

UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA
COORDENAÇÃO GERAL DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**Proposta de Um Método Para Identificação
do Ferramental de Grupo Baseado em
Análise de Agrupamentos**

Autor: Prof. Antonio Nelson Corrêia Filho

Santa Bárbara d'Oeste, SP
Maio de 1998

Proposta de Um Método Para Identificação do Ferramental de Grupo Baseado em Análise de Agrupamentos

Autor: Prof. Antonio Nelson Corrêia Filho

Orientador: Prof. Dr. Nivaldo Lemos Coppini

Orientador Assistente: Prof. MSc. Nelson Carvalho Maestrelli

Dissertação apresentada à Banca Examinadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da UNIMEP como exigência parcial para obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Produção, Área de Concentração em Gerência da Produção.

Santa Bárbara d'Oeste, SP
Maio de 1998

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Nivaldo Lenos Coppini (Orientador)



Prof. MSc. Nelson Carvalho Maestrelli (Orientador Assistente)



Prof. Dr. Milton Vieira Junior



Prof. Dr. Valder Steffen Junior

Dedicatória

à Angela de Fátima Kanesaki.

Agradecimentos

- a Deus pela oportunidade;
- aos Professores MSc. Nelson Carvalho Maestrelli e Dr. Nivaldo Lemos Coppini, pela orientação deste trabalho;
- aos Professores Dr. Milton Vieira Júnior, Dr. Silvio Roberto I. Pires e Dr. Paulo A. C. Miguel, pelas opiniões e incentivos ao desenvolvimento do trabalho;
- a Professora Dra. Ione Corrêa, pela atenção e incentivo em todos os meus estudos;
- aos meus Pais, pelo incentivo em todos os momentos da minha vida;
- ao Eng. MSc. Carlos Eduardo Costa, pela colaboração na pesquisa;
- aos colegas do CCE e CT da UNIMEP, pela atenção e incentivos recebidos;
- a Indústria RKM EQUIPAMENTOS HIDRAÚLICOS LTDA e seus supervisores de produção, que colaboraram com os dados para a realização deste trabalho;
- a todos que ajudaram de forma direta ou indireta na conclusão deste trabalho.

Sumário

1	Introdução.....	1
1.1	Caracterização da estrutura industrial brasileira frente aos desafios da globalização.....	1
1.2	O aprendizado frente às mudanças tecnológicas.....	4
2	Etapas da Passagem da Manufatura Convencional para Manufatura Flexível.....	7
2.1	Considerações iniciais.....	7
2.2	Redução de tempos de preparação de máquinas.....	13
2.2.1	Considerações iniciais.....	13
2.2.2	Definição/Abrangência dos tempos de preparação.....	14
2.2.3	Ferramental de grupo.....	17
2.2.4	Sistema “SMED”.....	17
2.2.5	Sistema “RETAD”.....	26
2.3	Fundamentos da formulação matricial.....	28
2.3.1	Considerações iniciais.....	28
2.3.2	Algoritmos de agrupamentos.....	31
3	Aplicação da Formulação Matricial para Identificação de Famílias de Ferramental: Método Proposto.....	39
3.1	Considerações iniciais.....	39
3.2	Método para identificação.....	39
3.3	Definição de conjuntos iniciais (Ci).....	42
3.4	Adequação ferramentas x peças.....	43

3.5	Matriz de adequação.....	48
4	Aplicação do Método	55
4.1	Exemplo de aplicação I: Aplicação do método ao centro de torneamento CNC do laboratório de comando numérico da Universidade.....	55
4.2	Exemplo de aplicação II: Ambiente Industrial	59
5	Análise dos Resultados Obtidos.....	72
6	Conclusões e Propostas para Novos Trabalhos.....	75
	Referências Bibliográficas.....	77
	Bibliografias Consultadas	82
	Anexo 1	84

Resumo

Este trabalho propõe o uso de análise de agrupamentos para desenvolver um método de identificação do ferramental de grupo.

Ele visa resolver o problema dos tempos de preparação que ocorre na manufatura celular, quando são processadas famílias de peças em grupos de máquinas, sob condições variáveis de tamanhos de lote, prioridades de fabricação e sequenciamento da produção.

O método propõe eliminar os tempos improdutivos usando um único conjunto de ferramentas para toda a família de peças.

Este trabalho inclui um estudo de caso para validação do método proposto.

Palavras Chave

Análise de Agrupamento, Ferramental de Grupo, Otimização de Ferramentas

Abstract

A CUTTING-TOOL OPTIMIZATION METHOD ON CLUSTER ANALYSIS

This work proposes the use of cluster analysis to develop an identification group tooling method. It aims to solve the set up time problem that occurs in cellular manufacturing when families of parts have to be processed in machine groups under variable conditions of lot sizes, priorities and sequencing. It proposes to eliminate improductive times using the same set of tools for all the parts family. The work includes a case study of the proposed method to evaluate it.

Key Words

Cluster Analysis, Group Tooling, Tool Optimization

Lista de Figuras

Nº	Nome	Pag.
2.1	Estágios da transição.....	8
2.2	Fases para implementação de uma célula.....	10
2.3	Utilização do tempo produtivo em operações de usinagem	15
2.4	A melhoria do método de preparação.....	16
2.5	Estágio conceituais e técnicas práticas do sistema “SMED”	19
2.6	Fluxograma para aplicação das oito técnicas “SMED”.....	22
2.7	Matriz de incidência.....	30
3.1	Matriz de incidência (aplicação).....	40
3.2	Matriz reordenada	40
3.3	Matriz de incidência (ferramentas x peças).....	41
3.4	Seleção de ferramenta de corte.....	44
3.5	Matriz de adequação MA1 / MA2.....	48
3.6	Matriz de adequação MA1 ampliada.....	49
3.7	Diagrama do método para identificação do ferramental de grupo.....	54
4.1	Matriz do torno CNC.....	55
4.2	Matriz adequação.....	56
4.3	Peça 1 (P1).....	57
4.4	Peça 2 (P2).....	58
4.5	Peça 3 (P3).....	58
4.6	Matriz de incidência ferramenta x peças – Centro de torneamento CNC	65
4.7	Matriz de incidência rearranjada	66
4.8	Conjuntos iniciais (primeira possibilidade).....	67

4.9	Conjuntos iniciais (segunda possibilidade).....	67
4.10	Matriz adequação (MA1)	68
4.11	Matriz adequação (MA2).....	69
4.12	Matriz adequação (MA3).....	70
4.13	Matriz adequação (MA4).....	71

Lista de Tabelas

Nº	Nome	Pag.
2.1	Aspectos estruturais da manufatura convencional.....	9
2.2	Aspectos estruturais da manufatura flexível.....	12
2.3	Características da metodologia “SMED”	21
2.4	Resumo dos estudos de caso “SMED”.....	25
2.5	Vantagens/desvantagens da metodologia “SMED”	25
2.6	Vantagens/desvantagens do algoritmo “ROC”	32
2.7	Vantagens/desvantagens do algoritmo “CIA”	33
2.8	Vantagens/desvantagens do algoritmo “CIA - MODIFICADO”.....	34
2.9	Vantagens/desvantagens do algoritmo “BEA”	35
2.10	Vantagens/desvantagens do algoritmo “SLC”	36
2.11	Vantagens/desvantagens do algoritmo “DCA”	37
2.12	Comparação: algoritmo básicos detalhados	37
3.1	Resumo para os conjuntos iniciais.....	53
4.1	Descrição da máquina utilizada no exemplo de aplicação I.....	56
4.2	Ferramentas utilizadas no exemplo de aplicação I	57
4.3	Descrição da máquina utilizada no exemplo de aplicação II	60
4.4	Características do processo para peça (P1).....	60
4.5	Características do processo para peça (P2).....	61
4.6	Características do processo para peça (P3).....	61
4.7	Características do processo para peça (P4).....	62
4.8	Características do processo para peça (P5).....	62
4.9	Características do processo para peça (P6).....	63

4.10	Características do processo para peça (P7).....	63
4.11	Características do processo para peça (P8).....	64
4.12	Eficiência do ferramental para cada solução.....	71
5.13	Níveis de adequação.....	72
5.14	Tempos de preparação em usinagem de cada peça	73
5.15	Situação atual/proposta para os tempos de preparação	74

Lista de Termos Utilizados

best practice: melhor prática

cluster analysis: análise de agrupamentos

commodities: designa um tipo particular de mercadoria em estado bruto.

group tooling: ferramental de grupo

job shop: arranjo funcional

just-in-time: sistema de produção “puxada” ou segundo a necessidade.

mix: designa um conjunto de itens a serem produzidos.

presetting: preparação prévia

quick response: resposta rápida.

total quality control: controle de qualidade total.

Lista de Siglas e Símbolos

AGV: “*Automatic Guided Vehicles*” - Veículos Guiados por Computador.

b_{ij} : Valor da adequação da ferramenta i à peças j .

BEA: “*Bond Energy Algorithm*” - Agrupamento de Acúmulo de Energia.

CBM: “*Cost-based Method*” - Método Baseado em Custos.

CIA: “*Cluster Identification Algorithm*” - Algoritmo de Identificação de Agrupamento.

Ci: Conjunto iniciais.

CNC: Controle Comando Numérico.

DCA: “*Direct Clustering Algorithm*” - Algoritmo de Agrupamento Direto.

E: Eficiência do processo

EBD: Estrutura Bloco Diagonal.

EFG: Eficiência de Ferramental de Grupo.

FMS: “*Flexible Manufacturing Systems*” - Sistemas Flexíveis de Manufatura.

IME: Intervalo de Máxima Eficiência

MA: Matriz Adequação.

MD: Metal Duro.

MI: Matriz de Incidência

MIDAS: Método Simplificado para Identificação de Agrupamentos.

MODROC: Algoritmo ROC modificado.

n: Número de peças da matriz de adequação.

NOTED: “*NonTouch Exchange of Die*” - Troca de Ferramentas em tempo mínimo.

NR: Número de Restrições.

OECD: Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico.

OTED: “*One Touch Exchange of Die*” - Troca de Ferramentas em um Único Toque.

P: Total de tempo para operação primária.

P_{EC}: Peça elemento composto

P&D: Pesquisa e Desenvolvimento.

PFA: “*Production Flow Analysis*” - Análise do Fluxo de Produção.

RETAD: “*Rapid Exchange of Tooling and Dies*” - Troca Rápida de Ferramentas e Matrizes..

ROC: “*Rank Order Clustering*” - Agrupamento por Ordem de Grandeza.

S: Total de tempo para operação secundária.

SLC: “*Single Linkage Clustering*” - Agrupamento por Ligação Simples

SMED: “*Single Minute Exchange of Die*” - Troca de Ferramenta Abaixo de Dez Minutos.

t: Número de ferramentas da matriz adequação

TG: Tecnologia de Grupo.

T_m: Capacidade de Ferramentas do Magazine da Máquina.

TRF: Troca Rápida de Ferramentas.

T_s: Número de Ferramentas da Solução.

Z: Número de “zeros” da matriz adequação.

Capítulo 1

Introdução

1.1 Caracterização da estrutura industrial brasileira frente aos desafios da globalização

O Brasil, após a segunda guerra mundial, apresentou uma extraordinária transformação industrial, comparado com os países em desenvolvimento. A estrutura industrial brasileira em 1980, alcançou alto grau de integração intersetorial e diversificação da produção. Os complexos químico e metal mecânico foram responsáveis por proporção significativa do produto total da indústria. Ademais, a estrutura industrial resultante era bem próxima da maior parte das economias da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD).

No entanto, as empresas industriais brasileiras, com poucas exceções, não desenvolveram capacitação inovativa própria, ao contrário do ocorrido em outros países, como a Coreia do Sul. A ausência de um padrão nítido de especialização da estrutura industrial brasileira e a dificuldade de integração com o mercado internacional, desestabilizou o processo de industrialização brasileira, inviabilizando a elaboração de uma política industrial e tecnológica, seguido à uma inflação acelerada e à estagnação da produção e queda da renda per capita.

O período de 1980-92, compreende o processo de crise e de paralisação do desenvolvimento da indústria brasileira. As categorias que mais sofreram foram exatamente aquelas que lideraram o crescimento no período anterior: bens de capital e duráveis de consumo (COUTINHO & FERRAZ, 1995).

Nos primeiros anos da década de 90, com a abertura do comércio internacional, a indústria brasileira foi submetida a um cenário competitivo que caracterizou diminuição do emprego, problema este que afeta e causa preocupação não apenas no Brasil, mas nos demais

países que compõem o sistema econômico mundial. Em comparação internacional, uma parte da indústria brasileira opera com tecnologia deficiente. Conforme COUTINHO & FERRAZ (1995) a indústria brasileira “...exibe atraso quanto às tecnologias de produto e dispense pequena fração do faturamento em atividade de P&D. Demonstra, ainda, limitada difusão dos sistemas de gestão de qualidade, tanto de produtos quanto dos processos de fabricação, e apresenta relativa lentidão na adoção das inovações gerenciais e organizacionais. do tipo *just-in-time*, *quick response*, *total quality control* e outras. Enquanto internacionalmente as empresas intensificam laços de colaboração, a maior parte da indústria brasileira resente-se de ausência de interação intensa entre usuário e produtor e carece de relacionamento mais cooperativo entre fornecedores e produtores...”

O mesmo autor observou que na indústria brasileira, em geral, com exceções das empresas de maior porte, não há incentivo ao treinamento e à formação de operários polivalentes. Há baixos níveis de produtividade e custos elevados, que comprometem a capacidade de competir em preços. A existência de outras deficiências tais como: lentidão de resposta a modificações a baixa flexibilidade, problemas de qualidade e desempenho dos produtos, limitam a capacidade da indústria de competir através de novos lançamentos. As empresas, além das defasagens técnicas e organizacionais, apresentam deficiências relacionadas à estrutura industrial.

No plano do comércio exterior, as exportações brasileiras caracterizam-se pela exportação de *commodities* como celulose, papel, suco de laranja, farelo de soja e minérios semiprocessados, mesmo com excelente desempenho causa uma certa inquietação, uma vez que a tendência no mercado internacional é crescente o investimento em setores industriais intensivos em recursos naturais e em energia, apresentando excesso de capacidade mundial.

“... A perda de posição do Brasil no *ranking* de exportadores mundiais na segunda metade dos anos 80 é expressiva e fala por si: o país caiu da 17^a posição em 1985 para a 23^a em 1992, sendo ultrapassado por Dinamarca, Malásia, Austrália, Cingapura e outros países. A erosão da competitividade brasileira foi expressiva em vários segmentos da indústria de transformação de maior valor agregado, notadamente na área automobilística e de bens de capital.” (COUTINHO & FERRAZ, 1995).

As exceções, empresas líderes em vários segmentos, desenvolveram capacitação tecnológica própria em produtos, com padrões mundiais de qualidade e produtividade. Num país, como o Brasil, é urgente uma política de competitividade de âmbito nacional, que visa a difusão das inovações técnicas e organizacionais.

As políticas de competitividade, que são praticadas hoje nos países da OECD, diferem das políticas industriais do pós-guerra. Com a concorrência externa e influenciados pelo Japão, os governos nacionais começam a delinear na segunda metade da década de 80, políticas de competitividade mais abrangentes, incluindo alguns dos instrumentos tradicionais da política industrial.

Algumas formas de fomento à competitividade como, infra-estrutura e serviços públicos; investimentos em educação, treinamentos e P&D, articulação de empresas, instituições de pesquisa pura e aplicada, infra-estrutura tecnológica; promoção da parceria entre o sistema financeiro e as empresas inovadoras, representam a oferta de externalidade e de oportunidades de cooperação.

Neste cenário, os principais instrumentos utilizados atualmente pelos países industrializados, face às suas políticas de competitividade podem ser classificadas em quatro categorias:

- poder de compra do setor público;
- intervenção direta para a reestruturação de setores, sob leis ou regulamentos temporários;
- requisitos de desenvolvimento para o investimento de risco estrangeiro;
- subvenções, incentivos e auxílios fiscais-financeiros, diretos e indiretos.

Ao longo dos anos 80, o fomento ao investimento industrial de caráter genérico, diminuiu principalmente em razão de reformas fiscais, que reduziram incentivos generalizados. Tal tipo de apoio, que em 1986 era responsável por 55% do montante de recursos públicos alocados aos programas de apoio à indústria, respondia por apenas 28% em 1989 (COUTINHO & FERRAZ, 1995).

A política se define, acabando com o auxílio indiscriminado. Assim, as medidas focalizadas de fomento à competitividade aumentaram significativamente, e são classificadas em três grupos:

- aquelas visando especificamente à concorrência externa;
- as de apoio às atividades de P&D e a difusão tecnológica;
- as que se direcionam a salvaguardar o tecido industrial dos países da OECD.

As políticas de competitividade são complexas. Combinam descentralização, cooperação e mobilização de instâncias administrativas e agências diversas. É notável o grau de desafio para articular no Brasil, uma política de competitividade.

Nos países em desenvolvimento, como o sudeste asiático, as políticas de competitividade na década de 90, priorizam a promoção de P&D, inovação e difusão tecnológica para o setor industrial. Conforme COUTINHO & FERRAZ (1995) “nos países latino-americanos diminuiu, nos anos de 80, a margem de manobra para a implementação de políticas industrializantes nos moldes das décadas anteriores. A orientação da política industrial foi subordinada às prioridades da gestão macroeconômica, submetida às restrições derivadas da crise do endividamento externo: geração de superávits comerciais, redução dos investimentos públicos e controle da inflação.”

Nos anos 80, com a expansão do comércio internacional, com a valorização do dólar e com as atividades multinacionais, o Brasil aumentou suas exportações de produtos industrializados dos setores intensivos no uso de recursos naturais.

1.2. O aprendizado frente às mudanças tecnológicas

O problema na indústria brasileira não é simplesmente o maior número de tecnologias; o mais relevante são os padrões mundiais de produção, difusão e comercialização, que trazem as constantes mudanças, diminuindo os tempos para a inovação da tecnologia, redução do ciclo de vida dos produtos, diversidade de produtos e redução dos custos ambientais.

A importância da capacitação em engenharia vem aumentando em função das contínuas e profundas transformações sociais surgidas pela velocidade com que tem sido gerados novos conhecimentos científicos e tecnológicos e a necessidade de rápida difusão e uso pelo setor industrial. Desse modo, superar a fragilidade tecnológica do sistema empresarial brasileiro, caracteriza-se como um desafio importante. Somente mudanças radicais das estratégias privadas, de forma a internalizar a inovação técnica e a capacitação como atividades empresariais permanentes e estruturadas, levarão à possibilidade de competitividade.

Da perspectiva interna da estrutura industrial, a superação da fragilidade tecnológica pode se dar através de duas formas básicas:

- investimentos em máquinas e equipamentos modernos, dotados de automação flexível, compatíveis com as necessidades de modernização do parque industrial;

- reestruturação dos sistemas de produção, buscando aumentar continuamente o seu desempenho, através da utilização de técnicas modernas de gerenciamento.

Embora a situação ideal seja atuar simultaneamente nestas duas áreas, a carência de capital típica do empresariado inibe a possibilidade de transformação radical das empresas através da substituição e modernização de máquinas e equipamentos.

Assim, a busca por métodos modernos de gerenciamento e a utilização de técnicas de baixo custo que permitam melhorar o desempenho dos sistemas produtivos passa a ser a alternativa mais adequada para alcançar/manter padrões de competitividade mundial.

Neste contexto, este trabalho, como seu objetivo principal, apresenta uma proposta para reduzir os tempos de preparação de máquinas, de modo a aumentar a produtividade do sistema produtivo, através da redução dos tempos de processamento e da utilização mais adequada dos equipamentos.

A redução dos tempos de processamento é uma das preocupações principais da indústria de ferramentas. Segundo WATANABE (1997) o Brasil ocupa o segundo lugar entre os maiores países fabricantes de ferramentas, perdendo apenas para os Estados Unidos. Nos últimos anos, para enfrentar a concorrência internacional, a indústria de ferramentas no Brasil modernizou-se a toque de caixa, equipou-se, enxugou seus quadros, elevou a produtividade, melhorou o sistema de distribuição e hoje compete com preços à nível internacional.

O setor da indústria de ferramentas, é considerado o mais tradicional do parque de manufatura.

O mercado consumidor brasileiro se situa entre os dez maiores, entre produtos fabricados no país e os produtos importados.

Este trabalho, tem como proposta a escolha do ferramental, através do estudo da adequação entre ferramentas disponíveis e peças a serem fabricadas.

Esta proposta baseia-se nos princípios de manufatura celular e na definição do “Ferramental de Grupo”, que serão detalhados ao longo deste trabalho.

O trabalho estrutura-se da seguinte maneira:

O capítulo 1 apresenta uma introdução sobre a necessidade das empresas em manter níveis de produtividade competitivos, e na busca por técnicas modernas de gerenciamento baseadas nesta premissa.

O capítulo 2 apresenta os princípios de manufatura celular e ferramental de grupo que servirão de base para a proposta deste trabalho. Constam deste capítulo, uma revisão sobre os

conceitos relativos à preparação de máquinas, as principais técnicas existentes para redução dos tempos de preparação e os fundamentos de formulação matricial que serão usados na construção da proposta.

O capítulo 3 apresenta o método desenvolvido, que visa basicamente a identificação do ferramental de grupo, necessária para padronizar, reduzir e eliminar os tempos de preparação de máquinas, de modo a aumentar sua produtividade.

O método proposto é utilizado em aplicações industriais, através dos estudos de caso apresentados no capítulo 4.

No capítulo 5 são analisados e discutidos os resultados obtidos no capítulo anterior, para testar a validade do método proposto.

No capítulo 6 são apresentadas as principais conclusões, e são feitas sugestões de futuros trabalhos nesta área.

Constam ainda do trabalho, as referências bibliográficas, a bibliografia consultada e os anexos.

Capítulo 2

Etapas da Passagem da Manufatura Convencional para Manufatura Flexível

2.1 Considerações iniciais

Segundo SIMON & AGOSTINHO (1994) “...tem-se observado nestes últimos anos que o mercado consumidor demonstra uma tendência que vem se impondo como definitiva, e que tem causado alterações profundas nas características do sistema de manufatura”.

Tentando se afirmar em um contexto onde os lotes de manufatura são cada vez menores e mais diversificados, os produtos apresentam ciclos de vida mais curtos e as necessidades dos clientes com relação à qualidade e prazo de entrega tornaram-se pontos fundamentais.

Com o objetivo de absorver esta tendência e também enfrentar os desafios de um ambiente extremamente competitivo e em contínua mutação, as empresas se vêem obrigadas a remodelar suas estruturas organizacionais no sentido de acelerar os processos de tomada de decisão sobre seus negócios.

Desta forma, as necessidades atuais do mercado agem como estímulos externos sobre os sistemas de manufatura, que devem responder de maneira rápida e eficiente. Uma das condições essenciais, é a busca da flexibilidade, o que gera a necessidade de substituição dos sistemas de manufatura convencionais pelos princípios de manufatura flexível.

A manufatura flexível procura se estruturar como uma resposta em termos técnicos, organizacionais e de infra-estrutura, às inadequações verificadas na manufatura convencional, contando com a automação flexível e o emprego de técnicas computacionais baseadas na automação.

Como pode ser visto na figura 2.1 seguinte, os estágios de transformação da manufatura convencional para a manufatura flexível pressupõem investimentos em máquinas CNC e sistemas automatizados de carga e descarga. Isto implica necessariamente em uma capacidade de investimentos, que, conforme foi visto no capítulo anterior deste trabalho, pode inibir as empresas em buscar estas mudanças.

No entanto, a aplicação de TG, que é a primeira fase do processo de mudanças, segundo SIMON & AGOSTINHO (1994) pode ser aplicada sem necessidade de grandes investimentos, e garantir ganhos de produtividade e flexibilidade, além de preparar o ambiente industrial para futuras mudanças.

Assim, é de fundamental importância que sejam feitos esforços de maneira integrada, por toda empresa, no sentido de agilizar o processo de tomada de decisão.

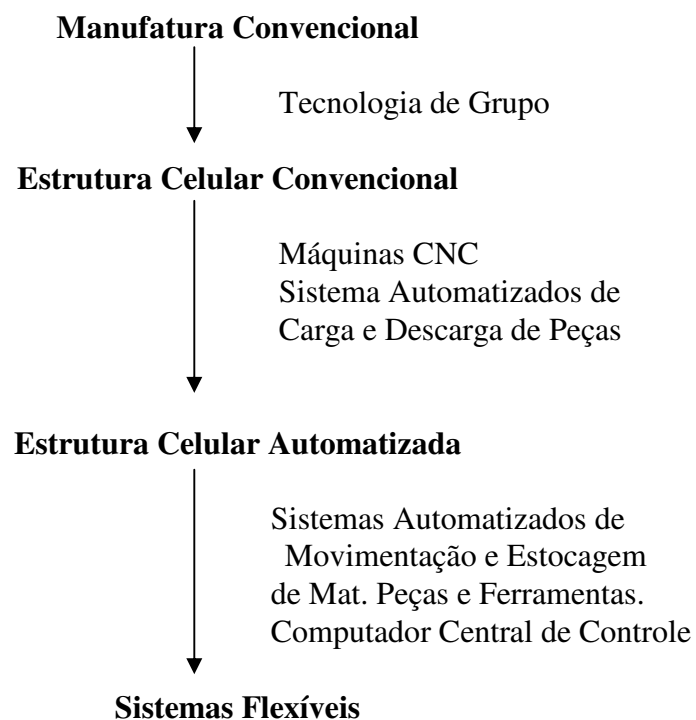


Figura 2.1: Estágios da Transição (SIMON & AGOSTINHO, 1994).

O sistema convencional de manufatura, apresenta as seguintes inadequações:

- a linha de produção emprega equipamentos universais, os quais necessitam de maior tempo de ajustagem na mudança para produção de diferentes tipos de peças. Seus

operadores são altamente especializados na operação de um determinado tipo de equipamento;

- fluxo de produção caracteriza-se por tempos maiores e variáveis, onde o “*lay-out*” é adaptado para montagem em máquinas monofuncionais;
- a arquitetura dos equipamentos é dimensionada para o serviço completo, com menores variações do produto;
- os processos não são contínuos e possuem tempos de ajustagem longos, embora o custo desta operação possa ser diluído em função do grande número de peças a serem produzidas.

Na tabela 2.1 seguinte são apresentados os principais problemas estruturais que ocorrem na manufatura convencional.

Tabela 2.1: Aspectos estruturais da manufatura convencional

características	sistema convencional de manufatura
‘lead-time’	longo
“set-up”	longo
tamanho do lote	grande
tempo de manufatura	longo
refugo	alto
administração	centralizada
estrutura fabril	grande planta
linhas de produção	balanceada
fluxo de materiais	constante
alterações do produto	baixa modificação e alta estabilidade
inventário	alto
sistema de produção	em massa
economia	escala
ciclo de vida do produto	baseado nas curvas de aprendizagem
capacitação técnica	especialização de tarefas
natureza das atividades	trabalho com atividade social
estrutura de custo	custo variável
produtos	padrão
flexibilidade	investimento dispendioso

Fonte: Adaptada (CALARGE, 1993)

Para buscar a flexibilidade na produção, objetivando uma estrutura de manufatura

flexível, considera-se como primeiro passo a implementação da Tecnologia de Grupo, que consiste de um sistema de produção organizado segundo a lógica de família de peças, trabalhadas em grupos de máquinas. De uma maneira bastante simplificada, pode-se definir a T.G. como sendo uma filosofia administrativa, um princípio organizacional, cujo objetivo é analisar e arranjar as peças sob aspectos de processos produtivos mais relevantes, de acordo com a similaridade do projeto de fabricação (BLACK, 1991). Portanto formam-se agrupamentos de máquinas, dispostas normalmente em forma de “U”, onde são usinadas as peças com similaridade de processo, sem estoques intermediários, com seus operadores responsáveis pela coordenação, produção, organização e qualidade de todo o processo.

A figura 2.2 seguinte apresenta as principais fases de implementação de células, baseada nos princípios de TG.

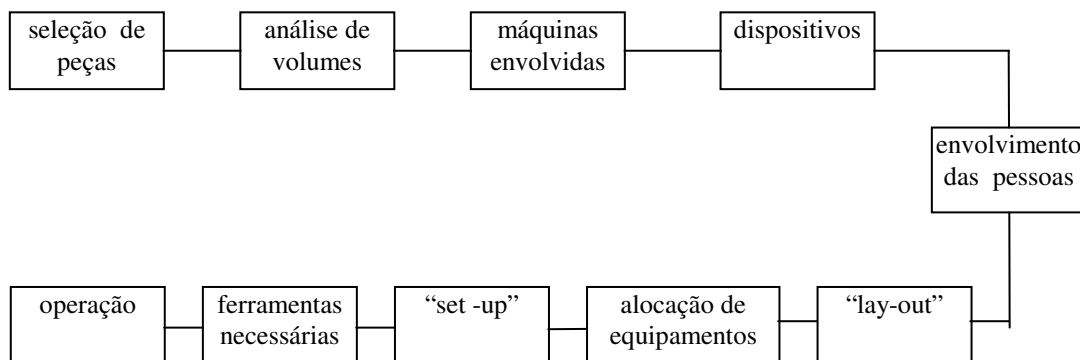


Figura 2.2: Fases para Implantação de uma Célula, (BURBIDGE, 1975)

Dentro de cada célula, reduzem-se os custos de manuseio, o custo do desenvolvimento do planejamento de processos das peças e os tempos de preparação. Como resultado são reduzidos os ciclos de fabricação e em conseqüência, também se reduzem os estoques em processo.

A Tecnologia de Grupo propicia a padronização dos projetos do produto, facilitando a programação da produção e a implantação do sistema automatizado de planejamento do processo.

Devido a similaridade entre as peças processadas nas células, as máquinas e ferramentas não necessitam de muitas mudanças, reduzindo assim o “set-up”. Além disso, é importante a busca contínua e sistemática na redução desses tempos, em todas as bases possíveis, para

conseguir um aumento da capacidade de produção da célula.

Este tópico será aprofundado no item seguinte deste trabalho, quando são apresentados os principais métodos para redução/eliminação de tempos de preparação (“*set-up*”).

A Tecnologia de Grupo propicia também maior identificação do operador com o produto, aumenta a satisfação do operador no trabalho, a colaboração mútua, e permite a simplificação dos sistemas de informação da produção.

Cumprida esta etapa de flexibilização da manufatura, pode se passar para a automatização da manufatura flexível ou à implantação do sistema flexível de manufatura.

Conforme já citado, nesta fase do processo de mudanças é necessário investir em novos equipamentos.

O FMS é um estágio mais automatizado da evolução dos sistemas produtivos, pois combina estações de processamento automatizados com um sistema de transporte totalmente automatizado. Consiste de um grupo de máquinas CNC interligadas através de um sistema de transporte e estocagem de materiais peças e ferramentas, controlado por um sistema integrado de computador, possibilitando processar simultaneamente uma variedade de diferentes tipos de peças sobre o controle de CNC, nas várias estações de trabalho (SIMON & AGOSTINHO, 1994).

De acordo com CALARGE et al. (1993) o FMS consiste também de um grupo de máquinas-ferramentas e/ou equipamentos de produção, interligados por um sistema automatizado de manuseio de materiais. Neste sistema o controle, o planejamento e a execução dos processos produtivos são realizados por uma rede hierarquizada de computadores. A movimentação das peças entre os centros de trabalho é feita por um veículo automatizado AGV(controlado por computador, responsável pela operação de carga e descarga), sendo o roteiro estabelecido progressivamente de acordo com as operações a serem executadas, conforme o plano de manufatura da peça.

As ferramentas e os dispositivos utilizados nos centros de trabalho também podem ser programados automaticamente e mudados de acordo com a mensagem enviada pelo computador. Isto possibilita um controle de qualidade do processo em tempo real, evitando-se quebras ou desgastes excessivos.

A tabela 2.2 seguinte apresenta as características principais da estrutura típica da manufatura celular.

Tabela 2.2: Aspectos estruturais da manufatura flexível.

características	sistema flexível de manufatura
‘lead-time’	curto
“set-up”	curto
tamanho do lote	pequeno
tempo de manufatura	curto
refugo	baixo
administração	descentralizada
estrutura fabril	capacidade desagregada
linhas de produção	flexível
fluxo de materiais	possibilidade de variações
alterações do produto	constante variações
inventário	baixo
sistema de produção	em lotes
economia	escopo
ciclo de vida do produto	truncado
capacitação técnica	multi-capacitação
natureza das atividades	sistema automatizado
estrutura de custo	custo em comum
produtos	variável
flexibilidade	investimento lucrativo

Fonte: Adaptada (CALARGE, 1993)

Neste trabalho será enfatizada a primeira fase do processo de transição da estrutura convencional para a manufatura flexível. Esta ênfase é necessária uma vez que o método a ser apresentado propõe a utilização dos princípios de TG, aplicados à definição e padronização de ferramentas.

Portanto, a implantação deste método não implica na necessidade de altos investimentos em equipamentos.

Concentra-se na melhor utilização dos recursos produtivos existentes, e portanto, é adequada às empresas mesmo nos casos em que exista carência de capital para investimentos em modernização de máquinas e equipamentos.

As empresas com seus sistemas produtivos inadequados devem buscar a implantação da TG, porque esta fase não requer elevados investimentos, mas prepara a base da empresa para as futuras mudanças, que serão necessárias para acelerar o processo de modernização, fundamental para a sua sobrevivência.

2.2 - Redução de tempos de preparação de máquinas

2.2.1 - Considerações iniciais

Conforme já citado, a implementação de TG visa fundamentalmente que os sistemas produtivos sejam organizados de forma a minimizar perdas relativas a tempos improdutivos, movimentação excessiva e altos estoques intermediários. Neste item do trabalho, serão estudadas as perdas que ocorrem em função dos tempos de preparação, bem como as forma possíveis de identificá-las e reduzi-las

As perdas relacionadas aos tempos improdutivos podem ser classificadas em dois grupos:

- tempos improdutivos devido a existência de problemas organizacionais (esperas, filas, quebras), ligados à estrutura de suporte ao chão da fábrica;
- tempos improdutivos devido a existência de problemas tecnológicos, associados aos processos de fabricação (tempos de preparação de ferramentas, montagens de dispositivos, aproximação e afastamento).

Segundo AMSTEAD (1987) a eficiência de um processo pode ser medida pela relação:

$$E = \frac{P}{P + S} \times 100$$

Onde:

E = Eficiência do processo (em %);

P = Total de tempo para operações primárias; (operações primárias: são aquelas que agregam valor à peça/produto. Exemplo: operação de usinagem, montagem, pintura, etc)

S = Total de tempo para operações secundárias; (operações secundárias: são aquelas que não agregam valor. Exemplo: transporte, manuseio, preparação).

Portanto, a eficiência de um processo será tanto maior, quanto menor o volume e a

duração das operações secundárias.

Assim, a redução/eliminação dos tempos de preparação pode auxiliar na diminuição do tempo relativo às operações secundárias e possibilitar o aumento da eficiência do processo.

Este trabalho apresenta um método para determinação do ferramental de grupo baseado em análise de agrupamentos, cuja aplicação visa reduzir o tempo de preparação de máquinas mediante a padronização das ferramentas utilizadas.

Para isto, será necessário estudar os principais conceitos relativos aos tempos de preparação de máquinas e identificação de formas para sua redução.

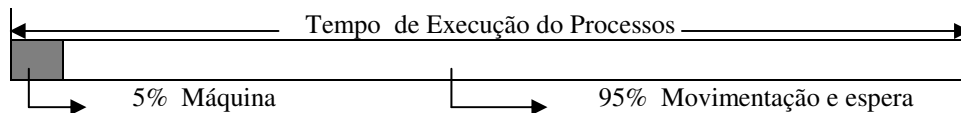
2.2.2 - Definição/Abrangência dos tempos de preparação

O tempo de preparação é definido como o tempo necessário para executar as atividades de preparação, inspeção e ajustes de máquina, tendo como meta a fabricação de um novo lote de peças (PIRES, 1989). Envolve todas as etapas de preparação:

- tempos de movimentação e espera (localização e condições de armazenagem, controle de consumo e quantidades);
- carga e descarga de ferramentas (dispositivos de Troca Rápida e planejamento de operações);
- tempos de troca por desgaste;
- mudanças de peças ou de operações.

Todo sistema de manufatura deve ser controlado para regular níveis de estoques, movimentação de materiais, taxa de produção e qualidade do produto. Peças e componentes em um “*job shop*” gastam somente 5% do tempo na máquinas, e o resto do tempo em movimentação e espera (BLACK, 1998).

A figura 2.3 apresenta a utilização do tempo produtivo em operações de usinagem, considerando-se o percentual gasto com manuseio de ferramentas, carregamento de peças, tempo de preparação e inspeção.



Como os 5% são usados

14%	Tempo de preparação para troca de ferramental para peças diferentes
17%	Posicionamento e descarga de peças
17%	Troca de ferramentas para diferentes operações
16%	Inspeção e desbastamento
36%	Usinagem (adição de valor)

Figura 2.3: Utilização do tempo produtivo em operações de usinagem, (BLACK, 1998).

Os tempos de preparação são relacionados a materiais, sistemas e processos de manufatura, e ao gerenciamento da produção.

O tempo total de preparação é o determinado pelo tempo decorrido desde a saída da última peça boa do “*set-up*” anterior até a primeira peça boa do próximo “*set-up*”.

A seqüência de atividades características de um “*set-up*” é dada por:

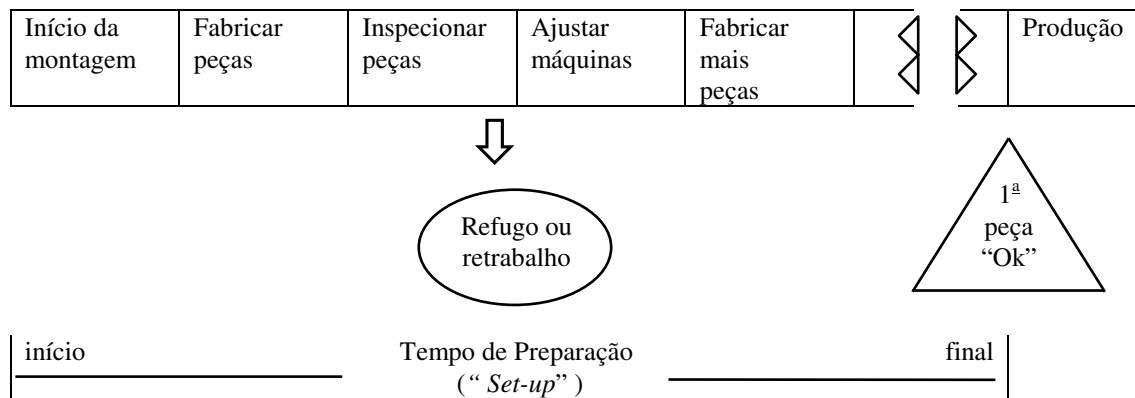
- 1) trocar as ferramentas da máquina ou equipamentos;
- 2) produzir algumas peças;
- 3) inspecionar estas peças;
- 4) ajustar a máquina;

5) fabricar outra amostra; medir, ajustar e assim por diante, até produzir peças aceitáveis. Este método pode gerar refugos, e propicia tempos improdutivos.

A chave para redução destes tempos é a eliminação de elementos desnecessários (por exemplo, os ajustes).

A figura 2.4 seguinte apresenta a proposta sugerida por BLACK (1991), visando a melhoria do método de preparação através da redução das atividades e dos tempos envolvidos.

(1) Método de Preparação Existente



(2) Método Melhorado

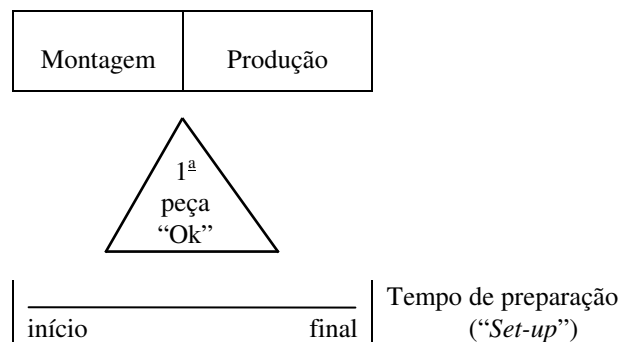


Figura 2.4: A Melhoria do método de preparação (“set-up”), adaptada (BLACK, 1991).

Desse modo, os sistemas TRF podem reduzir o tempo de “set-up” de horas para minutos. Isto caracteriza um benefício para uma indústria de manufatura, pois a disponibilidade de capacidade de máquina será aumentada. Deve-se, assim, programar para não produzir além do necessário, pois a produção em excesso faz aumentar os custos de inventários. Nos itens seguintes, serão apresentados métodos baseados nos sistemas TRF que visam a redução dos tempos de preparação através de melhorias nos aspectos organizacionais do sistema produtivo.

Estes sistemas utilizam procedimentos aplicáveis a qualquer estação de trabalho e estão detalhados nos itens 2.2.3 a 2.2.5.

2.2.3 - Ferramental de grupo

O projeto de "ferramental de grupo" (BURBIDGE, 1971) visa reduzir os tempos de preparação de máquinas através do desenvolvimento de ferramental padronizado, a ser utilizado por peças pertencentes às mesmas famílias, o que é possível em função das similaridades de projeto e fabricação destas peças. Embora o conceito seja simples, a aplicação de ferramental de grupo apresenta alguns inconvenientes: pressupõe a existência de sistemas celulares (uso de TG) e a necessidade de altos investimentos para projeto e implementação dos dispositivos e do ferramental dedicado.

Segundo SÉRIO (1990) , os magazines porta ferramentas das máquinas não são suficientes quanto ao número de ferramentas disponíveis para processar peças relativamente simples na maioria das aplicações da indústria, uma vez que a diversidade de componentes tem crescido significativamente nos últimos anos. Mesmo com a existência de porta-ferramentas maiores, muitas ferramentas precisam ser trocadas para atender às necessidade do processo de usinagem das diferentes peças. Num ambiente celular, onde será determinada previamente a família de peças para serem usinadas, será possível, usando apenas a capacidade do magazine, reduzir o número de ferramentas distintas e minimizar o problema do número de trocas de ferramentas necessárias para usinar a família de peças em questão.

Neste ambiente, o planejamento do ferramental é de grande importância, pois traz como benefício a padronização de ferramentas para usinagem. Quando há mudanças de peças de uma mesma família, será possível o uso de dispositivos padronizados e projetados de forma a serem compatíveis às características das peças e aos campos dimensionais da máquina onde a família será processada. A utilização de famílias de peças e dispositivos de acordo com o conceito de tecnologia de grupo, possibilitará reduzir os tempos de preparação. Para isso é imprescindível ainda, que o ferramental/dispositivos sejam previamente preparados, de forma que os tempos de troca possam ser reduzidos, com o auxílio de uma estrutura suporte para providenciar a infraestrutura necessária de apoio.

2.2.4 - SMED (Troca de Ferramentas Abaixo de Dez Minutos)

A metodologia SMED (*Single Minute Exchange of Die*), (SHINGO, 1985) cuja tradução, Troca de Ferramentas Abaixo de Dez Minutos, propõe a redução dos tempos de

preparação através da sua identificação e da separação entre tempos "internos" (a parte da atividade de preparação que necessariamente é feita na máquina) e tempos "externos" (podem ser realizados fora do ambiente da máquina). O uso de "pre-setting" e de magazines com grande capacidade de ferramentas, onde é possível acumular preparações distintas, podem ser considerados exemplos de aplicação da metodologia SMED.

A aplicação inicial do SMED foi apresentada por SHINGO (1985), na utilização de prensas na Toyota, visando reduzir tempos de preparação. Por isso, este sistema também é conhecido por Sistema Toyota de Produção.

O procedimento básico utilizado pela Toyota é composto das seguintes etapas:

- identificação do método existente;
- definir e separar elementos internos e elementos externos;
- converter elementos internos em externos;
- reduzir/eliminar elementos internos;
- aplicar dispositivos de troca rápida;
- eliminar os tempos de preparação.

A figura 2.5 apresenta os estágios conceituais e as técnicas práticas da metodologia SMED.

No primeiro estágio, as operações de “*set-up*” internas e externas não estão diferenciadas. A operação de “*set-up*” interna é uma operação que só pode ser realizada, quando a máquina está parada, Por exemplo: a remoção da matriz ou ferramenta anterior e fixação da nova. Uma operação de “*set-up*” externo pode ser conduzida quando a máquina está funcionando. Por exemplo, toda preparação e transporte de matriz, gabaritos, dispositivos de fixação, ferramentas e materiais.

SHINGO (1996) observou que muitas empresas não reconheciam as diferenças entre operações internas e externas e muitas vezes faziam operações externas quando a máquina estava parada.

Se operações internas e externas são idênticas e separadas, o tempo da máquina poderia ser limitado para somente o tempo necessário para operações internas de “*set-up*”. Este processo de identificação e separação representa o segundo estágio do SMED. Através, simplesmente, da organização e diferenciação das operações em internas e externas, o tempo

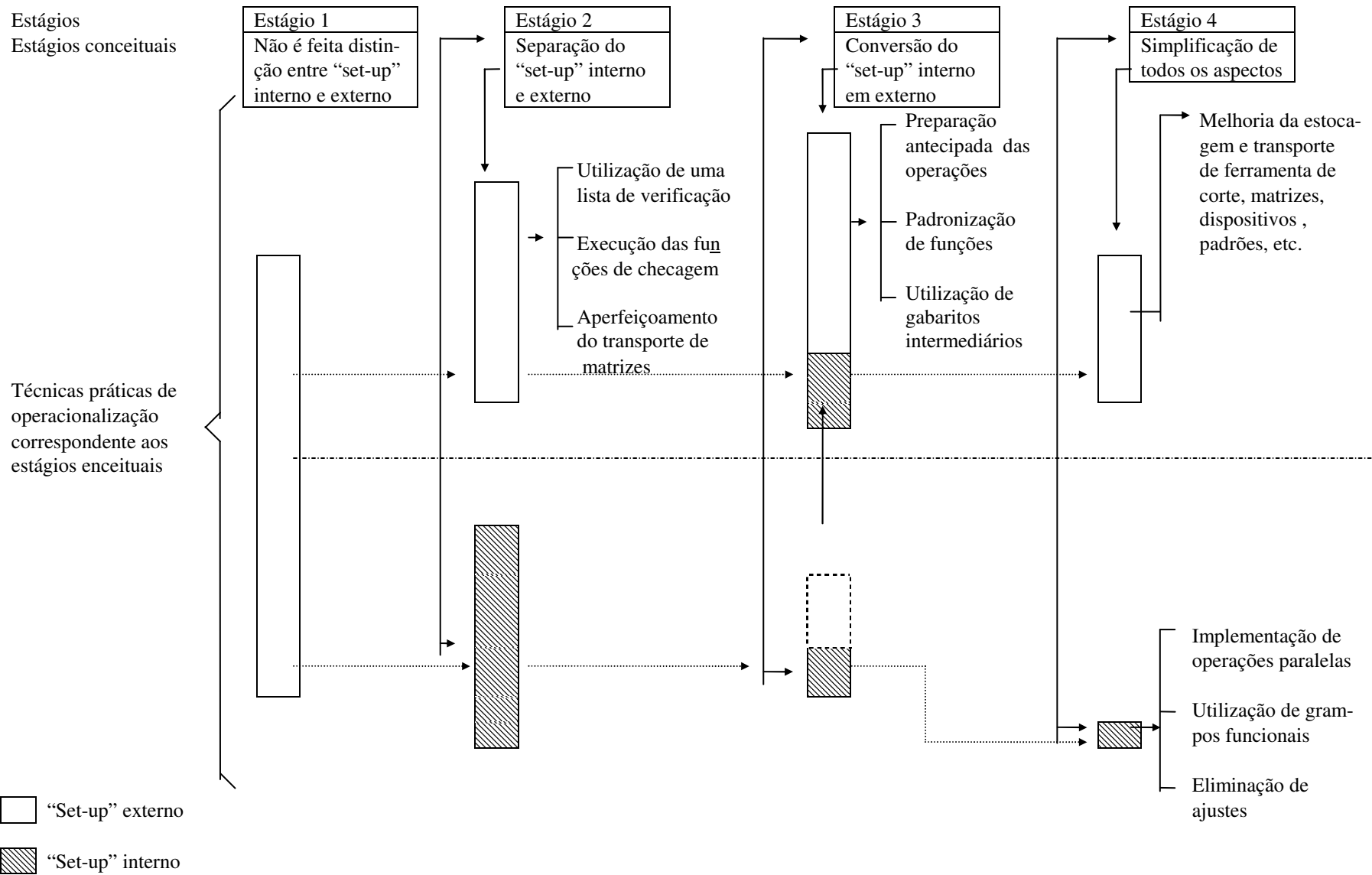


Figura 2.5: Estágio conceituais e técnicas práticas do sistema SMED. (SHINGO, 1996)

de “*set-up*” interno pode ser reduzido entre 30 e 50% com pouco ou nenhum investimento.

O terceiro estágio envolve conversões de operações internas de “*set-up*” para operações externas. Este é o princípio fundamental da melhoria de redução “*set-up*” proposta no SMED. Algumas conversões podem tomar lugar pela reestruturação do procedimento de “*set-up*”, mas tipicamente, algum tipo de inovação de processo ou solução tecnológica é requerida. Por esta razão, este estágio tende a requerer grandes investimentos.

Os elementos mais importantes que podem ser facilmente transformados de internos para externos são:

- Tempo de procura (tentando achar matriz correta, procura de parafusos, porcas, fixadores etc.);
- Tempo de espera (esperando por talhas, carrinhos, empilhadeiras ou instruções);
- Tempos de posicionamento (posicionando matrizes, ferramentas, fixadores etc.)

O quarto estágio envolve diretamente todos os aspectos das operações de “*set-up*”. A ênfase é sobre redução e eliminação das operações internas e externas tanto como a redução de todo tempo do “*set-up*”. Os aperfeiçoamentos neste estágio envolvem investimentos em tecnologia, processos, novas ferramentas e automação.

Dos princípios básicos da SMED que foram desenvolvidos, destacam-se os mais importantes que são:

- Distinguir claramente “*set-up*” interno do externo;
- Converter “*set-up*” interno em externo;
- Fixação sem parafusos (grampos funcionais);
- Eliminar ajustes.

Estas são as principais melhorias, responsáveis pela redução do “*set-up*” para alguns segundos.

A seguir, apresenta-se a tabela 2.3 com as características da metodologia SMED, divididas em aspectos organizacionais e tecnológicos.

Tabela 2.3: Características da metodologia SMED

Aspectos organizacionais	Aspectos tecnológicos
Reduzir/eliminar os tempos improduttivos associados à espera, filas, paradas de máquinas, falta de recursos (material, ferramentas, dispositivos e mão de obra)	Trabalhar com projeto de dispositivos e ferramentas padronizadas, sistemas troca rápida, visando reduzir os tempos de montagem e preparação.

SHINGO (1996) iniciou a utilização do sistema SMED na Toyota. A administração da Toyota Motors havia pedido ao gerente de divisão, que cortasse o tempo de preparação de 4 horas de uma prensa de 1000 toneladas em 50%.

Shingo fez duas sugestões:

- 1) estabelecer uma clara distinção entre operações de “*set-up*” internas e externas;
- 2) melhorar as operações em ambos os tipos de categorias (internas e externas).

Com a aplicação destes princípios, em seis meses, o tempo de “*set-up*” havia sido reduzido para 1 hora e meia. Alguns meses mais tarde, a administração solicitou novo estudo, agora para que o tempo de preparação fosse reduzido para a ordem de 3 minutos.

Shingo sugeriu converter “*set-up*” interno em externo. Para efetuar esta conversão, varias idéias surgiram, e deram origem às 8 técnicas baseadas neste princípio, como mostra a figura 2.6. Sua aplicação permitiu que atingisse o objetivo de 3 minutos no período de poucos meses.

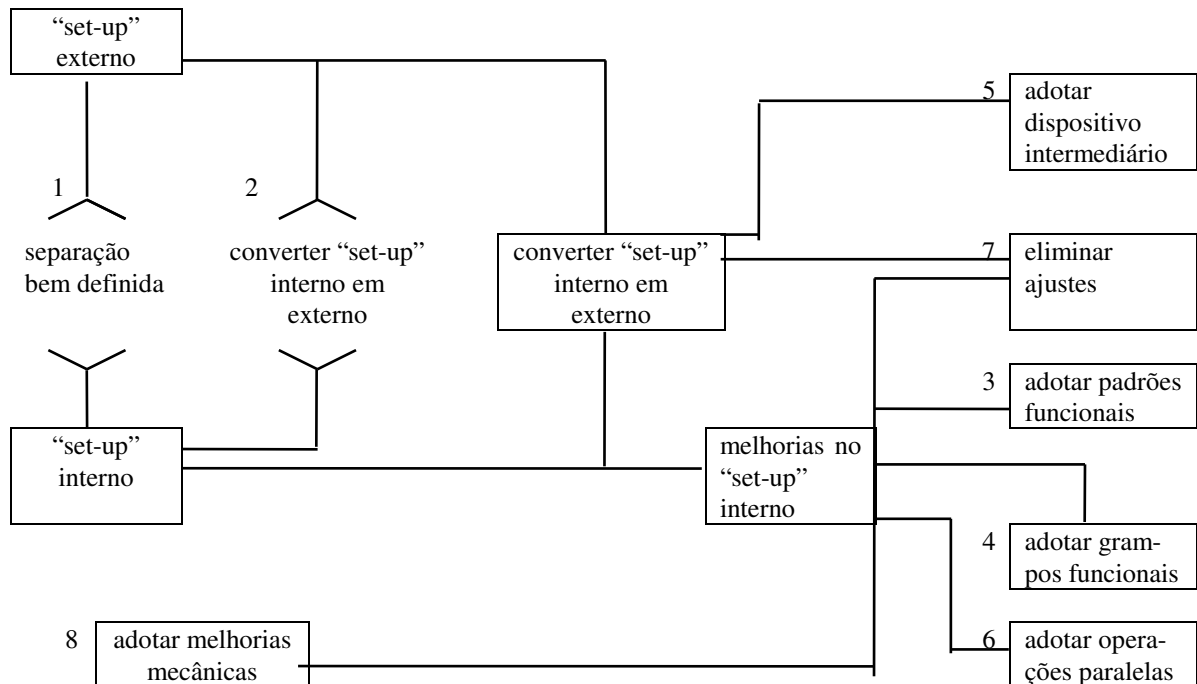


Figura 2.6: Fluxograma para aplicação das oito técnicas “SMED” (SHINGO, 1996).

De acordo com a figura 2.6, as técnicas são:

- 1) Separação das operações de “*Set-up*” internas e externas;

Saber quais operações atuais devem ser executadas enquanto a máquina está parada (“*set-up*” interno), e quais podem ser realizadas com a máquina funcionando (“*set-up*” externo).

- 2) Converter “*Set-up*” interno em externo;

Este é o princípio que envolve o reexame das operações para verificar se qualquer das etapas foi equivocadamente tomada como interna e encontrar maneiras de converter estes tempos de preparação internos em externos.

3) Padronização da função, não da forma;

A padronização da forma pode significar uma perda de recursos porque todas as matrizes teriam de adequar-se ao maior tamanho utilizado, o que aumentaria os custos desnecessariamente.

A padronização da função, por outro lado, requer apenas uniformidade nas peças necessárias à operações de tempos de preparação. Por exemplo, acrescentar um bloco à borda de fixação da matriz padroniza as dimensões somente daquela peça e faz com que seja possível utilizar os mesmos grampos.

4) Utilizar grampos funcionais ou eliminar os grampos;

Um parafuso é o mecanismo de fixação mais comum, mas sua utilização pode consumir muito tempo. Se a função do parafuso é apenas apertar e soltar, seu comprimento deve ser apenas o suficiente para que fixe com um movimento. Isso faria do parafuso um fixador funcional.

Parafusos com rosca não são o único modo de fixar objetos.

Métodos de um único toque, em que se utilizam cunhas, ressaltos e prendedores ou molas, reduzem o tempo de preparação, assim como quaisquer mecanismos de ligação que encaixem e unam duas partes.

5) Usar dispositivos intermediários;

Enquanto a peça presa a um dispositivo está sendo processada, a próxima é centrada e presa em um segundo. Quando a primeira estiver pronta, a peça presa ao segundo dispositivo é facilmente instalada na máquina para processamento.

Dispositivos intermediários podem também ser usados em prensas grandes, com matrizes múltiplas de tamanhos e alturas diferentes. Nesses casos, eles são usados para que a centragem interna e as operações de fixação não sejam feitas pela máquina.

6) Adotar operações paralelas;

Operações em injetoras de plástico ou de metais e em prensas grandes envolvem

trabalhos de tempos de preparação nas duas laterais ou nas partes frontal e posterior da máquina.

Se apenas um operário executar essas operações, muito tempo e movimentos são desperdiçados com o seu deslocamento em torno da máquina. Mas quando duas pessoas realizam as operações simultaneamente, o tempo de preparação é reduzido devido à economia de movimentos. Uma operação que leva 30 minutos para ser executada por um operário, pode levar apenas 10 minutos com dois.

7) Eliminar ajustes;

A eliminação de ajustes se inicia com o reconhecimento de que a preparação e o ajuste são duas funções distintas e separadas. Preparação ocorre na mudança de posição de um interruptor de fim de curso. O ajuste ocorre quando o interruptor de fim de curso é testado e repetidamente ajustado em uma nova posição.

O ajuste torna-se um fator cada vez menos importante à medida que a preparação se torna mais precisa.

8) Mecanização

A mecanização é geralmente fundamental para deslocar matrizes de conformação e matrizes grandes de injeção. A mecanização deve ser considerada somente após haver sido feito todo o esforço possível para melhorar o tempos de preparação utilizando as técnicas descritas.

A TRF (Troca Rápida de Ferramentas) é uma abordagem analítica para a melhoria de tempos de preparação, da qual a mecanização é apenas um componente.

A seguir, apresenta-se na tabela 2.4 alguns resultados de redução de tempo de preparação, na implantação da metodologia SMED em empresas americanas, segundo LESCHKE (1997).

Tabela 2.4: Resumo dos estudos de caso

Firma	Indústria	Tecnologias de processos	Duração da implantação
Blue Ridge	Indústria de iluminação	prensas mecânicas, tornos	5 anos
Sierra	Componentes automotivos	prensas mecânicas	3 anos
Ozark	Componentes automotivos	prensas mecânicas	4 anos
Allegheny	Componentes eletrônicos	circuitos impressos	3 anos
Cascade	imobiliário	furadeiras CNC	2 meses

Fonte: Adaptada (LESCHKE, 1997).

A seguir, apresenta-se a tabela 2.5 com as principais vantagens/desvantagens da metodologia SMED.

Tabela 2.5: Vantagens/desvantagens da metodologia SMED

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> - redução de “<i>set-up</i>” em cerca de 80 a 95% (SHINGO, 1996) aumento das taxas de utilização das máquinas - produção em pequenos lotes - reduz estoques de produtos acabados e reduz a geração de estoques entre processos - a produção pode responder rapidamente às flutuações da demanda - facilitar a produção contra pedido através de um sistema de “puxar” (sistemas J.I.T). 	<ul style="list-style-type: none"> - treinar trabalhadores em operações múltiplas - projetar dispositivos múltiplos para o uso em produtos específicos - freqüentes trocas de ferramentas ou dispositivos - dificuldade em abastecer a linha de montagens em pequenos lotes e sem erros - incorporar verificação sucessivas, na prevenção da falta de peças e defeitos - priorizar algumas máquinas - nível de organização da empresa - necessidade de pessoal capacitado em projetos de dispositivos de troca rápida.

Se o “*set-up*” for reduzido para 3 minutos, é muito provável que peças/componentes sejam produzidos em pequenos lotes, com muitas trocas de ferramentas, o que aumenta a frequência de preparações o que é uma desvantagem. Por outro lado, os trabalhadores adquirem confiança com seu sucesso em reduzir tempos de “*set-up*” e aprendem a enfrentar desafios, o que desenvolve uma cultura de apoio às atividades de melhoria por toda empresa.

Quanto a estrutura suporte da empresa, tem-se algumas necessidades:

- Treinamento de pessoal;
- Investimento em ferramental, dispositivos;
- Melhoria do suporte para planejamento e controle de materiais e produção.

2.2.5 - Sistema “RETAD”

O sistema RETAD (*Rapid Exchange of Tooling and Dies*), segundo BLACK (1991) é uma evolução da metodologia SMED.

O sistema RETAD - (Equipe para implementar a Troca Rápida de Ferramentas e Matrizes), apresenta um modelo que pressupõe a definição de equipes de trabalho especialistas em redução de “*set-up*”. É formada para auxiliar os operadores com problemas, e apresentar projeto para atender prioridades para a implantação da metodologia SMED.

Este sistema procura reduzir os tempos de preparação, associando a esse trabalho, a perspectiva gerencial de definição de prioridades, treinamento de pessoal e determinação de procedimentos de análise, de forma a identificar as áreas críticas e eliminá-las.

Entende-se a Troca Rápida de Ferramentas e matrizes como um método para reduzir ou eliminar a preparação (“*set-up*”). O tempo para trocar peças/componentes, deve ser o menor possível. Num ambiente celular, todos são comprometidos em analisar os problemas de tempos de preparação e cada um no chão-de-fábrica deve ser treinado em como reduzir os tempos de preparação usando princípios da metodologia SMED.

A evolução do sistema RETAD (Equipe para implementar a Troca Rápida de Ferramentas e Matrizes), obedece a uma sequência, que passa pelo tempo de preparação em um toque, chamado de OTED (*One Touch Exchange of Die*), que identifica os casos em que

o tempo de preparação é reduzido a valores abaixo de um minuto. Quando o desenvolvimento chegar ao nível de troca de ferramentas “sem o toque” esta fase do RETAD será denominada de NOTED (*Non Touch Exchange of Die*), ou seja, a troca de ferramentas é realizada automaticamente.

Esta é a situação de um centro de usinagem com sistemas automático de troca de ferramentas e peças (BLACK,1991).

A adoção do sistema RETAD, o qual deve evoluir do “*set-up* de um toque”, para o “*set-up* sem toque”, é um pré-requisito essencial ao sistema de produção de pequenos lotes, visando a eliminação da perda por superprodução.

A produção com pequenos lotes é uma estratégia importante capaz de lidar com demanda de alta diversidade e pequeno volume, extremamente importante para eliminar os estoques de produtos acabado.

O objetivo de uma equipe designada para implantar soluções para TRF é o seguinte:

- treinar todos os operadores, supervisores e pessoal de apoio em redução de “*set-up*”;
- adquirir experiência dos piores projetos de “*set-up*”;
- preparar planos e estabelecer prioridades;
- determinar prazos de instalação;
- coordenar os esforços do grupo;
- criar e manter o entusiasmo de cada pessoa envolvida.

Tanto o sistema SMED - Troca de Ferramentas Abaixo de Dez Minutos, quanto a filosofia RETAD - Equipe para implementar a Troca Rápida de Ferramentas e Matrizes, propõem a redução dos tempos de preparação baseado na eliminação de perdas associadas às atividades suporte do processo de fabricação.

O método proposto neste trabalho visa reduzir os tempos de preparação concentrando-se no estudo da escolha do ferramental, buscando a sua otimização através da análise da tecnologia do processo.

No próximo item deste trabalho serão apresentados os fundamentos da formulação matricial em que se baseia o método desenvolvido.

2.3 - Fundamentos da Formulação Matricial

2.3.1 - Considerações iniciais

O uso de manufatura celular tem se intensificado na indústria a partir do início da década de 90 (BATOCCHIO, 1995). Suas vantagens em relação aos arranjos funcionais tem sido citadas por vários pesquisadores, e baseiam-se principalmente na redução dos tempos improdutivos e na melhoria do fluxo produtivo, para os sistemas de fabricação que operam com pequenos e médios lotes (BURBIDGE, 1992)

.Uma das fases mais importantes do projeto das células de manufatura é a identificação dos agrupamentos de peças e máquinas (CHENG, 1995), pois a eficiência do projeto está fortemente vinculada à obtenção de grupos bem definidos e com alto grau de independência.

Segundo KUSIAK (1990) existem dois métodos usados para a formação de famílias:

- métodos baseados em sistemas de classificação;
- métodos baseados em análise de agrupamentos (*cluster analysis*).

Os métodos baseados em sistemas de classificação apresentam como inconvenientes o alto custo (normalmente são desenvolvidos sob encomenda, para cada empresa) e o tempo de implementação, uma vez que sua aplicação não se restringe à definição de células (KING, 1980).

Os métodos baseados em análise de agrupamentos para aplicação em manufatura celular mais utilizados são os que modelam os sistemas de manufatura a partir de formulação matricial.

Existem vários métodos disponíveis na literatura para proceder à identificação das famílias das peças e grupos de máquinas que formam as células (CHENG, 1992).

Todos eles baseiam-se os nas semelhanças geométricas e de processos de fabricação entre as peças analisadas.

Cada método tem características próprias que determinam a adequação de seu uso. Para proceder à análise de um determinado sistema de fabricação e identificar se a sua subdivisão em sistemas menores é possível, e, a partir daí, decidir-se pela implantação da manufatura celular, a PFA (*production flow analysis*) é um método que se mostra bastante útil.

Tais métodos apresentam como principais vantagens o baixo custo para implementação e

a rapidez de aplicação.

Em função destas vantagens, os métodos que utilizam formulação matricial tem sido estudados e aplicados com maior frequência (JHA, 1991).

Estes métodos apresentam como característica principal, o uso de algoritmos de agrupamento, que através de manipulação dos elementos da matriz de incidência, buscam a identificação dos chamados “grupos mutuamente exclusivos”.

A composição da matriz de incidência MI máquinas x peças, é representada pela seguinte regra de formação (KUSIAK & CHOW, 1987):

Seja a_{ij} um elemento de MI, seu valor será definido pela relação:

$$a_{ij} = 1 \text{ se a máquina } i \text{ opera a peça } j$$

ou

$$a_{ij} = 0 \text{ se a máquina } i \text{ não opera a peça } j.$$

A matriz de incidência é um conjunto de elementos zero “0” e de elementos um “1” distribuídos por linhas e colunas, a qual retrata o processo de fabricação de cada peça do chão de fábrica. Por definição a matriz:

$$MI = \left[a_{ij} \right]_{m \times n}$$

É uma matriz composta de m linhas e n colunas, definida por $m \times n$ elementos. Cada máquina do sistema produtivo é definida por uma das m linhas de MI, enquanto cada coluna de MI corresponde uma peça n .

Assim, quando se observa cada linha de MI, verifica-se pelo número de elementos $a_{ij} = 1$, quais as peças j que sofrem operação na máquina i .

Analogamente, verifica-se pelo número de elementos $a_{ij} = 1$, para cada coluna da matriz, as máquinas que são necessárias para o processamento da peça correspondente à esta coluna.

A figura 2.7 seguinte apresenta uma matriz de incidência onde é possível identificar os grupos de peças e máquinas gerados pela aplicação de um algoritmo de agrupamento. No caso

(a), são gerados “grupos mutuamente exclusivos”; no caso (b), são obtidos “grupos parcialmente separáveis”.

		Peças				
		1	2	3	4	5
Máquinas	1	1	1			
	2	1	1			
	3			1	1	1
	4				1	1

(a)

		Peças				
		1	2	3	4	5
Maquinas	1	1	1			
	2	1	1	1		
	3			1	1	1
	4				1	1

(b)

Figura 2.7: Matriz de Incidência

Quando a aplicação do algoritmo gera soluções do tipo (a) da figura anterior, a estrutura obtida é denominada “estrutura bloco-diagonal perfeita” ou “EBD”perfeita. Para soluções do tipo (b), diz-se que a estrutura obtida é uma “estrutura bloco-diagonal incompleta”, ou “EBD” incompleta.

A maior parte dos algoritmos de agrupamento funciona adequadamente quando o resultado de sua aplicação apresenta EBD perfeita. No entanto, esta situação raramente ocorre no ambiente industrial.

Os casos em que se configuram EBD incompletas, quando tratados pelos algoritmos existentes apresentam vários problemas: Os principais se referem a:

- 1) indefinição da posição dos elementos de exceção (elementos que não se enquadram aos grupos gerados);
- 2) dificuldade de visualização dos grupos (para matrizes com grande número de elementos);
- 3) duplicação de recursos de modo a definir o grupo de cada elemento (SEIFODDINI, 1990);
- 4) apresentação de soluções diferentes, de acordo com o algoritmo aplicado;
- 5) necessidade de considerar outros parâmetros para definir a solução (KUSIAK, 1991).

A seguir destacam-se alguns algoritmos originados da análise de agrupamentos (*cluster analysis*) que, permitem identificar os grupos para definir as potenciais células de fabricação.

2.3.2 - Algoritmos de agrupamentos:

1) PFA (*Production Flow Analysis*)

A partir dos estudos baseados no rearranjo da matriz de incidência peças *versus* máquinas, obtida da (*Production Flow Analysis*) PFA, serão analisados os métodos que se baseiam nas informações de fluxo apresentadas nos roteiros de fabricação das peças, (BURBIDGE, 1971).

O inconveniente na utilização do método PFA é quando o volume de elementos (máquinas e peças) for elevado. O método é “manual”, a análise envolve o julgamento pessoal, não há clareza na metodologia, o tempo de resposta é muito alto, e apresenta resultados subjetivos.

2) Algoritmo ROC (*Rank Order Clustering*)

O algoritmo de “agrupamento por ordem de grandeza” foi publicado por KING, (1980). Este algoritmo permite ao usuário reordenar a matriz de incidência máquinas versus peças de modo a obter uma estrutura matricial o mais próxima possível da matriz bloco-diagonal. Uma das características deste algoritmo é o fato de não apresentar restrições de uso na presença de peças e/ou máquinas-gargalo.

O algoritmo ROC não procede à identificação dos elementos, apenas reordena a matriz de incidência. Neste caso cabe ao usuário a identificação e a definição dos agrupamentos, bem como decisões sobre como proceder com peças de exceção. (BATOCCHIO & MAESTRELLI, 1994).

Este algoritmo, é de fácil compreensão e aplicação, bem como a sua implantação computacional. Aplica-se independentemente do tipo de solução gerada. Por outro lado necessita de intensa interação com o analista, não é adequado para MI (Matriz de incidência) com grande número de elementos, e necessita da visualização da MI reordenada.

A seguir, apresenta-se na tabela 2.6, as principais vantagens/desvantagens de se utilizar o algoritmo ROC.

Tabela 2.6: Vantagens/desvantagens do Algoritmo ROC

Vantagens	Desvantagens
- solução rápida para EBD perfeita	- MI com grande volume de elementos necessita de apoio computacional
- fácil compreensão e aplicação rápida	- depende do analista para identificação dos agrupamentos
- fácil aplicação para matrizes com número reduzido de elementos	- necessária da visualização da MI reordenada para identificação dos agrupamentos
- facilidade de implementar por computador: o MODROC permite até 50 máquinas e 2000 peças (SUNDARAN & LIAN, 1990)	- para MI com grande número de elementos, o número de repetições do procedimento pode tornar-se muito alto

Fonte: (MAESTRELLI, 1997)

3) Algoritmo CIA (*Cluster Identification Algorithm*)

O algoritmo de identificação de agrupamentos, publicado por KUSIAK & CHOW (1987), permite ao usuário determinar a existência de agrupamentos e o número de grupos mutuamente separáveis, ou seja, grupos que não apresentem peças ou máquinas-gargalo (BATOCCHIO & MAESTRELLI, 1994).

A maior virtude do algoritmo CIA é a sua grande simplicidade de uso. Não há necessidade de um analista na identificação dos agrupamentos; o próprio algoritmo garante naturalmente a obtenção dos agrupamentos, gera solução rápida e não necessita da visualização da matriz de incidência reordenada para identificar os grupos. É de fácil implementação computacional, independentemente do número de elementos da matriz de incidência. Por outro lado, a maior limitação se dá quando se trabalha com peças e máquinas-gargalo ou se necessita restringir o tamanho das células (em termos de número de máquinas e peças componentes do agrupamento).

A seguir, apresenta-se a tabela 2.7, com as principais vantagens/desvantagens de utilizar o algoritmo CIA.

Tabela 2.7: Vantagens/desvantagens do Algoritmo CIA.

Vantagens	Desvantagens
- solução rápida para EBD perfeita	- não apresenta solução adequada para EBD incompleta;
- fácil compreensão e aplicação MI	
- não necessita de interação com o analista nem de visualização da MI;	
- fácil de implementação por computador, independentemente do número de elementos de MI($m \times n$)	

Fonte: (MAESTRELLI, 1997)

4) Algoritmo CIA Modificado (*Extended CI Algorithm*)

O algoritmo CIA Modificado, publicado em 1988 (KUSIAK, 1988) permite ao usuário determinar a existência de agrupamentos para EBD incompleta, ou seja, grupos que apresentem peças ou máquinas-gargalo,

Nesta proposta modificada são usados conjuntamente o algoritmo CIA e medidas de similaridade para definir os agrupamentos em que os elementos de exceção devem ser anexados..

Este algoritmo é de fácil compreensão e aplicação, mas há necessidade de um analista na identificação dos agrupamentos e necessidade de visualização da matriz de incidência. Não é adequado para MI com número alto de elementos.

A seguir, apresenta-se uma tabela 2.8 com as principais vantagens/desvantagens de utilizar o algoritmo CIA Modificado.

Tabela 2.8: Vantagens/desvantagens do algoritmo CIA- Modificado.

Vantagens	Desvantagens
- solução rápida para EBD perfeita	- Apresenta solução para EBD incompleta;
- fácil compreensão e aplicação MI	- O CIA modificado é extenso, complexo e depende de interação com o analista
- fácil de implementação por computador, independentemente do número de elementos de MI($m \times n$)	- necessita de interação com o analista e de visualização da MI;

Fonte: (MAESTRELLI, 1997)

5) Algoritmo CBM (*Cost-based Method*)

ASKIN & SUBRAMANIAN (1987), desenvolveram um algoritmo de agrupamento que considera os custos envolvidos nas operações de manufatura:

- 1) custos fixos e variáveis;
- 2) custos de preparação;
- 3) custo do inventário;
- 4) custos do inventário em processo;
- 5) custo de transporte e manuseio de materiais.

O algoritmo consiste de 3 estágios. No primeiro estágio é usado um sistema de classificação e codificação. No estágio 2, é feita a separação de peças de acordo com os custos envolvidos. No estágio 3, o arranjo das máquinas é analisado. Neste trabalho, não serão analisados com maiores detalhes, os algoritmos que necessitam de outras informações além da composição de MI. Por isso, este algoritmo não será estudado.

6) Algoritmo BEA (*Bond Energy Algorithm*)

O algoritmo “agrupamento de acúmulo de energia”, foi publicado por MCCORMICK et al. (1972) e posteriormente modificado (*Modified Bond Energy*) por GONGAWARE &

HAM (1981). O algoritmo usa a medida de efetividade ME como um critério que define a lógica de agrupamento.

Este algoritmo, é de fácil compreensão e aplicação, bem como a sua implantação computacional. É aplicável para EBD incompleta, ou seja, na presença de peças e máquinas-gargalo. Por outro lado necessita de interação com analista, não é adequado para MI (Matriz de incidência) com grandes número de elementos, necessita da visualização da MI reordenada e apresenta necessidade de uma quantidade grande de iterações, no caso de número muito grande de elementos (mxn).

A seguir, apresenta-se a tabela 2.9, com as principais vantagens/desvantagens de utilizar o algoritmo BEA

Tabela 2.9: Vantagens/desvantagens do algoritmo BEA.

Vantagens	Desvantagens
- solução rápida para EBD perfeita	- MI com grande volume de elementos necessita de apoio computacional
- fácil compreensão e aplicação rápida	- depende do analista para identificação dos agrupamentos
- fácil aplicação para matrizes com número reduzido de elementos	- necessária da visualização da MI reordenada para identificação dos agrupamentos
	- para MI com grande número de elementos, o número de repetições do procedimento pode tornar-se muito alto

Fonte: (MAESTRELLI, 1997)

7) Algoritmo SLC (*Single Linkage Clustering*)

O algoritmo SLC publicado por CARRIE (1973), utiliza técnicas hierarquizadas baseadas no uso de medidas de similaridade como critérios de agrupamentos. Existem vários algoritmos que utilizam a medida de similaridade.

Segundo SEIFODDINI (1989) este algoritmo é o mais simples para aplicação.

Este algoritmo, é de fácil compreensão e aplicação. Sua aplicação independe do tipo de solução gerada, ou seja a presença ou não de peças e máquinas-gargalo. Por outro lado, necessita da contribuição de um analista, e não é adequado para MI (Matriz de incidência) com

grande número de elementos, necessita da visualização da MI reordenada e apresenta uma quantidade grande de cálculos e iterações, quando o número de elementos de MI for elevado.

A seguir, apresenta-se a tabela 2.10 com as principais vantagens/desvantagens de utilizar o algoritmo SLC.

Tabela 2.10: Vantagens/desvantagens do algoritmo SLC.

Vantagens	Desvantagens
- aplicação independente do tipo de solução gerada (EBD perfeita ou incompleta);	- necessita interação com analista e visualização das soluções;
- fácil compreensão e aplicação;	- necessita número grande de cálculos para os coeficientes de similaridade e de iterações;
- fácil de implementar por computador (GUPTA & SEIFODDINI, 1990).	- a definição prévia do coeficiente de similaridade a ser usado pode alterar as soluções e a identificação dos agrupamentos.

Fonte: (MAESTRELLI, 1997)

8) Algoritmo DCA (*Direct Clustering Algorithm*)

O algoritmo DCA, ou algoritmo de agrupamento direto, publicado por CHAN & MILNER (1982), busca à configuração dos agrupamentos, baseado em arranjos da MI, a qual, identifica simultaneamente peças e máquinas.

Este algoritmo, é de fácil compreensão e aplicação, independe do tipo de solução gerada, ou seja a presença ou não de peças e máquinas-gargalo. Por outro lado, necessita de grande contribuição de um analista, pois depende do analista na identificação dos grupos e não é adequado para MI (Matriz de incidência) com grande número de elementos. Necessita da visualização da MI reordenada e apresenta necessidade de uma quantidade grande de iterações.

A seguir, apresenta-se a tabela 2.11 com as principais vantagens/desvantagens de utilizar o algoritmo DCA.

Tabela 2.11: Vantagens/desvantagens do algoritmo DCA.

Vantagens	Desvantagens
- aplicação independente do tipo de solução gerada (EBD perfeita ou incompleta);	- grande interação com o analista
- fácil compreensão e aplicação;	- não adequado para MI com dimensão (m x n) grandes;
- fácil de implementar por computador	- dependência do analista na identificação dos grupos.

Fonte: (MAESTRELLI, 1997)

A seguir apresenta-se a tabela 2.12 com as características principais dos algoritmos apresentados; seus pontos comuns, vantagens e desvantagens comparativas.

Tabela 2.12: Comparação: Algoritmos básicos detalhados

Algoritmo	Característica Avaliada						
	identificação	fácil compreensão e aplicação	necessita interação com analista	necessita visualização da MI	fácil implementação computacional	adequado para MI com N° grande de elementos	aplicável para EBD incompleta
ROC	sim	sim, para identificar grupos	sim	sim	não	sim	sim
BEA	sim	sim, para identificar grupos	sim	sim	não	sim	sim
SLC	sim	sim, para ident. grupos e fixar valores limite	sim	sim	não	sim	sim
CIA	sim	não	não	sim	sim	não	não
DCA	sim	sim	sim	sim	não	sim	sim
CIA-modificado	sim	sim, para ident. de grupos	sim	sim	não	sim	sim

Fonte: (MAESTRELLI - 1997)

A apresentação destes algoritmos e de sua lógicas de funcionamento é importante, pois o método proposto neste trabalho pressupõe a aplicação de um algoritmo de agrupamento

em uma de suas fases iniciais. Nesta fase ocorre a denominada “identificação dos conjuntos iniciais”, que será vista com maiores detalhes no capítulo 3.

Portanto, o domínio do conhecimento para a escolha e a aplicação de um algoritmo será necessária no método proposto.

Capítulo 3

Aplicação da Formulação Matricial para Identificação de Famílias de Ferramental: Método Proposto

3.1 Considerações iniciais

Este método baseia-se na proposta apresentada por KUSIAK (1990). Esta proposta prevê a utilização de formulação matricial não para identificar grupos de máquinas e peças que formarão uma célula, mas para permitir verificar se existe um número determinado de ferramentas que pode processar peças diferentes, sem a necessidade de trocas e ajustes, ou seja, definir o ferramental de grupo.

Desse modo, utiliza-se uma matriz de incidência ferramentas x peças em substituição à MI tradicional, que considera máquinas x peças.

Uma vez que seja possível definir previamente este conjunto de ferramentas para aplicações comuns, e considerando que apenas um grupo restrito de peças será processado na máquina em questão, o que se pretende é identificar um conjunto de ferramentas que possa processar qualquer peça da família, eliminando qualquer necessidade de preparação.

Este grupo de ferramentas é denominado “Ferramental de Grupo” conforme já visto neste trabalho, no ítem 2.2.3.

3.2 - Método para identificação

Para entender a utilização de formulação matricial na definição de Ferramental de Grupo, será apresentado um exemplo de aplicação.

Considerando que a matriz de incidência seguinte é representativa do sistema produtivo

que se quer estudar, a figura 3.1 seguinte mostra a MI conforme obtida, a partir dos dados do fluxo de produção.

		Peças								
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
Máq.	(1)	1	0	1	1	1	0	1	0	0
	(2)	0	1	0	0	0	1	0	0	1
	(3)	0	1	0	0	0	1	0	1	1
	(4)	0	0	0	0	0	1	0	1	1
	(5)	1	0	1	1	0	0	1	0	0

Matriz M1

Figura 3.1: Matriz de incidência (aplicação)

A figura 3.2 mostra a mesma matriz MI, reordenada segundo o método ROC. Cabe salientar neste ponto que pode ser utilizado qualquer algoritmo de agrupamento, desde que se possa visualizar minimamente a divisão dos grupos, após sua aplicação.

		Peças								
		(1)	(3)	(4)	(7)	(5)	(6)	(9)	(8)	(2)
Máq.	(1)	1	1	1	1	1	0	0	0	0
	(5)	1	1	1	1	0	0	0	0	0
	(3)	0	0	0	0	0	1	1	1	1
	(4)	0	0	0	0	0	1	1	1	0
	(2)	0	0	0	0	0	1	1	0	1

Matriz M1

Figura 3.2: Matriz reordenada

Observando-se a figura 3.2 é necessário que se selecione uma máquina qualquer da MI para análise.

Considerando-se como exemplo a máquina (1), verifica-se que as peças (1), (3), (4), (7) e (5) sofrem operação em M1 .

Usando-se a mesma regra de formação da MI máquinas x peças, deve-se escrever a MI ferramentas x peças para M1.

A figura 3.3 seguinte mostra a matriz de incidência M2 representativa desta situação. Em 3.3a, é possível verificar que usando-se um conjunto de 8 ferramentas, dado por T1 a T8, tem-se toda a necessidade de operação de peças na máquina 1 satisfeita.

	Peças				
	1	3	4	7	5
T1	1	0	1	0	0
T2	0	1	0	0	1
T3	0	1	0	1	0
T4	1	0	1	0	0
T5	0	1	0	1	1
T6	1	0	1	0	0
T7	0	0	1	0	0
T8	0	1	0	1	1

Matriz M2 (3.3a)

	Peças				
	4	1	3	5	7
T1	1	1	0	0	0
T4	1	1	0	0	0
T6	1	1	0	0	0
T7	1	0	0	0	0
T5	0	0	1	1	1
T8	0	0	1	1	1
T2	0	0	1	1	0
T3	0	0	1	0	1

Matriz M2 reordenada (3.3b)

Figura 3.3: Matriz de incidência (Ferramentas x Peças)

Neste ponto do método, deve-se novamente aplicar um algoritmo de agrupamento, visando verificar se existe um número menor de ferramentas, capaz de processar todas as peças do grupo.

Do mesmo modo que na análise da MI máquinas x peças, pode-se obter como resposta da aplicação do algoritmo, uma estrutura EBD perfeita ou incompleta.

Entretanto, neste caso, este problema não causa dificuldades para identificar os grupos, uma vez que o objetivo desta fase do método é detectar a existência de ferramentas comuns à várias peças.

Se isto efetivamente ocorrer, tem-se a definição dos denominados “conjuntos iniciais”, que formam o ponto de partida para o estudo da adequação ferramentas x peças.

A figura 3.3b mostra a matriz M2 rearranjada, sendo possível identificar 2 conjuntos iniciais:

- 1) As peças (1) e (4) usam o mesmo grupo de ferramentas (T1, T4, T6 e T7), o que significa que não haverá tempo de preparação entre estas peças, uma vez que não haverá necessidade de alterar o ferramental a ser utilizado para qualquer tipo de peças.

2) A mesma análise é válida para as peças (3),(5) e (7), considerando-se o grupo de ferramentas (T2,T3,T5 e T8).

Pode-se, portanto, reduzir ou até mesmo eliminar o tempo de preparação. A simplificação obtida poderá provocar, na etapa de programação da produção e no gerenciamento do uso de ferramental, ganhos no tempo disponível da máquina (1).

No entanto, as considerações feitas até aqui auxiliam na tarefa de definir como utilizar racionalmente as ferramentas determinadas previamente, através de programação conveniente. A definição de qual ferramenta utilizar é o próximo passo do procedimento proposto.

Deve-se verificar se existem ferramentas adequadas para trabalhar todas as peças do agrupamento. Se isto for possível, para a máquina (1) não haverá necessidade de troca de ferramentas. Qualquer que seja o programa de produção e o sequenciamento de peças, as ferramentas utilizadas serão as mesmas para todo o agrupamento.

3.3 - Definição de conjuntos iniciais (Ci)

Para proceder à análise "tecnológica" das ferramentas, utiliza-se a matriz M2 reordenada 3.3b, identificada no ítem anterior.

De acordo com M2, existem 2 conjuntos iniciais C1 e C2, compostos da seguinte maneira:

C1 : peças (4) e (1)

ferramentas T1, T4, T6 e T7

C2 : peças (3), (5) e (7)

ferramentas T5, T8, T2 e T3

A existência destes 2 "agrupamentos" ou "conjuntos iniciais" conduz a duas possíveis soluções para a identificação do ferramental de grupo; cada uma delas originadas de um dos conjuntos.

É necessário verificar, neste caso, duas possibilidades:

- a) se as ferramentas T1, T4,T6, e T7 são adequadas para trabalhar as peças (3), (5) e (7);
- b) se as ferramentas T5, T8,T2 e T3 podem ser usadas no processamento das peças (4) e (1).

As matrizes resultantes do estudo dos conjuntos iniciais levam a construção das matrizes de adequação MA1 e MA2, apresentadas no ítem 3.5.

Este trabalho propõe que a regra de formação das matrizes de adequação seja dada por:

$b_{ij} = [0.1, 1.0]$ se é possível usar a ferramenta i para processar a peça j
não é atribuído valor, se não há possibilidade.

O valor de b_{ij} definido pelo intervalo $[0.1, 1.0]$, será determinado de acordo com o nível de adequação da ferramenta à peça. Quanto maior a adequação entre a ferramenta e a peça, maior o valor de b_{ij} .

A adequação entre ferramentas e peças é uma parte do método que merece especial atenção. Existem muitas maneiras de tentar quantificar a relação de adequação entre ferramentas e peças. No ítem (3.4) seguinte deste trabalho este tópico será aprofundado.

3.4 - Adequação ferramentas x peças

O processo de escolha de ferramentas envolve muitas variáveis. A figura 3.4 (DEGARMO, 1997), apresenta esquematicamente o processo de decisão para escolha de ferramentas de corte.

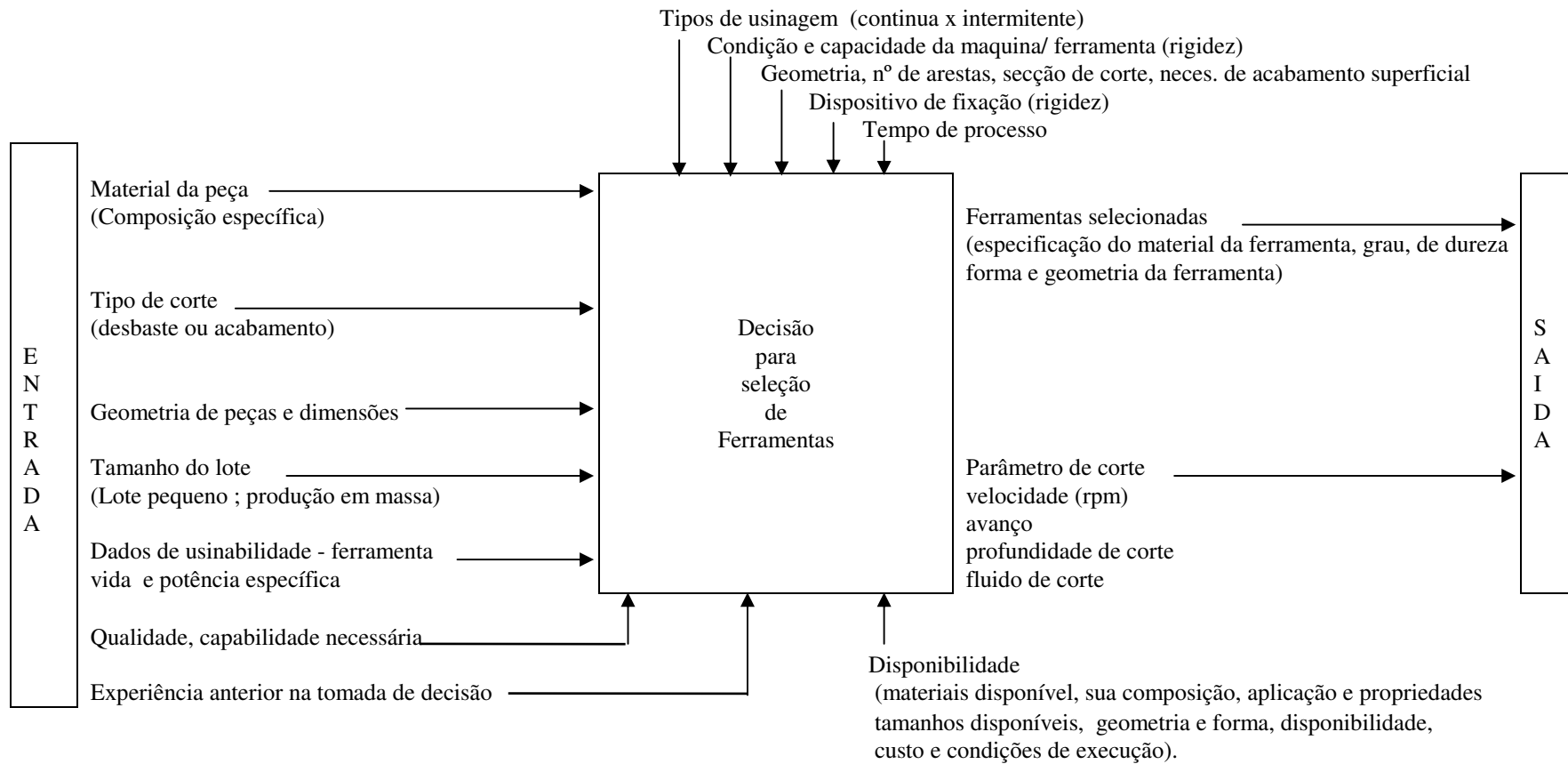


Figura 3.4: Seleção de ferramenta de corte, adaptada (DEGARMO, 1997).

De acordo com FERRARESI (1977), para a seleção de ferramentas de corte, deve ser considerada a experiência prévia, e uma série de fatores:

- material a ser usinado;
- natureza da operação de usinagem;
- condições da máquina operatriz;
- forma e dimensões da própria ferramenta;
- custo do material da ferramenta;
- emprego de refrigeração ou lubrificação.

Independente do material para ferramenta, é necessário, que ele apresente uma série de requisitos, dependendo dos diversos fatores citados acima. As principais características são:

- dureza a quente;
- resistência ao desgaste por abrasão;
- tenacidade;
- estabilidade química.

No caso dos aços para ferramentas, acrescentam-se:

- temperabilidade;
- tamanho de grão.

FERRARESI (1977) indica ainda, que a adequação ferramentas x peças deve considerar as condições de usinagem dentro do Intervalo de Máxima Eficiência (IME).

De acordo com FERRARESI (1977), define-se como intervalo de máxima eficiência (IME) o intervalo compreendido entre as velocidades de corte v_{mxp} (velocidade de máxima produção) e v_0 (velocidade do mínimo custo).

Os valores utilizados da velocidade de corte, devem estar compreendidos neste intervalo. Quando os valores da velocidade de corte forem menores que v_0 , o custo de produção por peça aumenta e o volume produzido diminui. Da mesma forma, quando os valores forem maiores que v_{mxp} , o custo da produção aumenta e a produção diminui. Para valores crescentes da velocidades de corte, no intervalo de máxima eficiência, haverá um aumento do custo por peça e um aumento de produção.

Na prática, é muito importante a aplicação deste intervalo, pois muitas vezes, o valor calculado da velocidade de mínimo custo v_0 , não pode ser fornecida pela máquina. No caso de máquinas operatrizes com várias ferramentas, é necessário alterar a velocidade de corte v_0 de algumas ferramentas, para uma melhor programação. Neste caso sempre será feita de maneira que os seus valores caiam no intervalo $(v_0; v_{mxp})$.

Atualmente existe uma quantidade muito grande de diferentes materiais que podem ser escolhidos para serem utilizados como ferramentas de corte, devido aos intensos investimentos na pesquisa e desenvolvimento de novos e melhores materiais, e à concorrência existente entre os diversos fornecedores. Os materiais mais utilizados são o metal duro convencional e o metal duro revestido, seguidos pelo aço rápido. As cerâmicas, nitreto de boro cúbico e o diamante policristalino têm obtido um certo nível de atuação, em aplicação específica (MARCONDES, 1990).

Em função do grande desenvolvimento nos materiais para ferramentas e suas aplicações, a necessidade de estudar a adequação peça-ferramenta cresceu em importância. Por isso, atualmente, vários pesquisadores têm desenvolvido trabalhos nesta área

Segundo MARCONDES (1990) a otimização da produção, acontece quando as máquinas e as ferramentas forem compatíveis, por isso, a escolha correta da ferramenta para cada tipo de aplicação é imprescindível. Na escolha de uma ferramenta por melhor que seja, ela será vencida pelo desgaste. Por isso é indispensável a melhor identificação e manuseio, para manutenção do fio de corte e a conseqüente minimização das paradas da máquina para troca. A escolha das ferramentas e dos parâmetros de corte, e a conseqüente busca da melhor aplicabilidade das ferramentas e seus melhores resultados, podem ser auxiliadas pela busca aos manuais dos fornecedores, juntamente com assistência técnica permanente dos fabricantes.

Na seleção do sistema de porta-ferramentas e de pastilhas de MD para usinagem, para facilitar a escolha, MARCONDES (1990), propõe um programa, o qual graduou os fatores em função da especificidade com os valores de 1 a 5, sendo que, o 5 corresponde à melhor escolha.

RIBEIRO & COPPINI (1997) utilizam um sistema de banco de dados, para auxiliar computacionalmente a manufatura. Com este sistema, através de funções que possibilitam a otimização, será possível armazenar informações sobre usinagem, principalmente as referentes ao ajuste dos parâmetros de corte para otimização do processo.

Apresenta também um algoritmo, que foi desenvolvido para seleção da melhor relação

custo/benefício entre ferramentas, no momento do desenvolvimento do processo de uma dada peça.

COPPINI et al. (1998) utilizando de forma hipotética os resultados previstos ao final desta dissertação, apresentam uma proposta de planejamento de produção de peças em cenário de fabricação flexível. Concluem que utilizando dados provenientes do banco de dados mencionado anteriormente, é possível programar o “mix” da produção de modo a indicar ao operador o momento adequado para troca da aresta de corte da ferramenta. Desta forma, é retirada do operador a responsabilidade de tomar tal decisão.

O cenário alvo da referida proposta considera a usinagem, em uma jornada de trabalho, de lotes de pequeno número de peças, diferentes de lote para lote, utilizando para tanto uma única ferramenta, denominada de “padrão”.

De acordo com COPPINI et al. (1997) os sistemas de monitoramento para o fim de vida da ferramenta não são sempre confiáveis para aplicação prática. Portanto, há necessidade de se utilizar simultaneamente diferentes sistemas para assegurar, com confiabilidade, o fim de vida da ferramenta. Normalmente, é o operador da máquina que toma a decisão sobre o melhor momento para a troca de ferramenta. Ele se baseia em seu próprio ponto de vista, experiência e sensibilidade. Os autores deste trabalho propõem uma metodologia para o momento de troca de ferramentas mais segura de ser usada em processos de usinagem. O momento de troca é considerado ideal quando ocorrer de forma independente da vontade do operador, como por exemplo, quando um determinado número de peças for usinado pela ferramenta.

Esta metodologia usa um sistema especialista para otimizar o processo, em condições reais de chão de fábrica. No final, apresenta uma análise comparativa de produtividade e custos entre a metodologia proposta e a usual.

Percebe-se portanto, que escolher adequadamente as características do par ferramentas x peças tem sido uma preocupação constante de vários pesquisadores, particularmente para as operações de usinagem.

Neste trabalho, haverá necessidade de quantificar esta adequação, para a construção da matriz MA (Matriz de Adequação ferramentas x peças).

Evidentemente, a construção de MA deverá levar em consideração os aspectos levantados neste ítem.

Conforme visto, o valor da adequação pertence ao intervalo $[0.1, 1.0]$, considerando o valor 1 para a melhor adequação. Esta adequação será melhor explicada posteriormente, neste trabalho, na apresentação do método.

3.5 - Matriz de adequação:

Uma vez consideradas as principais questões que envolvem o estudo da aplicação da adequação ferramentas x peças, neste ítem será detalhada a construção e o detalhamento das matrizes de adequação, usando como exemplo, a matriz M2 definida no item 3.2.

A figura 3.5 seguinte apresenta as matrizes de adequação MA1 e MA2 que se originam de M2 (Figura 3.3).

	Peças				
	4	1	3	5	7
T1	1	1	0,6	0,4	0,4
T4	1	1	0,3	0,7	1
T6	1	1	-	0,5	0
T7	1	0	-	0	-

Matriz de Adequação MA1

	Peças				
	4	1	3	5	7
T5	0,4	0,8	1	1	1
T8	1	1	1	1	1
T2	0,3	1	1	1	0
T3	0,6	-	1	0	1

Matriz de Adequação MA2

Figura 3.5: Matriz de adequação

Analisando a situação apresentada pelas matrizes de adequação MA1 e MA2, obtidas a partir dos conjuntos iniciais C1 e C2 definidos no item 3.3, respectivamente, percebe-se que:

- 1) As ferramentas T6 e T7 não podem ser usadas para processar P3 e P7;
- 2) A ferramenta T3 não pode ser usada para processar P1;
- 3) A peça P4 pode ser processada por dois conjuntos de ferramentas, as ferramentas (T1,T4,T6 e T7) e pelas ferramentas (T5,T8,T2 e T3);
- 4) No entanto, o primeiro conjunto de ferramentas pode ser considerado mais adequado, pois, em todos os casos, tem-se o grau máximo de adequação do par ferramenta/peça ($b_{ij} = 1.0$);
- 5) A mesma situação ocorre para a peça P1, que pode ser processada tanto pelo conjunto de ferramentas (T1,T4 e T6) como pelo conjunto (T5,T8,T2);

- 6) Neste caso, a maior adequação é dada pelo conjunto (T1,T4 e T6);
- 7) A peça P3 só pode ser processada pelo conjunto (T5,T8,T2 e T3), mas pode-se utilizar T1 e T4 para ,se necessário, substituir alguma das ferramentas do conjunto;
- 8) Para a peça P5 tem-se novamente duas possibilidades : processar a peça com o conjunto (T1,T4 e T6) ou com o conjunto (T5,T8 e T2), sendo o último o mais adequado;
- 9) A peça P7 só pode ser processada pelo conjunto (T5,T8 e T3), uma vez que a ferramenta T7 não pode ser utilizada para processá-la (não há adequação entre ferramenta e peça).

No entanto, pode-se utilizar T1 ou T4 para substituir alguma ferramenta do conjunto, caso seja necessário.

Portanto, a partir do conjunto inicial C1 uma possível solução é que, a matriz de adequação seja acrescida de 2 linhas, correspondentes à inclusão de T2 e T3, para possibilitar o processamento de todas as peças do agrupamento, configurando a matriz MA1 ampliada, figura 3.6. A peça P5 poderia ser processada tanto em T6 como em T2 (com maior adequação no segundo caso).

	Peças				
	4	1	3	5	7
T1	1	1	0,6	0,4	0,4
T4	1	1	0,3	0,7	1
T6	1	1	-	0,5	0
T7	1	0	-	0	-
T2	0	0	1	1	0
T3	0	0	1	0	1

Figura 3.6: Matriz de Adequação MA1 ampliada

Para o caso de MA2, é possível processar todo o conjunto de peças com as mesmas ferramentas, embora o valor de adequação de T2 para P4 seja pequeno.

Uma restrição a ser considerada na análise de MA1 e MA2 é o número de ferramentas que o magazine da máquina M1 pode armazenar.

No exemplo dado, se o magazine da máquina suportar no máximo 4 ferramentas não será possível utilizar MA1.

Considerar a capacidade de ferramentas do magazine das máquinas é uma das etapas mais importantes deste procedimento.

Para estudar esta questão, considera-se:

T_m : Capacidade de ferramentas do magazine da máquina (é o número máximo de ferramentas que podem ser montadas simultaneamente na máquina);

T_s : Número de ferramentas proposto pela solução gerada a partir do uso do método de adequação;

Existem várias possibilidades de solução que precisam ser detalhadas:

1) Quando $T_s \leq T_m$, tem-se que:

Para processar todo o conjunto de peças, existe um grupo de ferramentas (T_s ferramentas), que podem ser montadas na máquina, sem necessidade de trocas uma vez que a capacidade do magazine de ferramentas é maior que a necessidade.

Esta é a situação ideal, pois, para o conjunto de peças processadas na máquina, não haverá necessidade de troca de ferramentas, qualquer que seja a sequência definida pelo programa de produção, e qualquer que seja o volume produzido.

As trocas de ferramentas só serão necessárias, quando ocorrer desgaste pelo uso. O monitoramento do desgaste fica facilitado, neste caso, em função do número reduzido de variedades de ferramentas com que se trabalha.

2) Quando $T_s > T_m$, tem-se que:

Para processar todo o conjunto de peças, será necessário um grupo de ferramentas (T_s , ferramentas) maior que o magazine da máquina, o que leva à necessidade de trocas de ferramentas.

Esta não é uma situação ideal, uma vez que a capacidade do magazine de ferramentas da máquina é menor que a necessidade (T_s).

No entanto, sempre que ocorrer a situação em que $T_s > T_m$, deve-se procurar reduzir o

número de variedades de ferramentas, de tal forma que seja possível processar o maior conjunto de peças, sem necessidade de trocas.

Mesmo nos casos em que não seja possível encontrar conjuntos de ferramentas que sejam adequados para todo o conjunto de peças, a redução da variedade sempre facilitará o trabalho de diminuição das atividades de “*set-up*”.

Para comparar soluções obtidas a partir da análise das matrizes de adequação, é preciso utilizar algum parâmetro que avalie a qualidade de cada solução.

Neste trabalho será utilizada a “medida de eficiência de ferramental de grupo”, EFG. Cabe observar que, por tratar-se de uma proposta de um método para redução e/ou eliminação de tempos de preparação, a medida EFG foi criada especificamente para este propósito.

A medida de Eficiência de Ferramental de Grupo (EFG) é calculada a partir da seguinte relação :

$$EFG = \frac{\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^t b_{ij}}{(n \cdot t - z)}$$

onde:

b_{ij} = valor da adequação da ferramenta i à peça j

n = número de peças da matriz de adequação

t = número de ferramentas da matriz de adequação

z = número de vezes em que, na matriz de adequação, ocorre a situação onde não é feita a análise para a adequação (não há necessidade de usar a ferramenta para a peça em questão), ou seja, é o número de “zeros” da matriz de adequação.

A matriz de incidência ferramentas x peças é formada por elementos $b_{ij} = 0$, quando a ferramenta i não processa a peça j e $b_{ij} = 1$, quando a ferramenta i processa a peça j , conforme estudado no item 3.3 deste capítulo.

Na formação da matriz de adequação ferramentas x peças, os elementos $b_{ij} = 1$ serão considerados a melhor adequação.

Para os elementos $b_{ij} = 0$, será estudada a adequação, quando houver necessidade de substituir uma ferramenta, ou completar um conjunto de ferramentas capaz de processar uma

família de peças, sem a necessidade de trocas.

Desta forma, quando a ferramenta for analisada quanto à adequação ferramentas/peças, será atribuído valor $[0,1;1,0]$, quando existir adequação e “-” quando não existir adequação; ou seja, quando não houver possibilidade da ferramenta i processar a peça j .

Quando o elemento b_{ij} for 0 na matriz adequação, significa que não houve a necessidade de analisar a adequação, e assim, a ferramenta não será necessária para processar a peça em questão.

Neste caso, a medida (EFG) não será afetada, pois a peça possui um conjunto de ferramentas capaz de processar todas as peças sem a necessidade de trocas.

Analisando-se a composição de EFG, pode-se observar que:

- 1) Quando o valor da adequação entre ferramentas e peças de uma matriz adequação é alta, os valores de b_{ij} serão altos e conseqüentemente, tem-se EFG alta;
- 2) Quando se trabalha com matrizes de adequação com grande número de ferramentas e peças, existe maior probabilidade de encontrar-se valores de b_{ij} diferentes de 1.0 (valor ideal), conseqüentemente, o valor da medida EFG tende a ser mais baixo;
- 3) A situação em que $n.t = z$, que faz com que o denominador da relação que define EFG $n.t - z = 0$, não ocorrerá, pois isto inviabiliza a própria existência da matriz de adequação;
- 4) Deve-se sempre descontar o valor de z (número de zeros) no cálculo de EFG, uma vez que o valor 0 na matriz de adequação não significa alta inadequação, e sim a não necessidade de utilizar a ferramenta para a peça em análise.
- 5) Tal não ocorre quando não é atribuído valor para b_{ij} . Neste caso, a ferramenta não pode ser usada para a peça em análise, mas será preciso definir outra ferramenta em seu lugar. Esta solução, portanto, deverá ser qualitativamente pior que a anterior; e o valor de EFG deverá refletir esta situação.

O exemplo seguinte ilustra as diferenças que podem ocorrer para as situações apresentadas anteriormente.

	1	2	3
T1	1	1	1
T2	1	1	1
T3	1	1	1

1^o Caso

	1	2	3
T1	1	1	1
T2	1	1	1
T3	1	1	0

2^o Caso

	1	2	3
T1	1	1	1
T2	1	1	-
T3	1	1	1

3^o Caso

No primeiro caso tem-se para EFG:

$EFG = (1+1+1+1+1+1+1+1+1) / (3 \times 3 - 0) = 1.0$, configurando a situação ideal, em termos de adequação.

No segundo caso tem-se para EFG:

$EFG = (1+1+1+1+1+1+1+1) / (3 \times 3 - 1) = 1.0$, configurando-se outra situação ideal, mas, neste caso, descontando-se o elemento $b_{ij} = 0$ (não houve necessidade de usar a ferramenta T3 para processar a peça P3).

No terceiro caso, tem-se para EFG:

$EFG = (1+1+1+1+1+1+1+1) / (3 \times 3 - 0) \cong 0.89$, embora o valor de EFG seja alto, não se configura nesta situação, o valor ideal. Isto ocorre por que a ferramenta T2 não pode ser usada para processar a peça P3.

Assim, a medida EFG conforme definida, será utilizada para comparar as soluções encontradas, de modo a facilitar o processo de escolha da melhor opção de matriz de adequação, para cada situação estudada, o que significará adotar o conjunto de ferramentas mais adequado para o processamento das peças, sob ponto de vista da eliminação da necessidade de troca.

No caso do exemplo estudado neste capítulo, e com base nas matrizes MA1 e MA2 definidas no item 3.5, tem-se a seguinte tabela 3.1 resumo para os conjuntos iniciais:

Tabela 3.1: Resumo para os conjuntos iniciais.

CONJ. INICIAL	FERRAMENTAS	EFG	TS	TM	OBS
C1	T1,T4,T6 T7	0,71	6	4	Inviável
C2	T5,T8,T2,T3	0,84	4	4	Viável

Para este caso, deve-se necessariamente, optar pela solução obtida a partir de C2, pois quando se utiliza o conjunto C1, tem-se $T_s(1) > T_m$, inviabilizando esta opção.

Desse modo, a solução proposta pelo método para este exemplo, apresenta as ferramentas T2, T3, T5 e T8 como adequadas (EFG=0,84) para trabalhar todas as peças da família (P1, P3, P4, P5 e P7).

Uma vez definido o procedimento proposto pelo método, pode-se resumir-lo no diagrama esquemático seguinte:

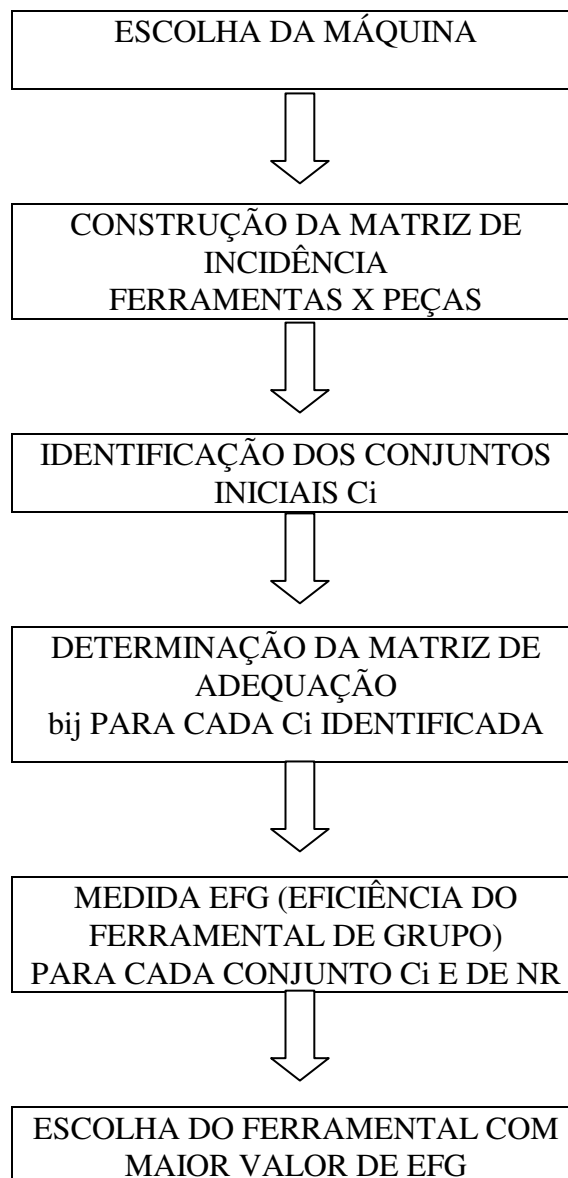


Figura 3.7: Diagrama do Método para Identificação do Ferramental de Grupo

No item seguinte deste trabalho serão apresentados dois exemplos de aplicação do método proposto, visando analisar sua validade.

Capítulo 4

Aplicação do Método

4.1 – Exemplo de aplicação I: Aplicação do Método ao Centro de Torneamento CNC do Laboratório de Comando Numérico da Universidade Metodista de Piracicaba.

Para exemplificar a aplicação do método, procede-se à análise de uma situação real, que ocorre no Laboratório de Comando Numérico da Universidade. Avaliando-se as peças nos processos de usinagem de corpos de prova para ensaios de tração e confecção de peças didáticas executadas no Centro de Torneamento CNC, foi construída a matriz de incidência

		Peças			
		P1	P2	P3	Tipos de operações
Ferramentas	T1	1			Desbaste externo
	T2	1			Acabamento
	T3	1			Canal
	T4	1			Roscamento
	T5		1		Desbaste externo
	T6		1		Acabamento
	T7		1		Canal
	T8		1		Roscamento
	T9			1	Desbaste
	T10			1	Acabamento

Figura 4.1 Matriz do torno CNC

Figura 4.1 representada pelas peças P1, P2 e P3 (figuras 4.3, 4.4 e 4.5) correspondente às peças exemplo utilizadas nas aulas práticas de Tecnologia Mecânica dos cursos de Engenharia

Industrial e de Produção da Universidade.

A restrição quanto ao número máximo de ferramentas será dada pela capacidade do porta ferramentas da máquina usada, no Centro de Torneamento. A tabela 4.1 apresenta a descrição/especificação da máquina utilizada.

Tabela 4.1: Descrição da máquina utilizada no exemplo de aplicação I

Máquina	Descrição
Torno	CENTUR 30RV
Potência	7,5 CV
Comando	MACH 8
Sistema fixação	PLACA PNEUMÁTICA
Sistema fixação ferramentas	TORRE ELÉTRICA
Número de ferramentas	04 EXTERNAS / 04 INTERNAS
Rotação mínima	5 RPM
Rotação máxima	4.000 RPM

Neste caso, tem-se capacidade para montar simultaneamente, até 4 ferramentas diferentes.

Portanto;

$$T_s \leq 4$$

A melhor solução para a matriz de adequação resultante do método proposto está mostrada na figura 4.2, que resulta em eficiência EFG = 0,94.

		Peças			Tipos de operações
		P1	P2	P3	
Ferramentas	T1	1	1	1	Desbaste
	T2	1	0,7	1	Acabamento
	T4	1	1	0	Roscamento
	T7	0,7	1	0	Canal

Figura 4.2: Matriz de adequação

Cálculo da EFG = $9,4/10 = 0,94$

A Eficiência do Ferramental de Grupo (EFG) é de 94%.

As ferramentas usadas nesta solução estão listadas na tabela 4.2

Tabela 4.2: Ferramentas utilizadas no exemplo de aplicação I

Pastilhas	Suportes	Operações
N151.2 - 300-4E 235 P45 M35	R151.21-2020-30	Canal (bedame) - T 07
R166.0G-16VM01-002 S10 P10	R166.0FG 2020 16	Rosca externa - T 04
DCMT 11 T3 04 SPA 15	SDJCR 2020K11	Acabamento (CNC) - T 02
CNMG 120408 PA SPA15	PCLNR 2020K12	Desbaste (CNC) - T 01

Neste caso, foi possível obter solução com alto valor de EFG e dentro dos limites da capacidade de ferramentas do Torno ($T_m = 4$).

O valor da adequação foi determinado utilizando-se informações dos fabricantes de ferramentas de usinagem fornecidos nos catálogos técnicos (SANDVIK, 1994)

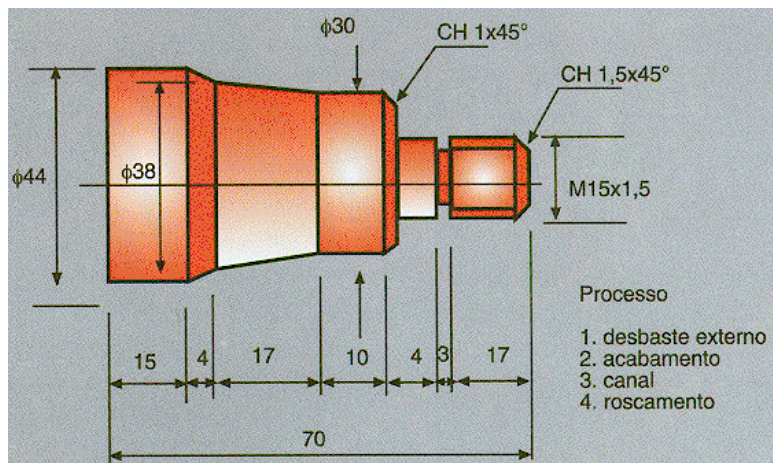


Figura 4.3: Peça 1 (P1)

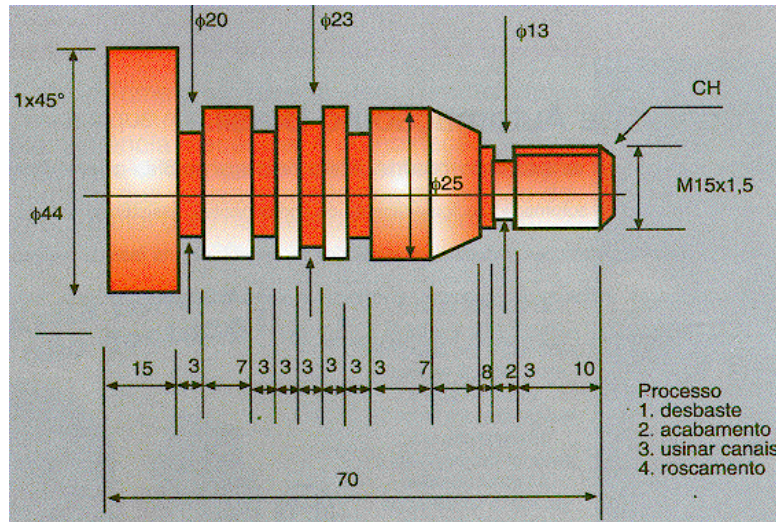


Figura 4.4: Peça 2 (P2)

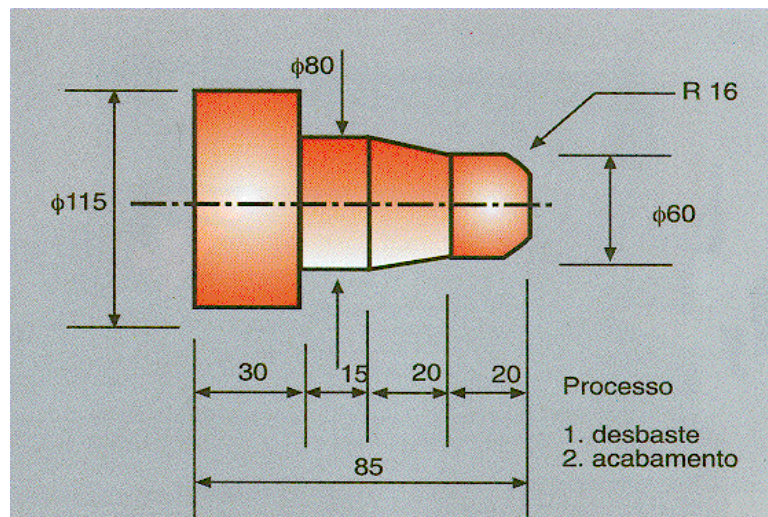


Figura 4.5: Peça 3 (P3)

4.2- Exemplo de aplicação II : Ambiente Industrial

Neste exemplo, o método proposto será aplicado a uma situação real, em uma indústria da região de Piracicaba.

A indústria em questão é fabricante de peças para equipamentos hidráulicos.

Possui por volta de 101 funcionários, sendo 72 % em mão-de-obra direta. As máquinas ferramentas de usinagem, em particular os centros de torneamento (CNC), são predominantes no chão de fábrica, cerca de 45 % do total.

Para a realização da coleta de dados, foram utilizadas as seguintes informações, sobre os tempos de preparação de máquinas/ferramentas de usinagem:

- 1) Definição da máquina ferramenta a ser estudada, suas características principais de processo e nível de utilização: potência, capacidade do porta ferramentas, natureza do processo, dimensões máximas e mínimas a serem usinadas;
- 2) Identificação das peças/ componentes que sofrem operações na referida máquina: definição do material das peças, geometria e dimensões principais, número de tipos diferentes de peças a serem trabalhadas na máquina;
- 3) Para cada peça identificada, definição das ferramentas que são utilizadas no seu processamento e do tempo médio gasto em preparação/montagem e processamento.

Os dados fornecidos pela empresa estão mostrados nas tabelas seguintes.

Os desenhos das peças utilizadas estão apresentados no anexo 1.

A tabela 4.3 apresenta as principais características da máquina escolhida, um Centro de Torneamento Okuma.

Tabela 4.3: Descrição da máquina utilizada no exemplo de aplicação II

Máquina	Descrição
Centro de torneamento	OKUMA-Cadet
Potência	15 CV
Diâmetro mínimo	φ12 mm
Diâmetro máximo	φ240 mm
Dimensões do suporte	25x25 mm para suporte externo; φ 40 mm máxima dimensão para suporte interno.
Número de ferramentas	12
Rotação mínima	10 RPM
Rotação máxima	3500 RPM

As tabelas seguintes (4.4 a 4.11) apresentam os dados referentes às peças que são fabricadas na máquina escolhida, e que totalizam 8 tipos diferentes. Fornecem ainda informações sobre as ferramentas (suportes e insertos), as operações realizadas e os tempos de usinagem e preparação.

Tabela 4.4: Características de processo para Peça (P1)

Dados sobre a peça P1		
Natureza	Descrição	
Material da peça	SAE 1060	
Diâmetro mínimo	φ 20,5 mm	
Diâmetro máximo	φ 47,6 mm	
Comprimento máximo	62 mm	
Material bruto	φ47,6x63 mm	
Especificação do processo		
Operação	Suportes	Insertos
Desbaste externo	PCLNR 2525 M12	CNMG 12 04 12
Acabamento externo	MTJNR 2525 M16	TNMG 16 04 04
Canal externo	R166.4FG-2525-16	R154.0G-16CC01-130
Broca	R416.2-0200L25-31	LCMX 03 03 08
Tornear interno	S16R-CTFPR-11	TPMR 11 03 08
Rosca interno	R166.0KF-10E-11	R166.0F-16 VM01-002
Dados sobre os tempos de operação		
Tempo de “Set-up”: 40 min.		
Tempo de usinagem: 2,5 min.		

Tabela 4.5: Características de processo para Peça (P2)

Dados sobre a peça P2		
Natureza	Descrição	
Material da peça	SAE 1045	
Diâmetro mínimo	φ 52 mm	
Diâmetro máximo	φ 89 mm	
Comprimento máximo	60 mm	
Material bruto	φ88,9x62 mm	
Especificação do processo		
Operação	Suportes	Insertos
Tornear externo	PCLNR 2525 M12	CNMG 12 04 12
Tornear interno	S32U-PCLNR M12	CNMG 12 04 12
Rosca interna	R166.0KF-10E-11	R166.0F-16VM01-002
Dados sobre os tempos de operação		
Tempo de “Set-up”: 20 min.		
Tempo de usinagem: 4,0 min.		

Tabela 4.6: Características de processo para Peça (P3)

Dados sobre a peça P3		
Natureza	Descrição	
Material da peça	SAE 1020	
Diâmetro mínimo	φ 40 mm	
Diâmetro máximo	φ 63,5 mm	
Comprimento máximo	70 mm	
Material bruto	φ63,5x72 mm	
Especificação do processo		
Operação	Suportes	Insertos
Tornear externo	PCLNR 2525 M12	CNMG 12 04 12
Tornear desbaste interno	S32U PCLNR M12	CNMG 12 04 12
Tornear acabamento interno	S32U MTJNR M16	TNMG 16 04 08
Canal interno	R166.0KF-10E-11	LIS40G16 CC01160
Dados sobre os tempos de operação		
Tempo de “Set-up”: 30 min.		
Tempo de usinagem: 3,5 min.		

Tabela 4.7: Características de processo para Peça (P4)

Dados sobre a peça P4		
Natureza	Descrição	
Material da peça	FOFO MODULAR 45012	
Diâmetro mínimo	φ 32 mm	
Diâmetro máximo	φ 54 mm	
Comprimento máximo	51 mm	
Material bruto	φ56,8x55 mm	
Especificação do processo		
Operação	Suportes	Insertos
Desbaste externo	PCLNR 2525 M12	CNMG 12 04 12
Acabamento externo	MTJNR 2525 M16	TNMG 16 04 08
Tornear interno	S20S-CTFPR 11	TPMR 11 03 08
Canal interno	RAG151.22-25R-20	N151.2-250-4E
Canal externo	RF 151.22 2525-25	N151.3-250-4E
Dados sobre os tempos de operação		
Tempo de “Set-up”: 40 min.		
Tempo de usinagem: 5,0 min.		

Tabela 4.8: Características de processo para Peça (P5)

Dados sobre a peça P5		
Natureza	Descrição	
Material da peça	SAE 1060	
Diâmetro mínimo	-	
Diâmetro máximo	φ 47,6 mm	
Comprimento máximo	62 mm	
Material bruto	φ47,6x63 mm	
Especificação do processo		
Operação	Suportes	Insertos
Desbaste externo	PCLNR 2525 M12	CNMG 12 04 12
Acabamento externo	MTJNR 2525 M16	TNMG 12 04 08
Dados sobre os tempos de operação		
Tempo de “Set-up”: 10 min.		
Tempo de usinagem: 1,2 min.		

Tabela 4.9: Características de processo para Peça (P6)

Dados sobre a peça P6		
Natureza	Descrição	
Material da peça	SAE 1010	
Diâmetro mínimo	φ 8 mm	
Diâmetro máximo	φ 22 mm	
Comprimento máximo	42 mm	
Material bruto	φ22,5x42 mm	
Especificação do processo		
Operação	Suportes	Insertos
Desbaste externo	PCLNR 2525 M12	CNMG 12 04 12
Acabamento externo	MTJNR 2525 M16	TNMG 16 04 08
Furar	-	Broca φ8
Rosca externa	R166.4FG-2525-16	R166.0G-16VM01-002
Dados sobre os tempos de operação		
Tempo de “Set-up”: 30 min.		
Tempo de usinagem: 2,0 min.		

Tabela 4.10: Características de processo para Peça (P7)

Dados sobre a peça P7		
Natureza	Descrição	
Material da peça	FERRO FUNDIDO 45012	
Diâmetro mínimo	φ 60 mm	
Diâmetro máximo	φ 88,7 mm	
Comprimento máximo	48 mm	
Material bruto	φ88,7x50 mm	
Especificação do processo		
Operação	Suportes	Insertos
Desbaste externo	PCLNR 2525 M12	CNMG 12 04 12
Acabamento externo	MTJNR 2525 M16	TNMG 16 04 08
Tornear interno	S32U PCLNR M12	CNMG 12 04 12
Rosca externa	R166.4KF-2525-16	R166.0G-16VM01-002
Canal externo	RF151.222525-25	N151.3-250-4E
Canal interno	RAG151.32-32S-40	N151.3-500-50-4G
Dados sobre os tempos de operação		
Tempo de “Set-up”: 60 min.		
Tempo de usinagem: 5,0 min.		

Tabela 4.11: Características de processo para Peça (P8)

Dados sobre a peça P8		
Natureza	Descrição	
Material da peça	SAE 1045	
Diâmetro mínimo	-	
Diâmetro máximo	φ 26 mm	
Comprimento máximo	388 mm	
Material bruto	φ26x 391 mm	
Especificação do processo		
Operação	Suportes	Insertos
Desbaste externo	PCLNR 2525 M12	CNMG 12 04 12
Acabamento externo	MTJNR 2525 M16	TNMG 16 04 08
Rosca externa	R166.4KF-2525-16	R166.0G-16VM01-002
Dados sobre os tempos de operação		
Tempo de “Set-up”: 25 min.		
Tempo de usinagem: 2,3 min.		

Com base nos dados fornecidos nas tabelas anteriores, aplica-se o procedimento proposto no cap.3 deste trabalho.

Após a escolha da máquina (Figura 3.7), procede-se à construção da matriz de incidência peças x ferramentas, conforme pode ser visto na figura 4.6.

Estudando o processo de fabricação de cada peça (P1 a P8), são identificadas 18 ferramentas diferentes, que executam 33 operações no total. Portanto, já existem ferramentas comuns a várias operações. Neste caso, como o magazine porta-ferramentas suporta até 12 tipos diferentes, o método deverá apresentar soluções mais adequadas para $T_s \leq 12$.

A figura 4.6 apresenta a matriz de incidência gerada neste caso, para o Centro de Torneamento CNC Okuma-Cadet.

Peças

	Tipos de ferramentas		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	Tipos de operações
	PCLNR 2525 M12/CNMG 12 04 12	T1	1	1	1	1	1	1	1	1	Desbaste externo
	MTJNR 2525M16/TNMG 16 04 04	T2	1	0	0	0	0	0	0	0	Acabamento externo
F	R166.4FG-2525-16/R154.0G-16CC01-130	T3	1	0	0	0	0	0	0	0	Canal externo
E	R41620200L2531/LCMX 03 03 08	T4	1	0	0	0	0	0	0	0	Broca
R	S16RCTFPR11/TPMR 11 03 08	T5	1	0	0	0	0	0	0	0	Desbaste interno
R	R166.0KF-10E-11/R166.0F-16VM01-002	T6	1	1	0	0	0	0	0	0	Rosca interno
A	S32U PCLNR M12/CNMG 12 04 12	T7	0	1	1	0	0	0	1	0	Desbaste interno
M	S32U MTJNR M16/TNMG 16 04 08	T8	0	0	1	0	0	0	0	0	Acabamento interno
E	R166.0KF-10E-11/LIS 40G16-CC01-160	T9	0	0	1	0	0	0	0	0	Canal interno
N	MTJNR 2525M16/TNMG 16 04 08	T10	0	0	0	1	0	1	1	1	Acabamento externo
T	S20S-CTFPR11/TPMR 11 03 08	T11	0	0	0	1	0	0	0	0	Desbaste interno
A	RAG151.22-25R-20/N151.2-250-4E	T12	0	0	0	1	0	0	0	0	Canal interno
S	RF151.222525-25/N151.3-250-4E	T13	0	0	0	1	0	0	1	0	Canal externo
	MTJNR 2525M16/TNMG 12 04 08	T14	0	0	0	0	1	0	0	0	Acabamento externo
	Broca $\phi 8$	T15	0	0	0	0	0	1	0	0	Broca
	R166.4FG-2525-16/R166.0G-16VM01-002	T16	0	0	0	0	0	1	0	0	Rosca externa
	R166.4KF-2525-16/R166.0G-16VM01-002	T17	0	0	0	0	0	0	1	1	Rosca externa
	RAG 151.32-32S-40/N151.3-500-50-4G	T18	0	0	0	0	0	0	1	0	Canal interno

Figura 4.6: Matriz de incidência ferramentas x peças – Centro de torneamento CNC – OKUMA-Cadet

A partir da matriz de incidência obtida, deve-se proceder à identificação dos conjuntos iniciais (terceiro passo do procedimento). Para esta aplicação específica, usou-se o método ROC, detalhado no ítem 2.3.2 deste trabalho.

Com base na descrição das operações que as ferramentas T1 a T18 executam nas peças P1 a P8, também é possível identificar a peça/elemento composto (BURBIDGE, 1975) para auxiliar na tarefa de construção da matriz adequação.

Neste caso, o elemento composto P_{EC} que representa a família de peças estudadas, teria as seguintes operações: desbaste externo, acabamento externo, canal externo, rosca externa, broca, desbaste interno, acabamento interno, rosca interna e canal interno.

A matriz de incidência rearranjada usando-se método ROC está mostrada na figura 4.7.

		Peças							
	P1	P2	P3	P7	P4	P6	P8	P5	
T1	1	1	1	1	1	1	1	1	
T2	1	0	0	0	0	0	0	0	
T3	1	0	0	0	0	0	0	0	
T4	1	0	0	0	0	0	0	0	
T5	1	0	0	0	0	0	0	0	
T6	1	1	0	0	0	0	0	0	
T7	0	1	1	1*	0	0	0	0	
T8	0	0	1	0	0	0	0	0	
T9	0	0	1	0	0	0	0	0	
T10	0	0	0	1	1	1	1	0	
T13	0	0	0	1	1	0	0	0	
T17	0	0	0	1	0	0	1	0	
T18	0	0	0	1	0	0	0	0	
T11	0	0	0	0	1	0	0	0	
T12	0	0	0	0	1	0	0	0	
T15	0	0	0	0	0	1	0	0	
T16	0	0	0	0	0	1	0	0	
T14	0	0	0	0	0	0	0	1	

Figura 4.7: Matriz de incidência rearranjada

Analisando-se a matriz obtida, observa-se que:

- a ferramenta T1 é utilizada na operação de desbaste externo para todas as peças estudadas (P1 a P8). Portanto, neste caso, não há necessidade de padronização, pois qualquer que seja a peça a ser usinada, não há necessidade de troca de ferramentas para a operação de desbaste externo;

- b) a solução apresentada não gera EBD perfeita, pois a ferramenta T7 (usada em operação de desbaste interno) caracteriza-se como um elemento de exceção (*);

Assim, pode-se propor 2 condições para definição dos conjuntos iniciais: considerar T7 em cada um dos agrupamentos (Figura 4.8) ou desconsiderar T7 e gerar grupos mutuamente exclusivos (Figura 4.9).

Peças								
	P1	P2	P3	P7	P4	P6	P8	P5
T1	1	1	1	1	1	1	1	1
T2	1	0	0	0	0	0	0	0
T3	1	0	0	0	0	0	0	0
T4	1	0	0	0	0	0	0	0
T5	1	0	0	0	0	0	0	0
T6	1	1	0	0	0	0	0	0
T7	0	1	1	1	0	0	0	0
T8	0	0	1	0	0	0	0	0
T9	0	0	1	0	0	0	0	0

Conjunto C1

Peças								
	P1	P2	P3	P7	P4	P6	P8	P5
T1	1	1	1	1	1	1	1	1
T7	0	1	1	1	0	0	0	0
T10	0	0	0	1	1	1	1	0
T13	0	0	0	1	1	0	0	0
T17	0	0	0	1	0	0	1	0
T18	0	0	0	1	0	0	0	0
T11	0	0	0	0	1	0	0	0
T12	0	0	0	0	1	0	0	0
T15	0	0	0	0	0	1	0	0
T16	0	0	0	0	0	1	0	0
T14	0	0	0	0	0	0	0	1

Conjunto C2

Figura 4.8 : Conjuntos iniciais (primeira possibilidade)

A Figura 4.9 seguinte apresenta a condição de desconsiderar T7 e gerar grupos mutuamente exclusivos.

Peças								
	P1	P2	P3	P7	P4	P6	P8	P5
T2	1	0	0	0	0	0	0	0
T3	1	0	0	0	0	0	0	0
T4	1	0	0	0	0	0	0	0
T5	1	0	0	0	0	0	0	0
T6	1	1	0	0	0	0	0	0
T8	0	0	1	0	0	0	0	0
T9	0	0	1	0	0	0	0	0
T10	0	0	0	1	1	1	1	0
T13	0	0	0	1	1	0	0	0
T17	0	0	0	1	0	0	1	0
T18	0	0	0	1	0	0	0	0
T11	0	0	0	0	1	0	0	0
T12	0	0	0	0	1	0	0	0
T15	0	0	0	0	0	1	0	0
T16	0	0	0	0	0	1	0	0
T14	0	0	0	0	0	0	0	1

Figura 4.9 : Conjuntos iniciais (segunda possibilidade)

Desse modo, deve-se analisar cada possibilidade nas etapas posteriores do procedimento proposto.

1º caso:

Considerar T7 em cada conjunto inicial:

- Análise do conjunto inicial C1:

O conjunto inicial C1 caracteriza-se na Figura 4.8, composto pelas ferramentas T1 a T9 e pelas peças P1 a P8. Para avaliar a adequação ferramentas x peças deve-se considerar um número mínimo de ferramentas, capazes de executar as operações definidas pelo elemento composto.

Para o conjunto inicial C1 deve ser incluída, portanto, no mínimo uma ferramenta para operação de rosca externa. Cabe salientar que neste caso, tem-se para o limite de Ts , $Ts \leq 12$. Portanto, a matriz adequação será considerada conforme figura 4.10.

	Peças								
	P1	P2	P3	P7	P4	P6	P8	P5	
T1	1	1	1	1	1	1	1	1	Desbaste externo
T2	1	0	0	1	1	1	1	1	Acabamento externo
T3	1	0	0	0,5	0,5	0	0	0	Canal externo
T4	1	0	0	0	0	0	0	0	Broca
T5	1	0	0	0	0,2	0	0	0	Desbaste interno
T6	1	1	0	0	0	0	0	0	Rosca interna
T7	0	1	1	1	0,2	0	0	0	Desbaste interno
T8	0	0	1	0	0	0	0	0	Acabamento interno
T9	0	0	1	0,2	0,2	0	0	0	Canal interno
T15	0	0	0	0	0	1	0	0	Broca $\phi 8$
T16	0	0	0	0	0	1	0	0	Rosca externa
T17	0	0	0	1	0	0	1	0	Rosca externa

Figura 4.10 : Matriz adequação (MA1)

Cálculo da EFG = $29,8/34 = 0,88$

A Eficiência do Ferramental de Grupo (EFG) é de 88%.

- Análise do conjunto inicial C2:

O conjunto C2 caracteriza-se na Figura 4.8, composto pelas ferramentas T1, T7, T10 a T18 e pelas peças P1 a P8. Com as mesmas condições feitas na análise anterior, para o conjunto inicial C1, tem-se na Figura 4.11 o estudo de adequação ferramentas x peças. Neste caso, considerando-se o número de operações do elemento composto, obtém-se 14 ferramentas na matriz. Desse modo, tem-se para MA2: $Ts = 14$ maior que Tm . Portanto, esta solução não será considerada adequada.

		Peças								
	P1	P2	P3	P7	P4	P6	P8	P5		
T1	1	1	1	1	1	1	1	1	Desbaste externo	
T7	0	1	1	1	0	0	0	0	Desbaste interno	
T10	0	0	0	1	1	1	1	0	Acabamento externo	
T13	0	0	0	1	1	0	0	0	Canal externo	
T17	0	0	0	1	0	0	1	0	Rosca externa	
T18	0	0	0	1	0	0	0	0	Canal interno	
T11	0	0	0	0	1	0	0	0	Desbaste interno	
T12	0	0	0	0	1	0	0	0	Canal interno	
T15	0	0	0	0	0	1	0	0	Broca $\phi 8$	
T16	0	0	0	0	0	1	0	0	Rosca externa	
T14	0	0	0	0	0	0	0	1	Acabamento externo	
T4	1	0	0	0	0	0	0	0	Broca	
T8	0	0	1	0	0	0	0	0	Acabamento interno	
T6	1	1	0	0	0	0	0	0	Rosca interna	

Figura 4.11: Matriz adequação (MA2)

2º caso:

Desconsiderar T7 e gerar grupos mutuamente exclusivos (Figura 4.9)

- Análise do conjunto inicial C1:

O conjunto inicial C1 caracteriza-se na Figura 4.9, composto pela ferramenta T2, T3, T4, T5, T6, T8 e T9 e pelas peças P1, P2 e P3.

Para avaliar a adequação ferramentas x peças deve-se proceder a formação da matriz

adequação.

Desse modo, considera-se o conjunto inicial C1 e acrescentam-se as ferramentas necessárias para executar as operações definidas pelo elemento composto.

A ferramenta T1 utilizada na operação de desbaste externo foi estudada no item (a) da análise da matriz rearranjada. Portanto, esta ferramenta deve ser acrescentada na matriz adequação.

Analisando o elemento composto, faltam ferramentas para as operações de rosca externa e broca. Assim, com o complemento das ferramentas, pode-se verificar na Figura 4.12, a matriz adequação correspondente a esta situação.

		Peças								
	P1	P2	P3	P7	P4	P6	P8	P5		
T2	1	0	0	1	1	1	1	1	Acabamento externo	
T3	1	0	0	0,5	0,5	0	0	0	Canal externo	
T4	1	0	0	0	0	0	0	0	Broca	
T5	1	0,5	0,5	0,5	0,2	0	0	0	Desbaste interno	
T6	1	1	0	0	0	0	0	0	Rosca interna	
T8	0	0	1	0	0	0	0	0	Acabamento interno	
T9	0	0	1	0,2	0,2	0	0	0	Canal interno	
T1	1	1	1	1	1	1	1	1	Desbaste externo	
T16	0	0	0	0	0	1	0	0	Rosca externa	
T17	0	0	0	1	0	0	1	0	Rosca externa	
T15	0	0	0	0	0	1	0	0	Broca $\phi 8$	

Figura 4.12 : Matriz adequação (MA3)

Com base na análise de MA3, verifica-se que é possível usinar as 8 peças (P1 a P8), usando-se o conjunto de ferramentas T1 a T6, T8, T9, T15 a T17, totalizando 11 tipos diferentes e tendo-se, portanto, $T_s \leq 12$.

O valor de EFG para esta situação será dado por:

$$EFG = 28,1 / 33 = 0,85$$

E a Eficiência do Ferramental de Grupo é de 85%

- Análise do conjunto inicial C2:

O conjunto C2 caracteriza-se na Figura 4.9, composto pelas ferramentas T10 a T18 e pelas peças P7, P4, P6, P8 e P5. Com as mesmas considerações feitas no 1 caso para o conjunto inicial C1, a ferramenta T1 faz parte do conjunto de ferramentas na matriz de adequação. Como a formação da matriz adequação exige um conjunto de ferramentas capaz de executar as operações definidas pelo elemento composto, tem-se, neste caso, a matriz adequação MA4 mostrada na Figura 4.13.

		Peças								
	P1	P2	P3	P7	P4	P6	P8	P5		
T1	1	1	1	1	1	1	1	1	Desbaste externo	
T10	0	0	0	1	1	1	1	0	Acabamento externo	
T11	0	0	0	0	1	0	0	0	Desbaste interno	
T12	0	0	0	0	1	0	0	0	Canal interno	
T13	0	0	0	1	1	0	0	0	Canal externo	
T14	0	0	0	0	0	0	0	1	Acabamento externo	
T15	0	0	0	0	0	1	0	0	Broca $\phi 8$	
T16	0	0	0	0	0	1	0	0	Rosca externa	
T17	0	0	0	1	0	0	1	0	Rosca externa	
T18	0	0	0	1	0	0	0	0	Canal interno	
T4	1	0	0	0	0	0	0	0	Broca	
T8	0	0	1	0	0	0	0	0	Acabamento interno	
T6	1	1	0	0	0	0	0	0	Rosca interno	

Figura 4.13 : Matriz adequação (MA4)

Neste caso, tem-se a necessidade de utilizar 13 tipos diferentes de ferramentas para usinar as 8 peças, excedendo-se o limite dado pelo magazine da máquina ($T_m = 12$)

Assim, esta solução não é considerada adequada.

A tabela 4.12 seguinte apresenta resumidamente, os resultados obtidos para cada caso.

Tabela 4.12: Eficiência do Ferramental para cada solução

Situação	MA	Ts	Tm	EFG (%)
Considerar T7 e conjunto inicial C1	MA1	12	12	88
Considerar T7 e conjunto inicial C2	MA2	14	12	-
Não considerar T7 e conjunto inicial C1	MA3	11	12	85
Não considerar T7 e conjunto inicial C2	MA4	13	12	-

Capítulo 5

Análise dos Resultados Obtidos

A análise dos resultados será realizada separadamente, para cada caso, de aplicação do método proposto.

Exemplo de aplicação I :

Este exemplo apresenta a análise de uma situação real que ocorre no laboratório de comando numérico da UNIMEP.

Foram estudadas as ferramentas (T1 a T10), para processar as peças (P1, P2 e P3).

Devido ao número reduzido de ferramentas/peças, o trabalho de padronização e o estudo da adequação foram facilitados. Mesmo assim, há necessidade de um técnico de processos para auxiliar na determinação dos valores de adequação ferramentas x peças.

Neste exemplo, o técnico do laboratório, com formação em engenharia de processos auxiliou na determinação dos valores de adequação.

Para a determinação da adequação ferramentas/peças foi utilizada uma escala com valores para simbolizar os níveis de adequação, de acordo com a Tabela 5.13 seguinte.

Tabela 5.13: Níveis de adequação

Condição	Valor da adequação
Melhor adequação	1,0
Boa adequação	0,7
Adequação média	0,5
Adequação suficiente	0,2
Sem adequação	Não atribui valor

Exemplo de aplicação II

No exemplo de adequação II (ambiente industrial), estudou-se um centro de usinagem CNC (OKUMA) através dos processos de fabricação de 8 peças (P1 a P8) diferentes e a utilização de 18 ferramentas (T1 a T18). Neste caso, com a matriz de incidência maior, aplicou-se o algoritmo ROC (estudado no cap. 2) para identificar os conjuntos iniciais.

Os conjuntos iniciais facilitam a determinação do número de possíveis soluções e as ferramentas que comporão a matriz adequação para usinar as peças em questão.

No exemplo, foram obtidos as possíveis soluções (MA1 a MA4). A maior dificuldade, neste caso, foi avaliar a adequação para vários processos (furo, rosca, acabamento interno, etc.). Para isso, é indispensável o auxílio de um engenheiro de processos, no momento de atribuição de valores, para simbolizar os níveis de adequação ferramentas/peças utilizados da tabela 5.13.

A escolha da melhor condição de ferramental baseia-se na medida EFG. As possíveis soluções (MA1 a MA4) estão mostradas no capítulo anterior. Neste caso, a melhor solução implica na adoção da matriz MA1, que obteve o maior percentual de EFG (EFG = 88%). A opção dada por MA3 utiliza 11 tipos diferentes de ferramentas, mas apresenta EFG menor. Nos dois casos não há tempo perdido em preparação para as 8 peças consideradas. Para verificar as vantagens de adotar a solução indicada procede-se à análise seguinte.

A tabela 5.14 a seguir, apresenta o tempos de preparação e usinagem de cada peça (P1 a P8).

Tabela 5.14: Tempos de preparação e usinagem de cada peça

Peças	Set-up (min)	Usinagem (min)
P1	40	2,5
P2	20	4,0
P3	30	3,5
P4	40	5,0
P5	10	1,2
P6	30	2,0
P7	60	5,0
P8	25	2,3

Simulando para 2 turnos a condição de trabalho, tem-se para o número de horas trabalhadas, 16 horas/dia.

A tabela 5.15 seguinte apresenta o resultado obtido quando se compara a situação proposta com a situação atual, em termos do percentual do tempo disponível gasto em preparação.

Tabela 5.15: Situação atual/proposta para os tempos de preparação

Situação	Set-up (h/dia)	Disponível (h/dia)	Set-up (%)
Atual	4,25	16	26,6
Proposta	1	16	6,25

Esta situação considera os tempos de preparação para um dia de trabalho, no caso de se fazer os 8 tipos diferentes de peças (P1 a P8).

Capítulo 6

Conclusões e Propostas para Novos Trabalhos

Examinando-se os resultados obtidos no capítulo 5, conclui-se que:

- a) O método proposto tem bom potencial de aplicação, particularmente porque são muitas as opções possíveis em termos de configuração de máquinas e também porque há uma tendência de desenvolvimento de pastilhas e suportes específicos para cada aplicação. Isto tende a aumentar o número de operações de ferramentas para cada caso específico, aumentando a necessidade de trocas com o aumento da diversidade de peças.
- b) Embora adequado para situações em que as famílias de peças estejam previamente definidas, é possível aplicá-lo em outras situações que também visem à padronização do ferramental (caso do segundo exemplo da aplicação apresentada).
- c) A dificuldade maior, no entanto, é quanto à quantificação do valor de adequação entre peças e ferramentas para que se possa comparar soluções distintas usando a medida EFG. A existência de um banco de dados de usinagem certamente facilitaria a construção das matrizes de adequação.

Para as aplicações estudadas, pode-se considerar que o método proposto atende aos objetivos pretendidos. E provavelmente as maiores contribuições devam ser sugestões para a realização de novos trabalhos/pesquisas. Com essa preocupação, pode-se enumerar algumas sugestões para futuros trabalhos a partir desta dissertação:

- 1) Estudo da aplicação do método proposto integrado aos sistemas SMED, para verificar a

redução dos tempos de preparação tanto sob o aspecto organizacional como sob o tecnológico;

- 2) Modelo para redução dos custos de fabricação usando o método proposto para operação de usinagem em conjunto com os conceitos de IME e velocidade de corte otimizada (DINIZ et al., 1989);
- 3) Aplicação do modelo proposto ao gerenciamento de ferramentas, visando padronização e controle de estoques do ferramental;
- 4) Aplicação do modelo proposto em outros processos de fabricação (estamparia e montagem, por exemplo)
- 5) Utilizar o método MIDAS (CORRÊIA FILHO et al., 1997) integrado ao método proposto visando acelerar a etapa de identificação dos conjuntos iniciais, facilitando a aplicação do método.

Referências Bibliográficas

- AMSTEAD, B. H, OSTWALD, Phillip F, BEGEMAN, Myron L. *Manufacturing processes*. New York: John Wiley, 1987. p. 411
- ASKIN, R. G., SUBRAMANIAN, S. P. A cost-based heuristic for group technology configuration. *International Journal of Production Research*, London, v.25, n.1, p.101-113. 1987.
- BATOCCHIO, A., MAESTRELLI, N. C. Avaliação do desempenho de células de manufatura: estudo de caso. In: XV ENEGEP. São Carlos, 1995. *Anais*. v.3, p.504-509.
- _____. Medidas de eficiência de agrupamentos em manufatura celular. In: XIV ENEGEP. João Pessoa, 1994. *Anais*, v.2, p.1022-1027.
- BLACK, J.T. *The design of the factory with a future*. New York: McGraw Hill, 1991. 233 p.
- _____. *O projeto da fábrica com futuro*. Porto Alegre: Bookmam, 1998. 288p.
- BURBIDGE, L. J. Production flow analysis. *Production Engineer*. n.4, p.139-152, 1971.
- _____. *The introduction of group technology*. London: Heinemann, 1975. 267 p.
- _____. Change to group technology: process organization is obsolete. *International Journal of Production Research*, London, v.30, n.5, p.1209-1219, May, 1992.

- CALARGE, F. A. *Um modelo de avaliação de estruturas de manufatura enfocando atividades e valor agregado ao produto*. Dissertação (mestrado) – UNICAMP, Campinas, 1993. p.10-26.
- CALARGE, F. A.; BATOCCHIO, A.; AGOSTINHO, O. L. Conceituação, estudo e análise de um sistema flexível de manufatura. *Máquinas e Metais*, São Paulo, v.28, n.324, p. 22-28, jan.1993.
- CARRIE, A. S. Numerical taxonomy applied to group technology and plant layout. *International Journal of Production Research*, London, v.11, n.4, p. 99-416, 1973.
- CHAN, H. M., MILNER, D. A. Direct clustering algorithm for group formation in cellular manufacturing. *Journal of Manufacturing. Systems*, v.1, n.1, p.65-75, 1982.
- CHENG, CH. Algorithms for grouping machine groups in group technology. *Omega*, Great Britain, v.20, n.4, p.493-501, 1992.
- _____. A comparative examination of selected cellular manufacturing clustering algorithms. *International Journal of Operational Production Management*. v.15, n.12, p.86-97, 1995.
- COPPINI, N. L. , FERREIRA, R.J., MIRANDA, G. W. A. Procedimento para otimização das condições de usinagem para aplicação em chão de fábrica. In: XVII ENEGEP. Gramado, RS, 1997. *Anais*.
- COPPINI, N.L., MALAQUIA, J.C., MARCONDES, F. C. Otimização em usinagem – uma visão gerencial. *Submetido ao CEM-NNE'98 sob número 0341*. UFPB, João Pessoa, out. 1998.
- CORRÊIA FILHO, A.N, MAESTRELLI, N.C, BATOCCHIO, A. Uma aplicação do método simplificado para identificação de agrupamentos. In: XVII ENEGEP. Gramado, RS, 1997. *Anais*.

- COUTINHO, Luciano, FERRAZ, João Carlos. *Estudo da competitividade da indústria brasileira*. 3. ed. Campinas: Papyrus, 1995. 330p.
- DEGARMO, E. P., BLACK, J. T., KOHSER, R. A. *Materials and process in manufacturing*. 8. ed. NJ: Prentice Hall, 1997. p.620.
- DINIZ, A. E. et al. Otimização das condições de usinagem em células. *Máquinas e Metais*, São Paulo, v.25, n.281, p.48-54, jun. 1989.
- FERRARESI, D. *Fundamentos da usinagem dos metais*. São Paulo: Edgard Blucher, 1977.
- GUPTA, T., SEIFODDINI, H. Production data based similarity coefficient for machine-component grouping decisions in the design of cellular manufacturing system. *International Journal of Production Research*, London, v.28, n.7, p. 1247-1269, 1990.
- GONGAWARE, T. A., HAM, I., Cluster analysis applications for group technology manufacturing. *Society of Mechanical Engineers*, Michigan, U.S.A., p. 503-508, May, 1981.
- JHA, N. K. *Handbook of flexible manufacturing systems*. California: Academic Press, 1991. 328p.
- KING, R. J. Machine-component grouping in production flow analysis: an approach using a rank order clustering algorithm. *International Journal of Production Research*, London, v.18, n.2, p.213-232, 1980.
- KUSIAK, A. Branching algorithms for solving the group technology problem. *Journal of Manufacturing Systems*, v.10, n.4, p.332-343, 1991.
- _____. Cluster analysis for group technology. *Industrial Engineering*, p.70-71, apr, 1988.

- KUSIAK, A. *Intelligent manufacturing systems*. Englewood Cliffs, N.J: Prentice-Hall, 1990. 443p.
- KUSIAK, A., CHOW, W. S. Efficient solving of the group technology problem. *Journal of Manufacturing Systems*. v.6, n.2, p.117-126, 1987.
- LESCHKE, J. P. The setup-reduction process: part 1. *Production and Inventory Management Journal*, v.38, n.1, p.32-37, jan. / mar. 1997.
- MAESTRELLI, N. C. *Projeto e análise de desempenho de células de manufatura*. Apostila, Centro de Tecnologia, UNIMEP, Santa Barbara D' oeste, 1997. 210p.
- MARCONDES, Francisco Carlos. *A história do metal duro*. s.l, Unidas Artes Gráficas e Editora, 1990. 234p.
- MCCORMICK, W. T., SCHWEITZER, P. J., WHITE, T. W. Problem decomposition and data organization by clustering technique. *Operations Research*., v. 20, p.992-1009, 1972.
- PIRES, Silvio R. I. *Planejamento e controle da produção em indústrias que utilizam tecnologia de grupo: um modelo de sequenciamento da produção celular dependente dos tempos de preparação de máquinas*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – USP, São Carlos, 1989. 155p.
- RIBEIRO, M. V, COPPINI, N. L. O gerenciamento das informações de usinagem como uma vantagem competitiva. In: XVII ENEGEP. Gramado, RS, 1997. *Anais*.
- SANDVIK Coromant. *Herramientas de tornear*. 1994.
- SEIFODDINI, H. Duplication process in machine cells formation in group technology. *II E Transactions*, v.21, n.4, p.382-388, 1989.

- SEIFODDINI, H. Machine-component group analysis versus the SCM method in cellular manufacturing applications. *Computers Ind. Eng.*, v.18, n.3, p.333-339, 1990.
- SHINGO, Shigeo. *The SMED system: a resolution in manufacturing*. Cambridge: Product Press, 1985.
- _____. *O sistema toyota de produção: do ponto de vista da engenharia de produção*. Porto Alegre: Bookman, 1996. 291p.
- SÉRIO, L. C. *Tecnologia de grupo no planejamento de um sistema produtivo*. 2.ed. São Paulo: Ícone, 1990. 320p.
- SIMON, A.T., AGOSTINHO, O. L. Estágios de passagem da estrutura convencional para a flexível. *Máquinas e Metais*, São Paulo, v.29, n.338, p.164-178, mar. 1994.
- SUNDARAN, R.M., LIAN, W.S. Na approach for designing cellular manufacturing systems. *Manufacturing Review*. v.3, n.2, p.91-97, 1990.
- WATANABE, Mário. Para onde caminha a indústria de ferramentas. *Produtos & Serviços*, São Paulo, v. 23, n. 274, p. 37-38, out. 1997.

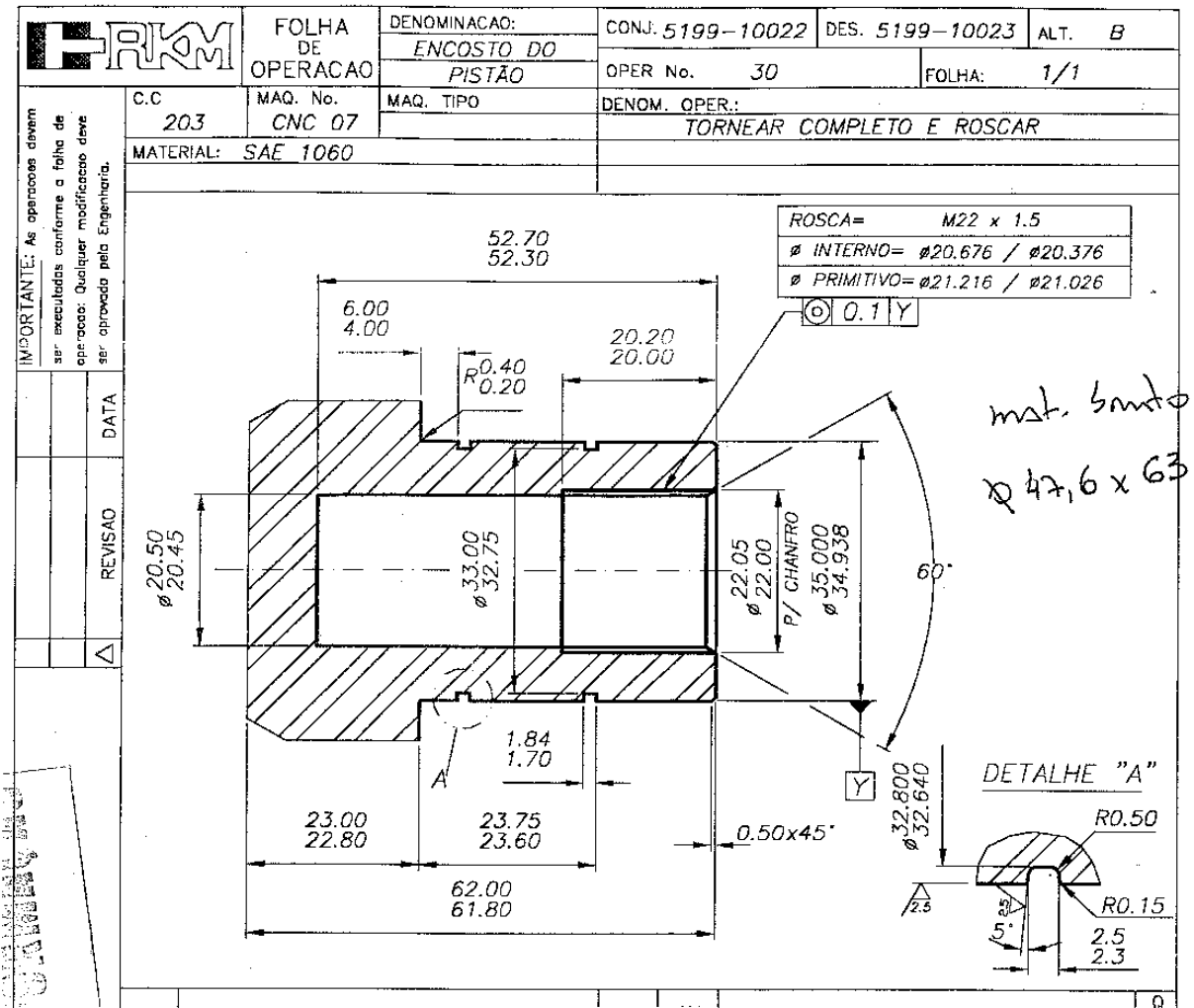
Bibliografias Consultadas

- BATOCCHIO, A., MAESTRELLI, N. C. O uso de análise de agrupamentos em manufatura celular. *Máquinas e Metais*, São Paulo, v.29, n.343 , p.110-113, ago. 1994
- CHENG, CH. A tree search algorithm for designing a cellular manufacturing system. *Omega*, Great Britain, v.21, n.4, p.489-496, 1993.
- CHU, C-H. Cluster analysis in manufacturing cellular formation. *Omega*, Great Britain, v.17, n.3, p. 289-295, 1989.
- CORRÊIA FILHO, A. N. Tecnologia de grupo no planejamento de um sistema produtivo. *Ciência e Tecnologia*, Piracicaba, v. 5, n.9, p.93-94, dez. 1996.
- CORRÊIA FILHO, A. N, MAESTRELLI, N.C, BATOCCHIO, A. Um modelo para identificação do ferramental de grupo baseado em análise de agrupamentos. In: XVI ENEGEP. Piracicaba, 1996. *Anais*.
- _____. Identificando o ferramental de grupo com base em análise de agrupamentos. *Máquinas e Metais*, São Paulo, v.32, n.375, p.126 - 135, abr. 1997.
- _____. Um método simplificado para identificação de agrupamentos de peças e máquinas. *Máquinas e Metais*, São Paulo, v. 32, n.383, p.80-88, dez. 1997.
- CRISTIANO, A. C. Administração de um sistema celular de Manufatura. *Máquinas e Metais*, São Paulo, v.26, n.301, p.74-80, fev. 1991.

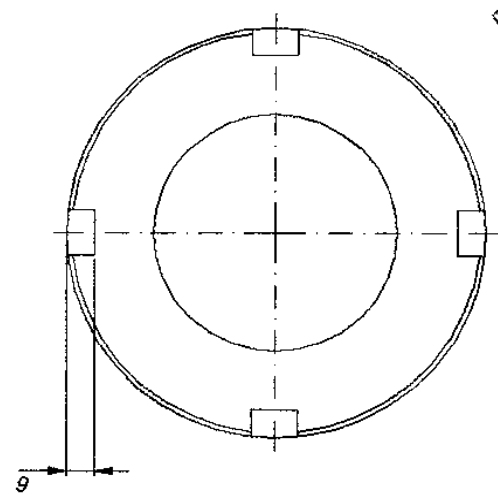
- FENTON, R. G., GAGNON, M. F. J. Computer – aided tool material selection for metal – cutting operations. *Annals of the CIRP*, v.42, n.1, p. 565-568, 1993.
- GONÇALVES FILHO, E. V., CHRISTIANO, A. C. Projeto e implantação de células de manufatura. *Máquinas e Metais*, São Paulo, v.25 , n.293, p.12-18, jun. 1990.
- GRAMA, Y. e OOSTEN, M. Models for machine-part grouping in cellular manufacturing. *International Journal of Production Research*, London, v. 34, n.6, p.1693-1713, 1996.
- LIMA, M. A., MAESTRELLI, N. C. Sistemas de troca rápida de ferramentas de conformação. *Máquinas e Metais*, São Paulo, v.26, n.305, p.24-26, jun.1991.
- MAESTRELLI, N. C., PIRES, S. R. I. e BATOCCHIO, A. Uma metodologia para classificação de peças e máquinas em manufatura celular. In: XV ENEGEP. São Carlos, 1995. *Anais*
- PIRES, S. R. I., AGOSTINHO, O. L. Um modelo de sequenciamento da produção celular. *Máquinas e Metais*, São Paulo, v.27, n.309, p.50-53, out. 1991.
- SHINGO, Shigeo. *O sistema toyota de produção: do ponto de vista da engenharia de produção*. Porto Alegre, Bookman, 1989.

Anexo 1

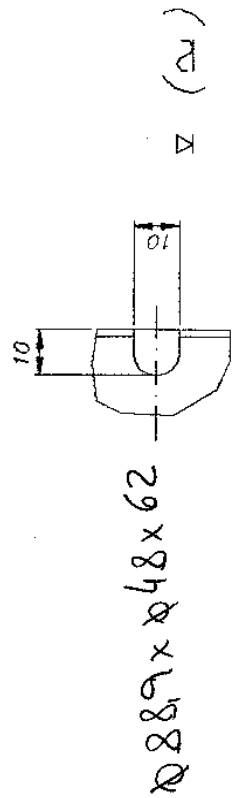
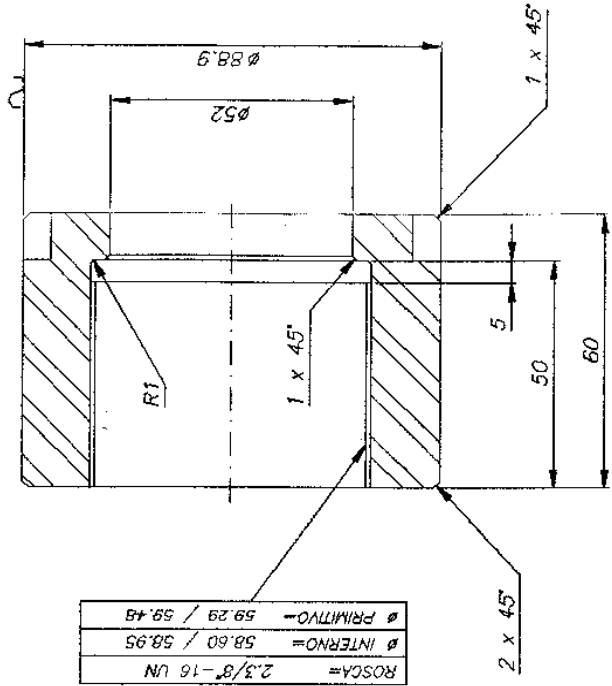
Desenhos das peças (P1 a P8) utilizadas no exemplo de aplicação II (cap. 4).



Peça Nº 1 (P1)



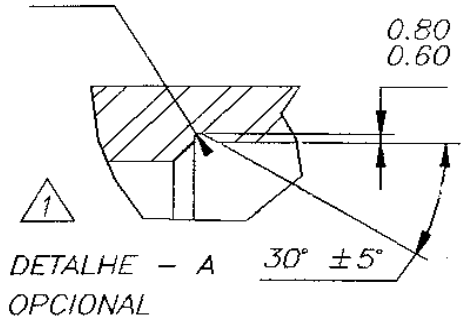
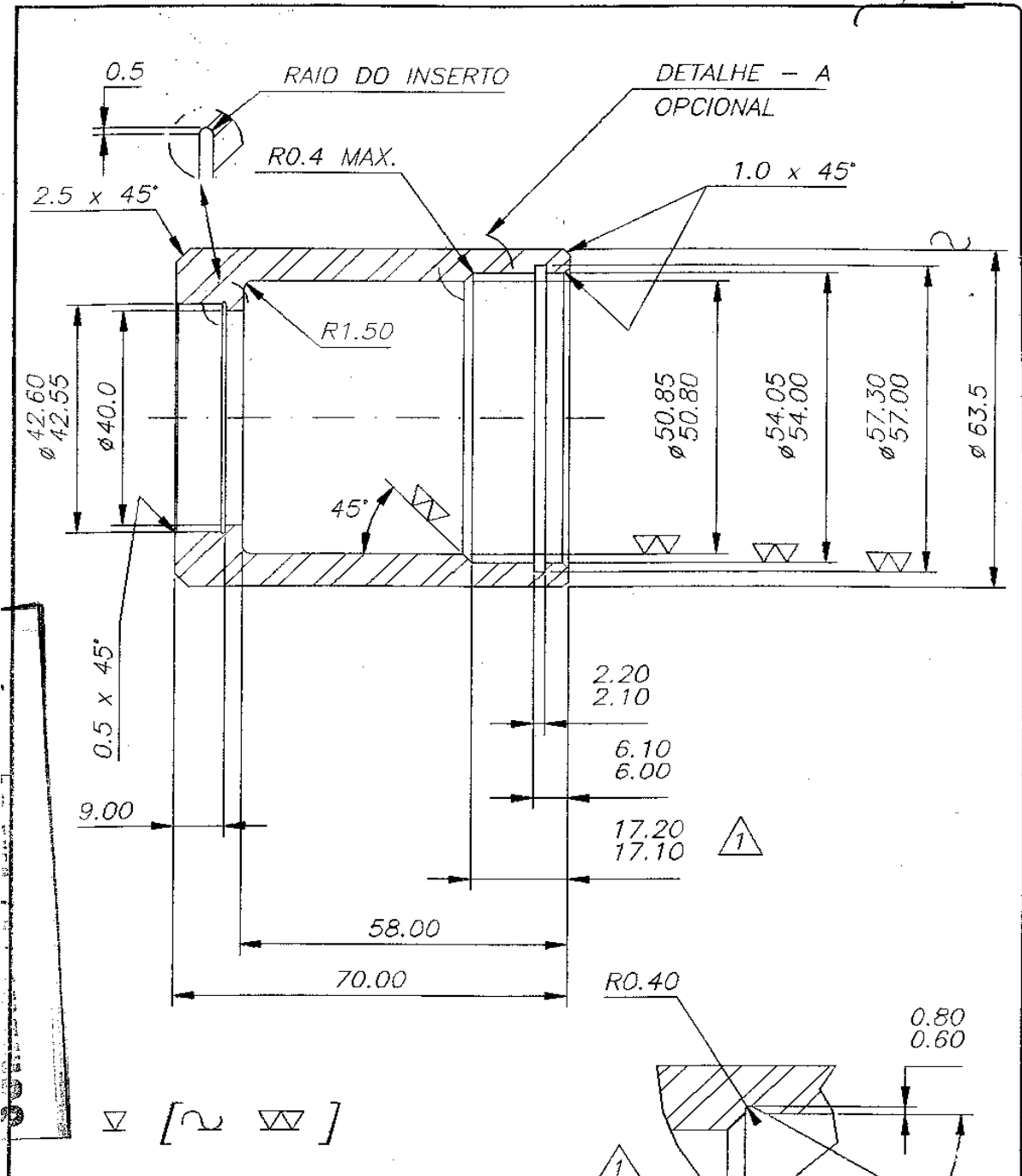
ROSCA= 2.3/8"-16 UN
Ø INTERNO= 58.60 / 58.95
Ø PRIMITIVO= 59.29 / 59.48



SOMENTE PARA USUARIOS
SOMENTE PARA USUARIOS

PRIMEIRA UNIDADE		PROJETO	PP-96158
MATERIAL: SAE 1045	UNIDADES BOMBA	EQUIPAMENTOS HIDRAULICOS LTDA.	
CLIENTE:	ESTRUTURAS SCS	PESO:	---
NUMERO:		CONSUMO:	37200985
DESIGNADO:	PORCA DA GUIA	DATA:	14/01/97
VERIFICADO:		ESCALA:	1:1
		PROJ. / POMA:	3pp-96158-0500
		ANGULO:	R-0
		R/ESPESURA (M)	
		BR/CO. 11.11.11.12.1.01.02.1.04	
		BR/CO. 11.11.11.12.1.01.02.1.04	

Peça Nº 2 (P2)

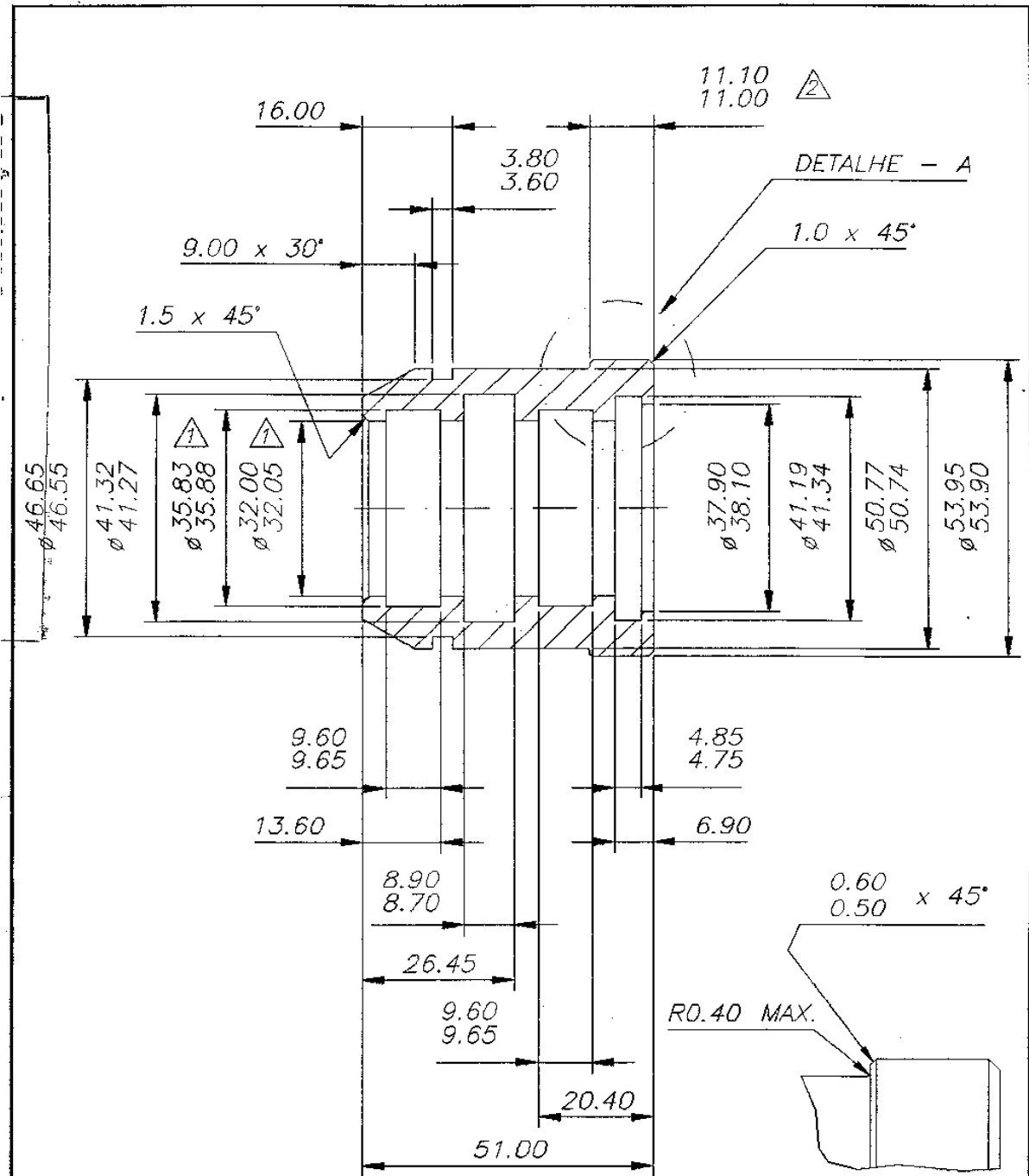


1	ERA 17.00 / 17.10	22/04/97	EDSON
	ACRESCENTOU DETALHE OPCIONAL	22/04/97	EDSON
▲	ALTERACAO	DATA	ELAB.

EQUIPAMENTOS HIDRAULICOS LTDA.		PROJETO: PP-92118	
MATERIAL: SAE 1020	DIMENSÕES BRUTA: ø 2 1/2" x 75	PESO: ---	TOLERANCIAS NAO ESPECIFICADAS
CLIENTE: [REDACTED]	CONJUNTO: ø 63,5 x ø 35 x 72	83435900	LINEAR
NOME: COMPLEMENTO DA CAMISA VERIFICADO: <i>[Signature]</i>	DATA: 05/08/94	ESCALA: 1:1	RUGOSIDADE (Ra) BRUTO: 12.5 a 6.3 3.2 a 1.6 0.8 a 0.4
		DESENHO / PEÇA: 4PP-92118-0103	R-01

Peça Nº 3 (P3)

SISTEMA CAD



2	ALTEROU ENCAIXE DA GUIA	22/04/97	EDSON
1	ERA $\phi 35.75 / 35.80$	09/02/95	EDSON
	ERA $\phi 31.95 / 32.00$	09/02/95	EDSON
▲	ALTERACAO	DATA	ELAB.

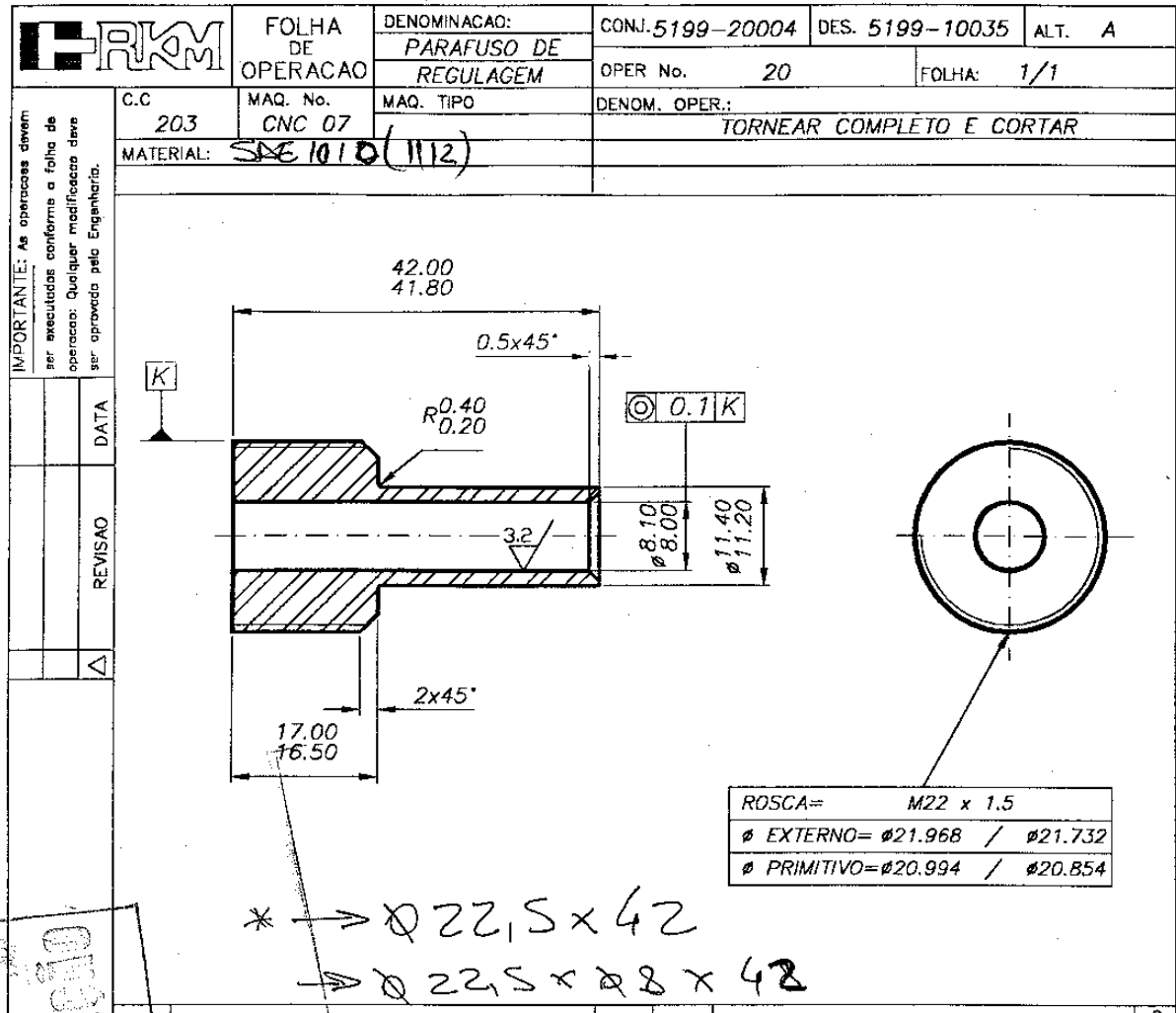
PRM EQUIPAMENTOS HIDRAULICOS LTDA.		PROJETO:	PP-92118																
MATERIAL:	DIMENSÕES BRUTA:	PESO:	TOLERANCIAS NAD ESPECIFICADAS																
FUCO FE-45012	56.8 x 56	---	LINEAR																
CLIENTE:	CONJUNTO:	<table border="1"> <tr> <td>0.5 a 6</td> <td>6 a 30</td> <td>30 a 120</td> <td>120 a 315</td> </tr> <tr> <td>± 0.1</td> <td>± 0.2</td> <td>± 0.3</td> <td>± 0.5</td> </tr> <tr> <td>315 a 1000</td> <td>1000 a 2000</td> <td>2000 a 4000</td> <td>4000 a 8000</td> </tr> <tr> <td>± 0.8</td> <td>± 1.2</td> <td>± 2</td> <td>± 3</td> </tr> </table>		0.5 a 6	6 a 30	30 a 120	120 a 315	± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5	315 a 1000	1000 a 2000	2000 a 4000	4000 a 8000	± 0.8	± 1.2	± 2	± 3
0.5 a 6	6 a 30	30 a 120	120 a 315																
± 0.1	± 0.2	± 0.3	± 0.5																
315 a 1000	1000 a 2000	2000 a 4000	4000 a 8000																
± 0.8	± 1.2	± 2	± 3																
	$\phi 56,8 \times \phi 28 \times 55$	83435900	ANGULAR: $\pm 1^\circ$																
NOME:	RUGOSIDADE (Ra)																		
GUIA DA HASTE	<table border="1"> <tr> <td>BRUTO</td> <td>12.5 a 6.3</td> <td>3.2 a 1.6</td> <td>0.8 a 0.4</td> </tr> </table>			BRUTO	12.5 a 6.3	3.2 a 1.6	0.8 a 0.4												
BRUTO	12.5 a 6.3	3.2 a 1.6	0.8 a 0.4																
DESENHADO:	VERIFICADO:	DATA:	ESCALA:																
		27/03/97	1:1																
DESENHO / PEÇA:		R-02																	
4PP-92118-0300		SISTEMA CAD																	

Peça Nº 4 (P4)

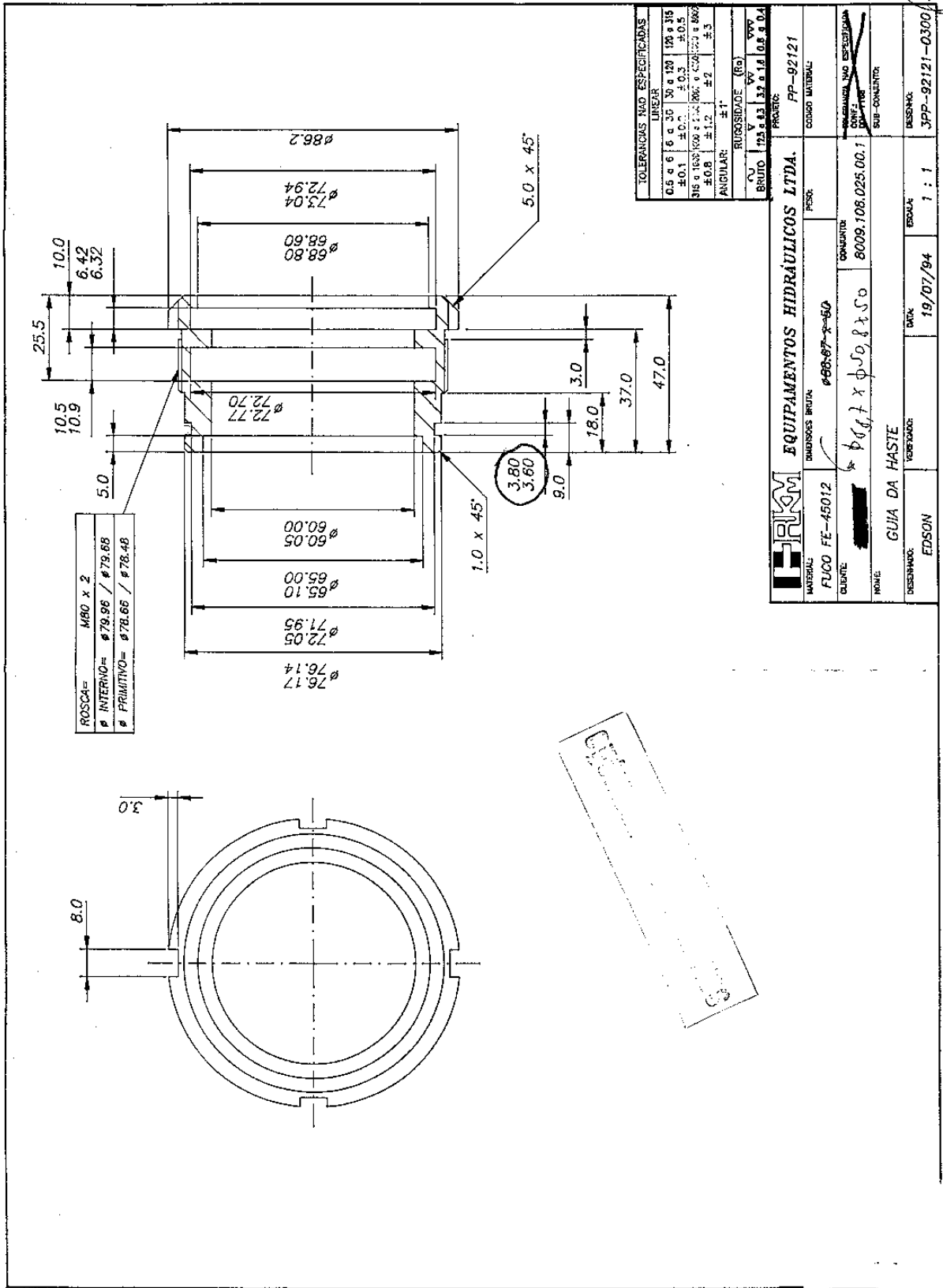
IMPORTANTE: As operações devem ser executadas conforme a folha de operação. Qualquer modificação deve ser aprovada pela Engenharia.	FRM		FOLHA DE OPERAÇÃO		DENOMINAÇÃO:		CONJ. 5199-10022		DES. 5199-10023		ALT. B	
					ENCOSTO DO PISTÃO		OPER No. 20		FOLHA: 1/1			
	C.C. 203		MAQ. No. CNC 07		MAQ. TIPO		DENOM. OPER.: TORNEAR					
	MATERIAL: SAE 1060											
REVISAO		DATA										
Δ		Δ										

SUMATEL P/ INFORMACAO

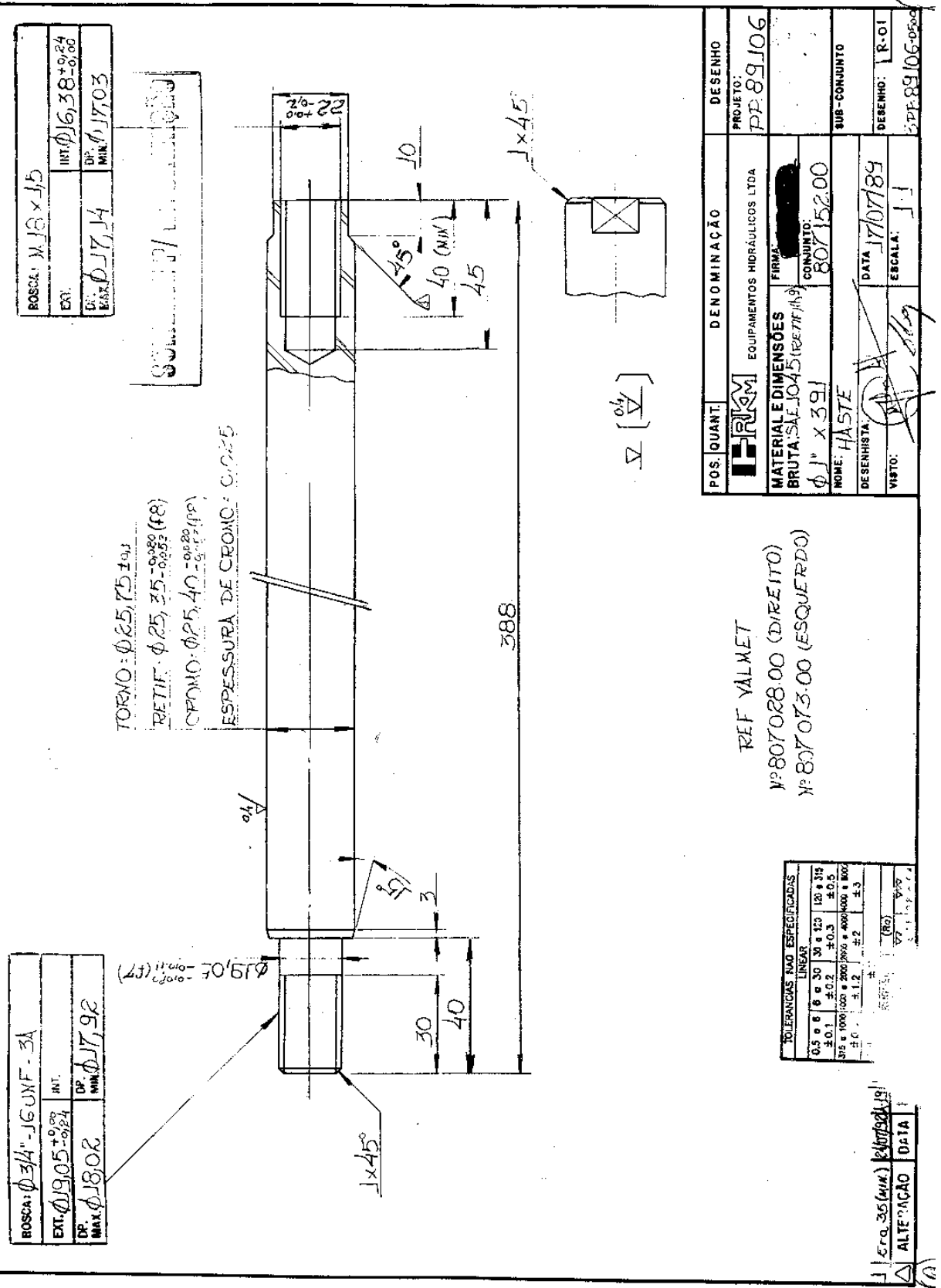
Peça Nº 5 (P5)



Peça Nº 6 (P6)



Peça Nº 7 (P7)



ROSCA: M 18 x 1,5
EXT. INT. $\phi 16,38^{+0,24}_{-0,00}$
DP. MAX. MIN. $\phi 17,14$
DP. MIN. $\phi 17,03$

ROSCA: M 18 x 1,5
EXT. INT. $\phi 16,38^{+0,24}_{-0,00}$
DP. MAX. MIN. $\phi 17,14$
DP. MIN. $\phi 17,03$

TORNO: $\phi 25,75 \pm 0,03$
 RETIF: $\phi 25,35 - 0,03^{(F8)}$
 CROMO: $\phi 25,40 - 0,02^{(F9)}$
 ESPESURA DE CROMO: $0,025$

ROSCA: $\phi 3/4" - 16 \text{ UNF} - 3A$
EXT. INT. $\phi 19,05^{+0,09}_{-0,24}$
DP. MAX. MIN. $\phi 17,92$

TOLERANÇAS NAQ. ESPECIFICADAS	
LINEAR	ANG.
0,5 a 3	± 0,1
3 a 30	± 0,2
30 a 125	± 0,3
125 a 315	± 0,5
315 a 1000	± 0,6
1000 a 3000	± 0,8
3000 a 10000	± 1,0
10000 a 30000	± 1,2
30000 a 100000	± 1,5
100000 a 300000	± 2,0
300000 a 1000000	± 2,5
1000000 a 3000000	± 3,0
3000000 a 10000000	± 4,0
10000000 a 30000000	± 5,0
30000000 a 100000000	± 6,0
100000000 a 300000000	± 8,0
300000000 a 1000000000	± 10,0
1000000000 a 3000000000	± 12,0
3000000000 a 10000000000	± 15,0
10000000000 a 30000000000	± 20,0
30000000000 a 100000000000	± 25,0
100000000000 a 300000000000	± 30,0
300000000000 a 1000000000000	± 40,0
1000000000000 a 3000000000000	± 50,0
3000000000000 a 10000000000000	± 60,0
10000000000000 a 30000000000000	± 80,0
30000000000000 a 100000000000000	± 100,0
100000000000000 a 300000000000000	± 120,0
300000000000000 a 1000000000000000	± 150,0
1000000000000000 a 3000000000000000	± 200,0

REF VALMET
 Nº 807028.00 (DIREITO)
 Nº 807073.00 (ESQUERDO)

ALTURA: 1,50	DATA: 11/11/19
DESENHISTA: [assinatura]	PROJETO: PP-89106
VISTO: [assinatura]	CONJUNTO: 807152.00
DESENHO: R-01	ESCALA: 1:1
SUB-CONJUNTO	DATA: 17/07/89
	NOME: HASTE
	FIRMA: [assinatura]
	CONJUNTO: 807152.00
	BRUTA: SAL 104,5 (REF. 7/11/89)
	FIRMA: [assinatura]
	EQUIPAMENTOS HIDRÁULICOS LTDA
	DESENHO: PP-89106
	PROJETO:
	DESENHO:
	SUB-CONJUNTO:
	CONJUNTO:
	FIRMA:
	BRUTA:
	DESENHO:
	PROJETO:
	EQUIPAMENTOS HIDRÁULICOS LTDA
	DESENHO: PP-89106
	PROJETO:

Peça Nº 8 (P8)