016/j.cie.2009.01.006.

DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N. L. **Tecnologia de Usinagem dos Materiais**. 6 ed. São Paulo, SP: Artliber Editora, 2008. p. 262.

ENGARD, N. C. *LimeSurvey <http://limesurvey.org>. Public Services Quarterly*, v. 5, n. 4, p. 272-273, 2009.

FERRARESI, D. **Fundamentos da Usinagem dos Metais**. 11 ed. Edgard Blucher, 203. p. 751.

FERREIRA FILHO, O. F.; FERREIRA, M. A. G. V. Serviços Semânticos: uma Abordagem RESTful. In: IADIS Conferência Ibero-Americana WWW/Internet - CIAWI 2009, 2009, Madrid, Spain. **Annals...** Madrid, Spain, 2009. p. 35-46.

- FLEURY, A. O que é Engenharia de Produção. In: BATALHA, M. O. (Org.). **Introdução à Engenharia de Produção**. 1 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008. p. 1.
- FREITAS, W. DA S.; RAMOS, M. M.; COSTA, S. L. DA. Demanda de irrigação da cultura da banana na bacia do Rio São Francisco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, p. 343-349, 2008.
- GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 5 ed. São Paulo: Atlas, 2010. p. 184. ISBN 978-85-2245-823-3.
- GOUVEIA, L. B.; RANITO, J. V. **Sistemas de Informação de Apoio à Gestão**. Cidade do Porto: SPI - Sociedade Portuguesa de Inovação, 2004.
- GRIVOL, Rafael Furlan. **Implementação de Melhorias (Aperfeiçoamento) no Sistema MOS para Otimização do Processo de Usinagem**. 2007. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Faculdade de Engenharia Mecânica e de Produção, Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara d’Oeste, 2007.
- GUO, J.; CHAISATIEN, P.; HAN, H.; NORO, T.; TOKUDA, T. *Partial Information Extraction Approach to Lightweight Integration on the Web*. **Current Trends in Web Engineering**. Springer Berlin / Heidelberg, 2010. v. 6385p. 372-383. ISBN 978-3-642-16984-7. DOI: 10.1007/978-3-642-16985-4\_33.
- GÓMEZ-PÉREZ, A. **Bancos de dados, glossários, taxonomias e tesouros para construir e enriquecer ontologias**. 3º Seminário de Pesquisa em Ontologia no Brasil. Florianópolis, SC. Ago. 2010.
- HANWU, H.; YUEMING, W. *Web-based virtual operating of CNC milling machine tools*. **Computers in Industry**, v. 60, n. 9, p. 686-697, 2009.
- HARRIS, B. A. *Core HTML*. **Image Rochester NY**, p. 1-6, 2009.
- HENLEY, M. *Open source software: an introduction*. **Computer Law & Security Report**, v. 24, p. 77-85, 2008.
- HOLZE, M.; RITTER, N. *Data & Knowledge Engineering System models for goal-driven self-management in autonomic databases*. **DATAK**, v. 70, n. 8, p. 685-701, 2011. DOI: 10.1016/j.datak.2011.03.001.
- IRRIGA. **Sistema Irriga - Ferramenta de Apoio à Decisão na Área de Agricultura Irrigada**. [On-line] Disponível em: <<http://www.sistemairriga.com.br>>. Acesso em: 14 de julho de 2012.
- JAMIL, D.; ZAKI, H. *Security Implication of Soap and Webservice Interface to the Cloud Computing System*. **International Journal of Engineering Science**, v. 3, n. 4, p. 3472-3478, 2011.

- KEMP, R. *Current developments in Open Source Software*. **Computer Law & Security Review**, v. 25, n. 6, p. 569-582, 2009. DOI: 10.1016/j.clsr.2009.09.009.
- KULPA, C. C.; TEIXEIRA, F. G.; SILVA, R. P. Um Modelo de Cores na Usabilidade das Interfaces Computacionais para os Deficientes de Baixa Visão. **Design & Tecnologia**, v. 1, n. 1, p. 66-78, 2010.
- KULPA, C. C.; PIERRE, R. A Influência das Cores na Usabilidade de Interfaces Através do *Design* Centrado no Comportamento Cultural do Usuário. **Perspectivas em Gestão & Conhecimento**, v. 1, n. 1, p. 119-136, 2011. ISSN 2236-417X.
- LAWSON, B.; SHARP, R. **Introducing HTML 5**. 2 ed. Berkeley, CA: New Riders 2011, p. 240. ISBN 0-321-78442-1.
- LI, Z.; LI, S.; ZHOU, M. *Study on Dynamic Simulation and Cutting Parameters Optimization on Complex Cutting Conditions Milling Process*. **2010 International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation**, p. 501-504, May. 2010. DOI: 10.1109/ICICTA.2010.240.
- LIBRANTZ, A. F. H.; COPPINI, N. L.; BAPTISTA, E. A.; ALVES DE ARAÚJO, S.; CASTELLO ROSA, A. D. F. *Genetic Algorithm Applied to Investigate Cutting Process Parameters Influence on Workpiece Price Formation*. **Materials and Manufacturing Processes**, v. 26, n. 3, p. 550-557, 11 abr 2011. DOI: 10.1080/10426914.2010.512817.
- LIN, A. I. W.; SANTOS, F. P. DOS; MAGGI, L. E.; SILVA LOPES, R. DA. *SYSNAPSE: Electronic physical therapeutic record for neurofuncionnal evaluation*. In: *Pan American Health Care Exchanges (PAHCE)*, 2011, Rio de Janeiro. **Annals...** Health Care Exchanges (PAHCE), 2011 Pan American, 2011. p. 275-279. DOI: 10.1109/PAHCE.2011.5871903.
- LÓPEZ, J. *MySQL Workbench, la mejor herramienta de modelado de bases de datos*. **Todo Linux: la revista mensual para entusiastas de GNU**, v. 1, n. 1, p. 58-61, 2009.
- MERCER, D. W.; KENT, A.; NOWICKI, S. D. *et al.* **Beginning PHP 5**. Indianapolis: Wiley Publishing, Inc, 2004. p. 888. ISBN 0764557831.
- MGHEDER, M. A.; RIDLEY, M. J. *Automatic Generation of Web User Interfaces in PHP Using Database Metadata*. In: *2008 Third International Conference on Internet and Web Applications and Services*. **Annals...** Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2008. DOI: 10.1109/ICIW.2008.100.
- MONTOYA, Cynara Viterbo. **Desenvolvimento de um sistema computacional de gerenciamento de riscos em processos de radioesterilização de tecidos biológicos**. 2010. Tese (Doutorado em Tecnologia Nuclear - Aplicações) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.



MUNIZ, N.; ALVES, M.; CARVALHO, W. D. S.; CARDOSO, A.; AFONSO, E. Um estudo de caso industrial sobre integração de práticas ágeis no RUP. **Revista Ciência e Tecnologia**, v. 14, n. 24, p. 1-11, 2011.

MURTHY, A. R. C.; PALANI, G. S.; IYER, N. R. *Advances in Engineering Software Object-oriented programming paradigm for damage tolerant evaluation of engineering structural components*. **Advances in Engineering Software**, v. 42, n. 1-2, p. 12-24, 2011. DOI: 10.1016/j.advengsoft.2010.10.012.

NIELSEN, J.; PERNICE, K. **Eyetracking Web Usability**. 1 ed. Berkeley, CA: Person Education, 2010. p. 438. ISBN 10: 0-321-49836-4.

OLIVEIRA, A. M. D. **Search Engine Optimization – SEO: a contribuição do bibliotecário na otimização de Websites para os mecanismos de busca**. *Perspectivas em Gestão & Conhecimento*, João Pessoa, v. 1, número especial, p. 137-159, out. 2011.

OLIVEIRA, C. S.; SOUZA, C. R. B. DE; REIS, C. A. L. Estudo da Alocação de Pessoas em Projetos de Software através da Teoria Fundamentada em Dados. In: *6th Experimental Software Engineering Latin American Workshop ( ESELAW 2009 )*. **Anais...** São Carlos, Brasil: UFSCar. , 2009.

OLIVEIRA, M. A. F.; ZEN, E.; NUNES, R. C. Uma Metodologia de Gestão de Segurança da Informação. ENEGEP - Encontro Nacional de Engenheiros de Produção. **Anais...** Rio de Janeiro: XXVIII ENEGEP - “A Integração de Cadeias Produtivas com a Abordagem da Manufatura Sustentável.”, 2008.

O’BRIEN, J. **Sistemas de Informação e as Decisões Gerenciais na Era da Internet**. 3. ed. São Paulo, Brasil: Editora Saraiva, 2010. p. 492.

PAULO, J.; PRESTES, M.; HÖLBIG, C. A. Web Service para previsão de tempo e clima através de dados georeferenciados. **Revista Brasileira de Computação Aplicada**, v. 3, n. 2, p. 2-16, 2011.

PRESSMAN, R. **Engenharia de Software**. 6. ed. São Paulo: Makron Books, 2006. p. 720.

PRESSMAN, R. S. **Engenharia de Software - Uma Abordagem Profissional**. 7. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011. p. 780.

RAMSIN, R.; PAIGE, R. F. *Process-centered review of object oriented software development methodologies*. **ACM Comput. Surv.**, v. 40, n. 1, p. 3:1-3:89, 2008.

RAO, R. V.; PAWAR, P. J.; DAVIM, J. P. *Parameter Optimization of Ultrasonic Machining Process Using Nontraditional Optimization Algorithms*. **Materials and Manufacturing Processes**, v. 25, n. 10, p. 1120-1130, Dez. 2010.

RICHARDS, G.; LEBRESNE, S.; BURG, B.; VITEK, J. *An analysis of the dynamic behavior of JavaScript programs*. **2010 ACM SIGPLAN conference on**

**Programming language design and implementation PLDI 10**, v. 45, n. 6, p. 1, 2010.

ROCHA, H. V. DA; BARANAUSKAS, C. C. **Design e Avaliação de Interfaces Humano-Computador**. 1 ed. Campinas, SP: NIED/UNICAMP, 2003. p. 244.

ROLANDSSON, B.; BERGQUIST, M.; LJUNGBERG, J. *Open source in the firm : Opening up professional practices of software development*. **Research Policy**, v. 40, n. 4, p. 576-587, 2011. DOI: 10.1016/j.respol.2010.11.003.

ROSA, Aparecida de Fátima Castello. **Um Estudo Comparativo das Técnicas Metaheurísticas Algoritmo Genético e Simulated Annealing Aplicadas a Sistemas de Apoio à Decisão para Otimização de Parâmetros em Processos de Usinagem**. 2011. 177 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Nove de Julho, 2011.

RYCHLICKI, T. *GPLv3 : New Software Licence and New Axiology of Intellectual Property Law*. **European Intellectual Property Review**, Volume 30, Issue 6, 2008. p. 232.

SACILOTTI, Adaní Cusin. **A Importância da Tecnologia da Informação nas Micro e Pequenas Empresas: um estudo exploratório na região de Jundiá**. 2011. Dissertação (Mestrado em Administração). Faculdade Campo Limpo Paulista, 2011.

SILVA, M. S. **jQuery A Biblioteca do Programador JavaScript**. 1 ed. São Paulo: Novatec, 2008. p. 432. ISBN 978-85-7522-178-5.

SINTES, A. **Aprenda Programação Orientada a Objetos em 21 Dias**. São Paulo, SP: Makron Books, 2002. p. 718.

SOUSA, L. C. D. D. M.; FILHO, H. L. A. S.; GLEHN, C. D. Q. C. VON; *et al.* *EpHLA: an innovative and user-friendly software automating the HLA Matchmaker algorithm for antibody analysis*. **Transplant Immunology**, v. 25, n. 4, p. 210-6, Dez 2011.

SOUZA, A. C.; GOLDSTAIN, C. Tecnologia da informação aplicada a gestão empresarial: um modelo para a empresa digital. VI SEMEAD. **Anais...** São Paulo: FEA-USP. , 2003.

STAIR, R. M.; REYNOLDS, G. W. **Princípios de Sistemas de Informação - Tradução da 6ª Edição Norte-Americana**. 6 ed. [S.I.]: Thomson, 2006. p. 672.

TANGJITSITCHAROEN, S.; MORIWAKI, T. *Intelligent identification of turning process based on pattern recognition of cutting states*. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 192-193, p. 491-496, 1 out 2007. DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2007.04.043.

TRENT, S.; TATSUBORI, M.; SUZUMURA, T.; TOZAWA, A.; ONODERA, T. *Performance comparison of PHP and JSP as server-side scripting languages*.

- Annals... Middleware 08 Proceedings of the 9th ACMIFIPUSENIX International Conference on Middleware.** Springer, 2008
- TUESDAY, L. U. **PHP Database Integration With MySQL.** Upper Saddle River, NJ: Pearson Education, Inc., March 2007. p. 720.
- USHER, W. *Developing policies for e-health: use of online health information by Australian health professionals and their patients.* **The HIM journal**, v. 40, n. 2, p. 6-13, 2011.
- VIEIRA, F. J. R.; NUNES, M. A. S. N. DICA: Sistema de Recomendação de Objetos de Aprendizagem Baseado em Conteúdo. **Scientia Plena**. v. 8, p. 1-10, 2012.
- WAINER, J. Métodos de pesquisa quantitativa e qualitativa para a Ciência da Computação. (T. Kowaltowski & K. Breitman, Eds.) Atualização em informática. **Anais... Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação: PUC-Rio, 2007.**
- YANG, Y.; WILSON, L. T.; WANG, J.; LI, X. *Development of an integrated Cropland and Soil Data Management system for cropping system applications.* **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 76, n. 1, p. 105-118, 2011. DOI: 10.1016/j.compag.2011.01.012.
- YANG, Y.-K.; CHUANG, M.-T.; LIN, S.-S. *Optimization of dry machining parameters for high-purity graphite in end milling process via design of experiments methods.* **Journal of Materials Processing Technology**, v. 209, n. 9, p. 4395-4400, May. 2009. DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2008.11.021.
- YU, L.; GAO, W.; AN, Q. *et al.* *Data resource management according to customer requirements.* **Mathematical and Computer Modelling**, v. 54, n. 3-4, p. 895-901, 2011. DOI: 10.1016/j.mcm.2010.11.013.
- YUE, Z. **Generating Images using PHP.** [S.l.]: Mikkeli University of Applied Sciences, 2010.
- YUEN, K. K. F.; LAU, H. C. W. *Software Vendor Selection using Fuzzy Analytic Hierarchy Process with ISO / IEC 9126.* **IAENG International Journal Science**, v. 3. p. 1-8, August, 2008.
- ZAKAS, N. C. **Professional JavaScript for Web Developers.** 2. ed. Indianapolis, In: Wiley Publishing, Inc, 2009. p. 841.
- ZAREI, O.; FESANGHARY, M.; FARSHI, B.; SAFFAR, R. J.; RAZFAR, M. R. *Optimization of multi-pass face-milling via harmony search algorithm.* **Journal of Materials Processing Technology**, v. 209, n. 5, p. 2386-2392, Mar. 2009. DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2008.05.029.
- ZHANG, J.; CHEN, J.; KIRBY, E. *Surface roughness optimization in an end-milling operation using the Taguchi design method.* **Journal of Materials**

***Processing Technology***, v. 184, n. 1-3, p. 233-239, Apr. 2007. DOI:  
10.1016/j.jmatprotec.2006.11.029.

ZHENG, L.; YANG, X.; ZHANG, Z.; LIU, T. *A Web-based machining parameter selection system for life cycle cost reduction and product quality enhancement.* ***Computers in Industry***, v. 59, n. 2-3, p. 254-261, Mar. 2008. DOI:  
10.1016/j.compind.2007.06.009.

## REFERÊNCIAS CONSULTADAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6023: informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro, 2002.

\_\_\_\_\_. NBR ISO/IEC 9126: Engenharia de software: qualidade de produto. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. NBR ISO 9241-11: Requisitos ergonômicos para o trabalho com dispositivos de interação visual: orientações sobre usabilidade. Rio de Janeiro, 2011.

\_\_\_\_\_. NBR ISO 9241-100: Ergonomia da interação homem-sistema: introdução às normas relacionadas à ergonomia de software. Rio de Janeiro, 2012.

\_\_\_\_\_. NBR ISO 9241-151: Ergonomia da interação homem-sistema: orientações para interfaces de usuários World Wide Web. Rio de Janeiro, 2012.

\_\_\_\_\_. NBR 10520: Informação e documentação: citações em documentos: apresentação. Rio de Janeiro, 2002.

\_\_\_\_\_. NBR ISO/IEC 12207: Engenharia de sistemas e software: processos do ciclo de vida de software. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. NBR 14724: Informação e documentação: trabalhos acadêmicos: apresentação. Rio de Janeiro, 2011.

DING, L.; MATTHEWS, J. *A contemporary study into the application of neural network techniques employed to automate CAD/CAM integration for die manufacture. Computers & Industrial Engineering*, v. 57, n. 4, p. 1457-1471, Nov. 2009.

EL-HOSSAINY, T. M.; EL-ZOGHBY, A. A.; BADR, M. A.; MAALAWI, K. Y.; NASR, M. F. *Cutting Parameter Optimization when Machining Different*

*Materials. Materials and Manufacturing Processes*, v. 25, n. 10, p. 1101-1114, Dez. 2010.

ERGU, D.; KOU, G.; SHI, YONG; SHI, YU. *Analytic network process in risk assessment and decision analysis. Computers & Operations Research*, p. 1-17, Mar. 2011.

GEN, M.; LIN, L.; ZHANG, H. *Evolutionary techniques for optimization problems in integrated manufacturing system: State-of-the-art-survey. Computers & Industrial Engineering*, v. 56, n. 3, p. 779-808, Apr. 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA: Normas de apresentação tabular. 3. ed. Rio de Janeiro, 1993.

JAGANNADHAM, D.; RAMACHANDRAN, V.; KUMAR, H. N. H. *Java2 distributed application development (Socket, RMI, Servlet, CORBA) approaches, XML-RPC and Web services functional analysis and performance comparison. In: International Symposium on Communications and Information Technologies (ISCIT 200). Annals... Sydney, NSW: Sydney, 2007. p. 1337-1342.*

KILICKAP, E.; HUSEYINOGLU, M. *Selection of Optimum Drilling Parameters on Burr Height Using Response Surface Methodology and Genetic Algorithm in Drilling of AISI 304 Stainless Steel. Materials and Manufacturing Processes*, v. 25, n. 10, p. 1068-1076, Dez. 2010.

LEE, K.; CHO, S.; ASFOUR, S. *Web-based algorithm for cylindricity evaluation using support vector machine learning. Computers & Industrial Engineering*, v. 60, n. 2, p. 228-235, Mar. 2011.

LI, X.; YOO, S. B. *Integrity validation in semantic engineering design environment. Computers in Industry*, v. 62, n. 3, p. 281-291, Apr. 2011.

ROSA, A. F. C.; LIBRANTZ, A. F. H.; COPPINI, N. L.; BAPTISTA, E. A.; ARAÚJO, S. A. *Simulated Annealing Technique Applied for Parameters Optimization in Machining Processes. CILAMCE. Anais... Búzios, Rio de Janeiro, Brasil: 30th Congresso Ibero-Latino-Americano de Métodos Computacionais em Engenharia, 2009.*

MAKHE, A.; FRANK, M. C. *Polygon subdivision for pocket machining process planning*. **Computers & Industrial Engineering**, v. 58, n. 4, p. 709-716, May. 2010.

OVALI, İ.; AKKURT, A. *Comparison of Burnishing Process with Other Methods of Hole Surface Finishing Processes Applied on Brass Materials*. **Materials and Manufacturing Processes**, v. 26, n. 8, p. 1064-1072, Ago. 2011.

PFEIFFER, A; KADAR, B.; MONOSTORI, L. *Stability-oriented evaluation of rescheduling strategies, by using simulation*. **Computers in Industry**, v. 58, n. 7, p. 630-643, Sep. 2007.

QUINTANA, G.; CIURANA, J. D.; RIBATALLADA, J. *Surface Roughness Generation and Material Removal Rate in Ball End Milling Operations*. **Materials and Manufacturing Processes**, v. 25, n. 6, p. 386-398, May. 2010.

RAMA KOTIAH, K.; SRINIVAS, J.; BABU, K. J.; SRINIVAS, K. *Prediction of Optimal Cutting States during Inward Turning: An Experimental Approach*. **Materials and Manufacturing Processes**, v. 25, n. 6, p. 432-441, May. 2010.

RANGANATHAN, S.; SENTHILVELAN, T.; SRIRAM, G. *Evaluation of Machining Parameters of Hot Turning of Stainless Steel (Type 316) by Applying ANN and RSM*. **Materials and Manufacturing Processes**, v. 25, n. 10, p. 1131-1141, Dec. 2010.

SARKAR, S.; GHOSH, K.; MITRA, S.; BHATTACHARYYA, B. *An Integrated Approach to Optimization of WEDM Combining Single-Pass and Multipass Cutting Operation*. **Materials and Manufacturing Processes**, v. 25, n. 8, p. 799-807, Jul. 2010.

YILDIZ, A. R. *A new design optimization framework based on immune algorithm and Taguchi's method*. **Computers in Industry**, v. 60, n. 8, p. 613-620, Out. 2009.

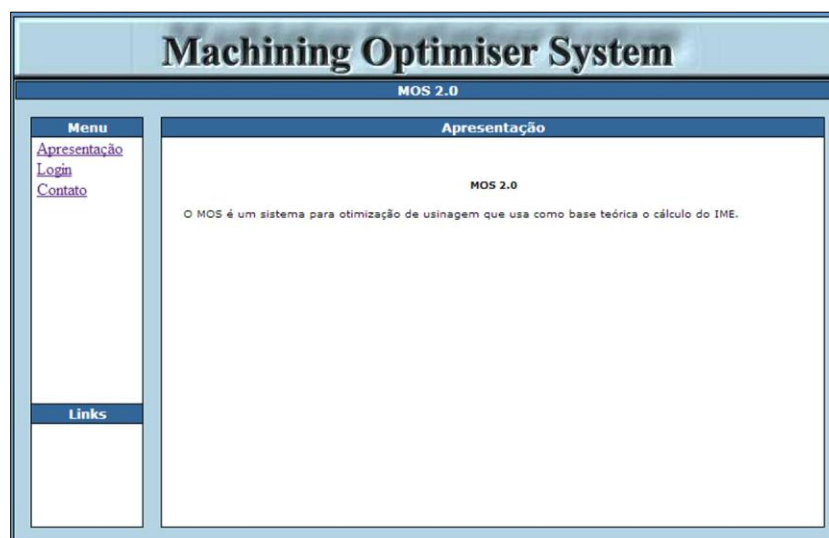
ZHAO, D.; XUE, D. *Parametric design with neural network relationships and fuzzy relationships considering uncertainties*. **Computers in Industry**, v. 61, n. 3, p. 287-296, Apr. 2010.

**ANEXO A — COMPARAÇÃO ENTRE ALGUMAS TELAS DO SISTEMA MOS 2  
E DO COPPISYS**



A seguir são apresentadas algumas telas comparativas entre o sistemas MOS 2 e o COPPISYS, a fim de demonstrar a evolução que o COPPISYS trouxe ao sistema anteriormente desenvolvido. A tela referente ao sistema MOS 2 é apresentada em primeiro lugar, seguida da tela correspondente do COPPISYS.

FIGURA 51 — TELA INICIAL DO MOS 2.



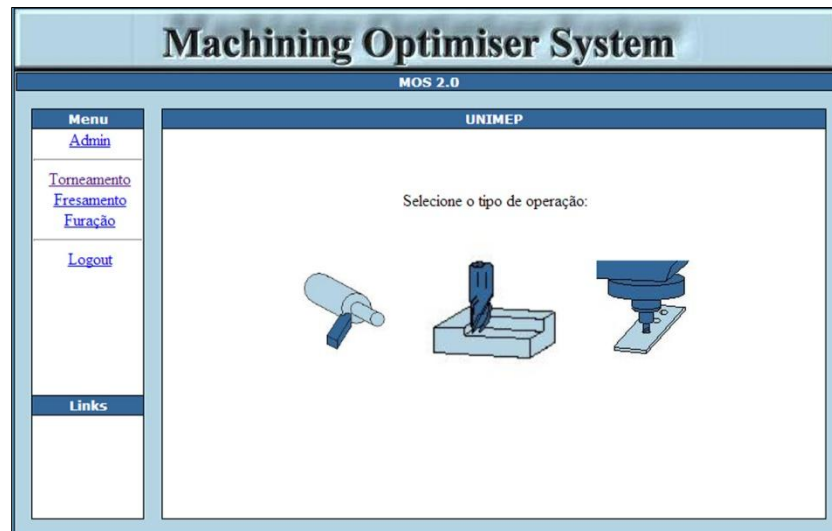
FONTE: (GRIVOL, 2007).

FIGURA 52 — TELA INICIAL DO COPPISYS.



FONTE: O AUTOR.

FIGURA 53 — TELA PRINCIPAL DO MOS 2.



FONTE: (GRIVOL, 2007).

FIGURA 54 — TELA PRINCIPAL DO COPPISYS.



FONTE: O AUTOR.

FIGURA 55 — TELA DE ALTERAÇÃO DE FERRAMENTA DO MOS 2.

**Machining Optimiser System**  
MOS 2.0

**Alterar Ferramenta**

**Informações da Ferramenta:**

Código:

Descrição:

Tempo de Troca:

Especial:

Quantidade Crítica:

Custo da Ferramenta:

FONTE: (GRIVOL, 2007).

FIGURA 56 — TELA DE ALTERAÇÃO DE FERRAMENTA DO COPPISYS.

**COPPISYS**

Painel de Otimização | Sistema de Ajuda On-line | Sair

**CONFIGURAÇÃO DAS FERRAMENTAS**

Na tabela abaixo são exibidas as ferramentas cadastradas no sistema. Para incluir ou alterar uma ferramenta, utilize os ícones correspondentes.

ID	Cód. da Ferramenta	Descrição	Fabricante	Especial	Ações
1	FER_01	CNMG 120408-M - GC 4035	SANDVIK	Não	
2	FER_02	CNMG 120408-M - GC 4035	SANDVIK	Não	

Registros: Listando 2 registros | Navegação: | Pesquisar: Digite o código/desc. ou parte:

**Alterar Dados da Ferramenta**

**Informações Sobre a Ferramenta**

Código : FER\_01

Descrição :

Tempo de Troca (min) :

Custo do Ferramental (R\$) :

Quantidade Crítica :

Especial : Não

Usuário On-line: Edson Souza

Painel de Controle

Configuração

- Ferramentas
- Máquinas
- Operações
- Peças
- Planejamento de Processos

Otimização

- Informar Vida
- Otimizações Realizadas

Usuários

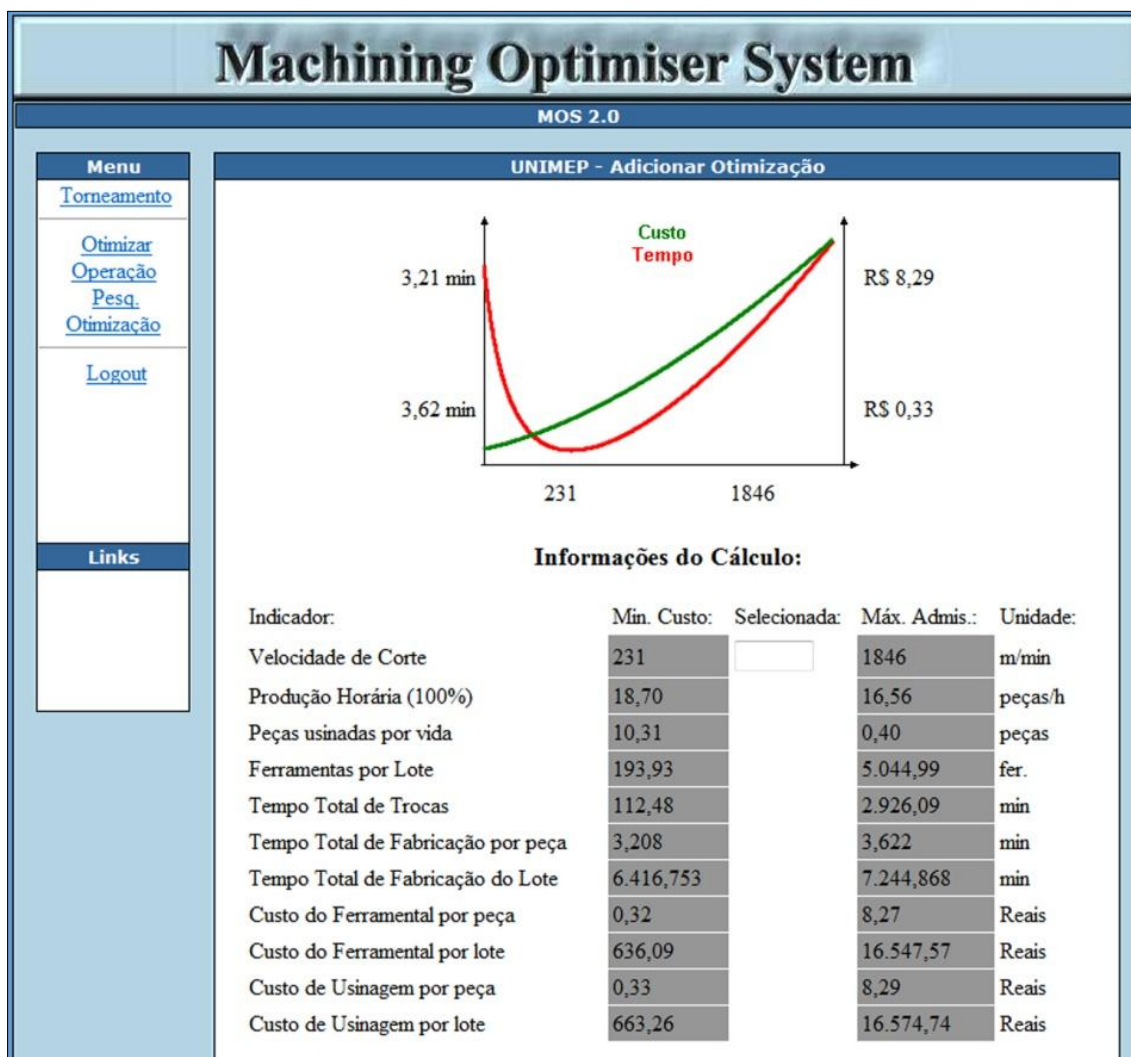
- Administrar

Empresa

- Configurar Ambiente
- Manutenção de Dados
- Info. Registro

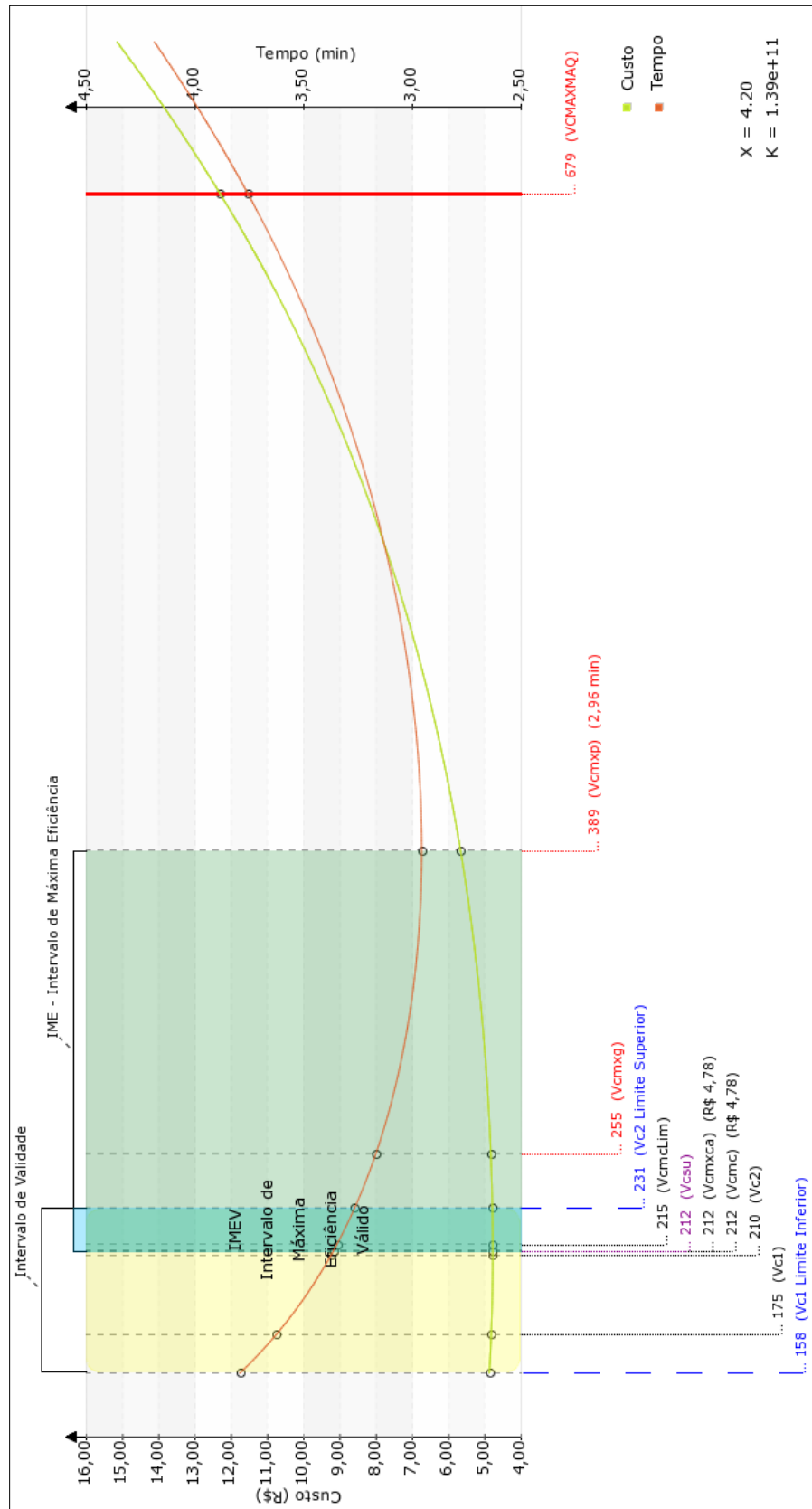
FONTE: O AUTOR.

FIGURA 57 — TELA DE RESULTADO DE UMA OTIMIZAÇÃO DO MOS 2.



FONTE: (GRIVOL, 2007).

FIGURA 58 — RESULTADO GRÁFICO DE UMA OTIMIZAÇÃO DO COPPISYS.



FONTE: O AUTOR.



FIGURA 59 — RESULTADO TABULAR DE UMA OTIMIZAÇÃO DO COPPISYS (TVO).

**Velocidades de Corte (m/min) para: Processo [PROC\_02] - Otimização [OT\_2] - Versão (1) - Data (02/11/2012)**

Abaixo são exibidos os resultados obtidos com os valores informados da Primeira e Segunda velocidades de Corte. Também é possível especificar uma nova velocidade de corte para comparação (V<sub>cmóvel</sub>).

Caso queira efetuar uma comparação entre duas velocidades de corte que pertencem ao IME acima, faça a seleção por meio das caixas de Seleção abaixo e, no final da tabela, pressione o botão "Comparar as Velocidade Seleccionadas"

### Tabela de Velocidades Otimizadas (TVO)

As velocidades que determinam o intervalo de Confiança são: **158 e 231** (m/min)

Descrição	Adotar		Adotar		Adotar		Adotar		Adotar		Adotar		Adotar		Adotar	
	V <sub>C1</sub> *0.9	V <sub>C1</sub>	V <sub>C2</sub>	V <sub>cmc</sub>	V <sub>cmxca</sub>	V <sub>csu</sub>	V <sub>cmclm</sub>	V <sub>C2</sub> * 1.1	V <sub>cmxg</sub>	V <sub>cmxp</sub>	Lim. Inferior	Inicial	Final	Normal	Flexível	Lim. Superior
<b>Parâmetros do Processo</b>	<b>158</b>	<b>175</b>	<b>210</b>	<b>212</b>	<b>212</b>	<b>212</b>	<b>215</b>	<b>231</b>	<b>255</b>	<b>389</b>						
Velocidade de Corte	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Avanço	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Profundidade da Usinagem	46,26	33,36	18,62	18,06	18,06	18,06	17,27	13,73	10,01	2,59						
Número de peças por vida	43,23	59,94	107,41	110,71	110,71	110,71	115,80	145,69	199,87	771,69						
Número de arestas pelo lote	10,81	14,99	26,85	27,68	27,68	27,68	28,95	36,42	49,97	192,92						
Número de insertos pelo lote	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000						
Número de peças do lote	0,04	0,06	0,13	0,14	0,14	0,14	0,15	0,20	0,30	1,77						
Custo da aresta por vida	141,79	196,62	352,29	363,14	363,14	363,14	379,83	477,87	655,59	2.531,16						
Custo total de arestas pelo lote	0,07	0,10	0,18	0,18	0,18	0,18	0,19	0,24	0,33	1,27						
Custo ferramenta por peça	4,88	4,83	4,79	4,78	4,78	4,78	4,79	4,80	4,84	5,68						
Custo total de produção por peça (Kp)	9,758,26	9,654,36	9,570,14	9,569,97	9,569,97	9,569,97	9,570,58	9,591,30	9,675,75	11,350,53						
Custo total de produção do lote	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00						
Preço de Venda por Peça	14,000,00	14,000,00	14,000,00	14,000,00	14,000,00	14,000,00	14,000,00	14,000,00	14,000,00	14,000,00						
Preço Total de Venda do Lote	6,987,79	7,259,07	7,647,35	7,662,88	7,662,88	7,662,88	7,664,86	7,775,39	7,827,41	6,246,02						
Gainho	15,82	16,54	17,78	17,84	17,84	17,84	17,83	18,37	18,94	20,29						
<b>Tempos</b>																
Produção horária	3,79	3,63	3,38	3,36	3,36	3,36	3,35	3,27	3,17	2,96						
Tempo total de produção por peça	1,76	1,59	1,33	1,31	1,31	1,31	1,30	1,21	1,09	0,72						
Tempo de corte por peça	7,587	7,254	6,751	6,728	6,728	6,728	6,694	6,532	6,336	5,915						
Tempo total de produção do Lote (min)	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58						
Tempo de troca da ferramenta	6,27	8,69	15,57	16,05	16,05	16,05	16,79	21,13	28,98	111,90						
Tempo total de trocas	81,60	53,13	24,71	23,75	23,75	23,75	22,39	16,56	10,94	1,86						
Tempo de vida da aresta de corte	0,0125	0,0174	0,0311	0,0321	0,0321	0,0321	0,0336	0,0423	0,0560	0,2238						
Tempo de troca da aresta por peça	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02	2,02						
Tempos improdutivos																

FONTE: O AUTOR.