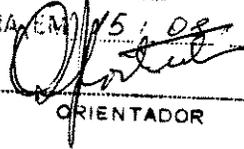


200206965

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
TESE DE FUNDAMENTAÇÃO DE ALEXANDRE TADEU
SIMON
E APROVADA PELA
COMISSÃO JULGADORA EM 15/08/01.

ORIENTADOR

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**Condições de Utilização da Tecnologia CNC:
Um Estudo para Máquinas-Ferramenta de
Usinagem na Indústria Brasileira**

Autor: Alexandre Tadeu Simon
Orientador: Oswaldo Luiz Agostinho

58/01

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO**

**Condições de Utilização da Tecnologia CNC:
Um Estudo para Máquinas-Ferramenta de
Usinagem na Indústria Brasileira**

**Autor: Alexandre Tadeu Simon
Orientador: Oswaldo Luiz Agostinho**

**Curso: Engenharia Mecânica
Área de Concentração: Processos de Fabricação**

Dissertação de mestrado apresentada à comissão de Pós Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Campinas, 2001
S.P. - Brasil

UNIDADE	BC
N.º CHAMADA:	T/UNICAMP
	Si53c
V.	E
F.	4769I
PREC.	837/02
C	<input type="checkbox"/>
D	<input checked="" type="checkbox"/>
PREC.	2511/02
DATA	08-02-02
N.º CPD	

CM00163495-B

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

Si53c Simon, Alexandre Tadeu
Condições de utilização da tecnologia CNC: um estudo para máquinas-ferramenta de usinagem na indústria brasileira / Alexandre Tadeu Simon. --Campinas, SP: [s.n.], 2001.

Orientador: Oswaldo Luiz Agostinho.
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

1. Máquinas-ferramenta – Controle numérico. I. Agostinho, Oswaldo Luiz. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. III. Título.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**Condições de Utilização da Tecnologia CNC:
Um Estudo para Máquinas-Ferramenta de
Usinagem na Indústria Brasileira**

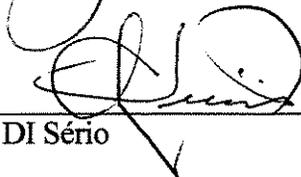
Autor: Alexandre Tadeu Simon
Orientador: Oswaldo Luiz Agostinho



Prof. Dr. Oswaldo Luiz Agostinho - Presidente
FEM - UNICAMP



Prof. Dr. Anselmo Diniz
FEM - UNICAMP



Prof. Dr. Luiz Carlos DI Sérgio
FGV - SP

Campinas, 15 de agosto de 2001

Dedicatória

Dedico este trabalho aos meus pais Zila e Rafic (*in memoriam*) que, ontem, me conduzindo pelas mãos, ensinaram-me a ver além do horizonte, e a meus irmãos Iumna, Vera e Elias que, hoje, me ensinam como ampliar esse horizonte.

Agradecimentos

Aos amigos Carlos Roberto Camello Lima, Nelson Carvalho Maestrelli e Sílvio Roberto Ignácio Pires, pelo apoio efetivo e contribuições valiosas dados durante a elaboração deste trabalho.

À Aranda Editora Técnica e Cultural e sua equipe por tornar possível a realização da pesquisa de campo.

Ao Prof. Dr. Oswaldo Luiz Agostinho não só pela orientação dada durante a elaboração do trabalho, mas também pela paciência, pela retidão e pela ética.

Aos profissionais das indústrias que serviram de piloto para elaboração da pesquisa de campo.

Aos amigos e profissionais da Unimep por sua colaboração.

A todos que de uma ou outra forma contribuíram para que este trabalho pudesse ser realizado.

Provérbio Árabe:

Aquele que não sabe e sabe que não sabe, é simples, acordai-o.

Aquele que não sabe e não sabe que não sabe, é tolo, evitai-o.

Aquele que sabe e sabe que sabe, é sensato, segui-o.

O sábio sabe tudo que diz, mas não diz tudo o que sabe.

Anônimo

Resumo

SIMON, Alexandre Tadeu, Condições de Utilização da Tecnologia CNC: um estudo para máquinas ferramenta de usinagem na indústria brasileira, Campinas,: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2001. 134p. Dissertação (Mestrado)

A crescente globalização da competição exige um processo contínuo de inovação dos sistemas de manufatura, obrigando as empresas a implementar tecnologias inovadoras para manter sua vantagem competitiva. A tecnologia CNC é um dos componentes dessas tecnologias que recebeu o nível mais alto de investimento nos últimos anos. As empresas investem em máquinas CNC para aumentar sua competitividade através de uma série de melhorias nos processos de produção, incluindo aumento de flexibilidade, melhoria da qualidade, tempos de ciclo reduzidos e a habilidade de produzir lotes pequenos de maneira econômica. A sua implementação exige um planejamento criterioso e o seu sucesso depende de vários fatores, incluindo a utilização de técnicas adequadas para a execução das atividades de suporte necessárias à sua operação. Este trabalho apresenta uma avaliação do índice de utilização das máquinas-ferramenta CNC de usinagem na indústria brasileira a partir da análise das técnicas de programação, transferência de programas e pré-ajustagem de ferramentas de corte utilizadas pelas empresas. O trabalho mostra, também, a relação entre as horas improdutivas, geradas pelo uso de técnicas inadequadas para executar tais atividades, e as horas totais disponíveis dos grupos de máquinas centros de usinagem, tornos CNC, mandriladoras CNC e fresadoras CNC.

Palavras chave

- tecnologia CNC, usinagem CNC, programação CNC, pré-ajustagem de ferramentas.

Abstract

SIMON, Alexandre Tadeu, CNC Technology utilization: a study for machine tools in the Brazilian machining industry. Campinas,: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2201. 134p. Dissertação (Mestrado).

Increasing global competition requires a continuous innovation process of manufacturing systems driving companies to implement innovative technologies to maintain their competitive edge. Computer Numerical Control (CNC) is one of these innovative technologies components which has demanded the highest level of investment in recent years. Companies invest in CNC machines to enhance their competitiveness through a range of improvements in production processes, including increased flexibility, improved quality, reduced lead times and the ability to produce economically in smaller batches. Implementing CNC technology needs a rigorous planning and its success depends upon many factors including the use of adequate techniques to perform support activities for its operation. This work presents an evaluation of CNC machine tools utilization rate in the Brazilian industry, depending on the analysis of programming, CNC program transfer and tool presetting techniques used by companies. Additionally this work presents the ratio between non productive time, caused by using inadequate techniques to perform the above mentioned activities, and total available time of the following machine tool groups: machining centers, CNC turning machines, CNC horizontal boring machines and milling machines.

Key words

- CNC technology, CNC machining, CNC programming, Tool presetting.

Índice

Dedicatória	iv
Agradecimentos	v
Epígrafe	vi
Índice	ix
Lista de Figuras	xii
Lista de Tabelas	xiii
1. Introdução	01
2. A Tecnologia CNC Aplicada às Máquinas-Ferramenta	07
2.1 Considerações iniciais	07
2.2 Conceitos gerais	09
2.3 As máquinas-ferramenta CNC	11
2.4 Aplicação da Tecnologia CNC	13
2.5 Vantagens associadas à aplicação da Tecnologia CNC nas máquinas ferramenta de usinagem	16
2.6 Atividades de Suporte	20
2.6.1 Elaboração do programa CNC	20
2.6.1.1 Considerações gerais	20
2.6.1.2 Programação manual	24
2.6.1.3 Programação assistida por computador	25
2.6.1.4 Programação MDI	25
2.6.1.5 Programação CNC via CAD/CAM	28
2.6.1.6 Programação automatizada por computador	29
2.6.2 Transferência do programa CNC	30
2.6.2.1 Sistema de leitora e perfuradora de fitas	30
2.6.2.2 Sistema de leitura e gravação de fitas cassete	31
2.6.2.3 Transferência de dados via MDI	32
2.6.2.4 Sistema portátil de transferência de dados	33
2.6.2.5 Sistema portátil de <i>drives</i> para disquetes	34
2.6.2.6 Computadores portáteis	34

2.6.2.7 Computadores de mesa (<i>Desktop PC's</i>)	35
2.6.2.8 Sistema DNC (controle numérico direto/distribuído)	36
2.6.3 Pré-Ajustagem de Ferramentas	37
2.7 Implantação da Tecnologia CNC	40
3. Metodologia para avaliação do índice de utilização de máquinas-ferramenta CNC	47
3.1 Considerações iniciais	47
3.2 Índice de utilização dos equipamentos	49
3.2.1 Determinação do índice de utilização de máquinas-ferramenta CNC em função da técnica de elaboração do programa (I_{up})	51
3.2.2 Determinação do índice de utilização de máquinas-ferramenta CNC em função da técnica de transferência de programas CNC (I_{ut})	56
3.2.3 Determinação do índice de utilização de máquinas-ferramenta CNC Em função da técnica de pré-ajustagem de ferramentas (I_{uf})	60
3.2.4 Relação entre o tempo improdutivo e o tempo total disponível dos grupos de máquina em estudo	64
3.2.5 Principais expressões matemáticas e dados necessários	67
4. Aplicação da Metodologia	69
4.1 Abordagem metodológica da pesquisa de campo	69
4.1.1 Considerações iniciais	69
4.1.2 Seleção do público a ser abordado	71
4.1.3 Elaboração do questionário	73
4.1.4 Trabalho de campo com aplicação do questionário, processamento dos dados e estruturação e ordenação das repostas	75
4.2 Apresentação e discussão dos resultados	77
4.2.1 Dados gerais	77
4.2.1.1 O parque industrial brasileiro	77
4.2.1.2 Perfil dos respondentes	80
4.2.1.3 Ramo de atividade e porte segundo o número de funcionários	81
4.2.1.4 Quantidade de máquinas-ferramenta CNC	82
4.2.2 Representatividade da pesquisa	85
4.2.3 Dados específicos	85
4.2.3.1 Técnicas utilizadas para elaboração do programa CNC	86
4.2.3.2 Técnicas utilizadas para transferência de programas para máquinas CNC	90
4.2.3.3 Técnicas utilizadas para pré-ajustagem de ferramentas	93

4.2.3.4 Número médio de preparações de máquinas e quantidade média de ferramentas utilizadas	96
4.3 Determinação dos Índices de Utilização e da relação entre o tempo improdutivo e o tempo total disponível das máquinas	98
4.3.1 Índice de utilização das máquinas-ferramenta CNC em função da técnica de elaboração do programa CNC - I_{up}	100
4.3.2 Índice de utilização das máquinas-ferramenta CNC em função da técnica de transferência do programa - I_{ut}	100
4.3.3 Índice de utilização das máquinas ferramenta CNC em função da técnica de pré-ajustagem de ferramentas - I_{uf}	104
4.3.4 Relação entre o tempo improdutivo, gerado pelo uso de técnicas inadequadas, e o tempo total disponível dos grupos de máquinas em estudo – R_I	107
4.4. Resumo dos principais resultados obtidos	111
5. Conclusões e Sugestões para Trabalhos Futuros	113
5.1 Conclusões	113
5.2 Sugestões para trabalhos futuros	117
Referências Bibliográficas	119
Bibliografia Adicional Consultada	126
Anexo I – Questionário Utilizado na Pesquisa de Campo	132
Anexo II – Tempos de pré-ajustagem de ferramentas	134

Lista de Figuras

2.1: Fabricação mundial de máquinas-ferramenta.	09
2.3 - Distribuição dos Sistemas de Manufatura.	15
2.3. Desvantagens e problemas associados à tecnologia CNC aplicada às máquinas-ferramenta.	19
2.4: Etapas na programação de uma peça.	22
2.5: Etapas do processo de implantação de máquina ferramenta CNC.	40
2.6: Etapa 1 – Definição do Projeto	41
2.7: Etapa 2 – Escolha da Máquina	41
2.8: Etapa 3 – Preparação do Pedido.	42
2.9: Etapa 4 – Atividades durante o processo de entrega	42
2.10: Etapa 5 – Instalação e testes	43
2.11: Etapa 6 – Liberação para produção e início de operação	43

Lista de Tabelas

4.1: Classificação ABC dos grupos de máquinas ferramenta CNC	72
4.2 Resultados gerais do IV inventário brasileiro de máquinas-ferramenta.	78
4.3: Tipos e quantidades de máquinas-ferramenta instaladas no parque industrial brasileiro	79
4.4: Distribuição das máquinas-ferramenta instaladas no parque industrial brasileiro por faixas de idade.	80
4.5: Nível hierárquico dos respondentes.	80
4.6: Distribuição das empresas em função do ramo de atividade e número de funcionários.	81
4.7: Distribuição das empresas em relação ao porte segundo o número de funcionários.	82
4.8: Máquinas-ferramenta CNC instaladas no parque industrial brasileiro considerando-se os grupos de máquinas pesquisados.	82
4.9: Quantidade de máquinas-ferramenta CNC por ramo de atividade	83
4.10: Número médio de máquinas-ferramenta CNC por empresa e ramo de atividade	84

4.11: Representatividade da amostragem da pesquisa.	85
4.12: Técnicas de programação CNC utilizadas pelas empresas, por ramo de atividade.	87
4.13: Distribuição percentual da utilização das técnicas de programação CNC.	87
4.14: Porcentagem de máquinas CNC que permanecem paradas durante a elaboração do programa CNC.	88
4.15: Quantidade de máquinas que permanecem paradas durante a elaboração do programa CNC.	89
4.16: Tempo médio gasto na atividade de elaboração de programas CNC	89
4.17: Técnicas de transferência de programas CNC utilizadas pelas empresas.	90
4.18: Percentual geral de utilização das técnicas de transferência de programas CNC.	91
4.19: Porcentagem de máquinas CNC que permanecem paradas durante a transferência de programas via MDI.	92
4.20: Distribuição das empresas em função da utilização de aparelhos de pré-ajustagem de ferramentas (<i>Presetter</i>).	93
4.21: Relação entre o total de máquinas CNC pesquisadas e a utilização de aparelho de pré-ajustagem de ferramenta (<i>Presetter</i>).	94
4.22: Distribuição das máquinas-ferramenta CNC, por tipo, não apoiadas por aparelho de pré-ajustagem de ferramentas (<i>Presetter</i>).	95

4.23: Quantidade de máquinas-ferramenta CNC não apoiadas por aparelho de pré-ajustagem de ferramentas do parque industrial brasileiro.	96
4.24: Número médio de preparações por turno de trabalho e tipo de máquina.	97
4.25: Quantidade média de ferramentas necessárias para usinar uma peça padrão.	98
4.26: Programação CNC.	99
4.27: Pré-ajustagem de ferramentas	99
4.28: Número médio de preparações executadas e quantidade média de ferramentas utilizadas.	100
4.29: Transferência de programas.	100
4.30: Tempo adicional gasto na atividade de pré-ajustagem de ferramentas quando não se utiliza <i>presetter</i> .	105
4.31: Índices de utilização das máquinas-ferramenta CNC e horas improdutivas	111

Capítulo 1

Introdução

O crescimento da internacionalização da competição tem criado novas perspectivas e características mercadológicas que estão alterando os atuais padrões de competitividade. Ao se deslocar do mercado local para o global, a competição ocorre entre empresas que tem, ou buscam ter, desempenho de classe mundial.

Sob esse aspecto, portanto, o mercado global está mais desafiante do que nunca e, cada vez mais, exige um processo contínuo de inovação dos sistemas de manufatura, induzindo as empresas a gerarem e se utilizarem de ferramentas necessárias para vencer os desafios, encorajando a aplicação de tecnologias inovadoras que criem oportunidades para novos produtos, serviços e processos industriais (GUNN, 1992).

Essas tecnologias, representadas principalmente pela Manufatura Integrada por Computador (CIM - *Computer Integrated Manufacturing*), Gestão da Qualidade Total (TQM - *Total Quality Management*), *Just-In-Time* (JIT), Engenharia Simultânea (*Concurrent Engineering*) e Gestão de Custos, estão sendo implantadas em maior ou menor grau, velocidade e escala em todas as empresas que necessitam de um firme suporte para suas estratégias e objetivos de manufatura. A principal meta é contemplar as questões relativas à competitividade, tais como minimização dos tempos de ciclo, maximização da qualidade e flexibilidade, maximização do retorno sobre os investimentos, do giro dos estoques e da produção, e minimização das perdas (BURCHER et al, 1999).

A implementação do conjunto dessas tecnologias, também denominadas de Tecnologias Avançadas de Manufatura (AMT- *Advanced Manufacturing Technology*) apresenta benefícios tangíveis e intangíveis, dependendo da tecnologia utilizada e da sua aplicação. Em geral, esses benefícios se traduzem na maximização da flexibilidade e da produção das empresas.

No entanto, estudos, conduzidos na década de 80, mostram que a maioria das empresas falhou na obtenção dos benefícios estratégicos gerais das Tecnologias Avançadas de Manufatura. Embora todas as empresas alegassem sucesso técnico com a implementação dessas tecnologias, apenas pouco mais da metade delas alcançou os benefícios esperados (VOSS, 1988) (SCHRODER et al., 1999).

Segundo AYRES et al. (1992), a implementação de tecnologias avançadas de manufatura, e mais especificamente a tecnologia CIM, apresenta grandes desafios que ocorrem basicamente em dois níveis.

No nível mais geral, por exemplo, no âmbito do desenvolvimento nacional, esses desafios estão calcados nas **questões de ordem estrutural** que são comuns à toda mudança técnica decorrente da introdução de inovações em processos e produtos. Estas questões envolvem:

- o **sistema nacional de pesquisa e desenvolvimento**: onde se consideram as capacidades para pesquisa e desenvolvimento, os recursos destinados à pesquisa e desenvolvimento e as relações da pesquisa acadêmica com a indústria. É importante destacar aqui que quanto maiores forem as capacidades tecnológicas médias do país, e dos potenciais usuários de novas tecnologias, mais rápida e menos problemática se torna a implementação de novas técnicas. Capacidades tecnológicas adequadas significam principalmente a habilidade de avaliar as peculiaridades da tecnologia, usá-las eficazmente e implementá-las;
- o **sistema educacional** e sua capacidade de produzir pesquisadores, engenheiros, gerentes e operários qualificados necessários para planejar, implementar, desenvolver, reparar, manter e operar novas tecnologias e,
- **políticas nacionais** em relação às novas tecnologias.

No nível mais específico, os desafios são os **problemas inerentes á própria tecnologia CIM**. Embora também estejam relacionados às condições mais gerais para mudança tecnológica estabelecidas anteriormente, também dependem da estrutura industrial do país e da organização e composição das empresas em vários segmentos industriais. Os problemas de se introduzir novas tecnologias nos processos de manufatura podem ser classificados em dois tipos:

- problemas ligados a produção, implementação e adoção de máquinas isoladas, dispositivos de automação diversos e técnicas isoladas;
- problemas ligados á produção e implementação de sistemas flexíveis de manufatura completos (FMS- Flexible Manufacturing Systems), mudanças gerais na fábrica e implementação de novos sistemas de produção automatizados.

Ainda com relação ao nível mais específico, observa-se que as dificuldades em adotar tecnologias de automação da manufatura são crescentes em uma escala hierarquizada. Implementar uma única máquina-ferramenta a comando numérico isolada, por exemplo, geralmente representa o caso mais simples. O mais difícil é planejar e construir uma fábrica inteira baseada em conceitos avançados de manufatura. Essas questões são hierarquizadas também do ponto de vista do aprendizado. A experiência adquirida por ambos, organização e força de trabalho, a partir de máquinas-ferramenta isoladas e sistemas flexíveis de manufatura é, usualmente, uma condição necessária para sistemas maiores e mais avançados.

Nos países mais desenvolvidos, os desafios decorrentes das questões de ordem estrutural já foram vencidos praticamente em sua totalidade. Porém, permanecem ainda, em algumas situações específicas e de forma localizada, os problemas inerentes à própria tecnologia, pois as empresas não percebem ou não entendem a ampliação das mudanças organizacionais requerida pelas novas tecnologias, para alcançar os ganhos de desempenho prometidos (VONORTAS & XUE, 1997).

Nos países em desenvolvimento, a implementação da tecnologia CIM ainda enfrenta os desafios de ordem estrutural e os problemas inerentes à própria tecnologia. Isso torna o processo de implementação mais difícil e mais demorado, eleva os custos de operação e

prejudica o retorno sobre o investimento. São questões dessa ordem que ainda geram uma defasagem acentuada entre os países desenvolvidos e os em desenvolvimento, no que se refere à obtenção dos benefícios das novas tecnologias.

Partindo-se dos desafios que ocorrem no nível mais específico e da base da escala hierárquica comentada anteriormente, ou seja, das tecnologias de automação da manufatura que apresentam o menor grau de dificuldade na sua adoção, observa-se que a implementação da tecnologia CNC, isto é, a aplicação de máquinas-ferramenta a controle numérico (CNC) é o segmento da CIM que recebeu a maior concentração de esforços e o maior volume de investimentos por parte das empresas nos últimos anos, tanto nos países desenvolvidos como nos países em desenvolvimento (VONORTAS & XUE, 1997).

A implantação dessa tecnologia pode proporcionar grande potencial para melhoria de desempenho em muitas operações produtivas e, portanto, uma das questões mais importantes no processo de implementação é obter a máxima utilização desse potencial, no menor tempo.

As empresas investem em máquinas-ferramenta CNC para aumentar sua capacidade competitiva através do aumento da flexibilidade, da melhoria da qualidade, da redução dos tempos de ciclo e da habilidade de produzir lotes pequenos de maneira econômica. Porém, se os métodos e processos de implantação e operação utilizados pela empresa são, em si, inadequados e ineficientes, a tecnologia somente vai evidenciar os problemas existentes, e não solucioná-los (SLACK et al., 1997).

Adicionalmente, deve-se salientar que o uso inadequado da tecnologia CNC pode não propiciar os benefícios prometidos, prejudicando o processo de modernização tecnológica das empresas com o conseqüente comprometimento da sua competitividade.

O tema deste trabalho foi selecionado a partir da observação de que algumas empresas usuárias da tecnologia CNC não estavam obtendo níveis de produtividade e flexibilidade compatíveis com os esperados para aplicações dessa tecnologia. As máquinas-ferramenta

CNC permaneciam muito tempo paradas (não arrancando cavaco), a liberação dos lotes para fabricação era muito demorada e os lotes pequenos eram desviados para as máquinas convencionais. Além disso, não se percebia uma redução dos tempos de ciclo e as empresas ainda apresentavam elevados índices de retrabalho e ou refugo. Assim, a relação de equivalência entre máquina-ferramenta CNC e convencional, geralmente utilizada para justificar o investimento, não era atingida. A disponibilidade da máquina e os índices de qualidade ficavam comprometidos.

A partir de uma análise direta feita em algumas empresas, com o propósito de identificar, numa primeira etapa, as causas relacionadas aos problemas de disponibilidade e flexibilidade das máquinas-ferramenta CNC, verificou-se que ocorria uma perda de tempo significativa durante a execução de determinadas atividades relacionadas com a preparação da máquina. Detectou-se que as maiores parcelas do tempo improdutivo estavam relacionadas com as atividades de elaboração do programa CNC, transferência do programa para a máquina e com a ajustagem das ferramentas de corte, ou seja, com atividades que eram específicas à operação de máquinas-ferramenta CNC.

Com base nessas observações, identificou-se a necessidade de se realizar um estudo mais aprofundado e mais abrangente, estendendo a análise destas questões para um maior número de empresas, e com apoio de uma metodologia que pudesse dar-lhe sustentação.

Assim, estabeleceu-se os seguintes objetivos para este trabalho:

- avaliar o índice de utilização das máquinas-ferramenta CNC de usinagem na indústria brasileira, a partir da análise das técnicas de programação, transferência de programas e pré-ajustagem das ferramentas de corte utilizadas pelas empresas e,
- determinar a relação entre o tempo improdutivo, gerado pelo uso de técnicas inadequadas para executar as atividades acima, e o tempo total disponível dos grupos de máquinas-ferramenta em estudo.

Para consecução desses objetivos estabeleceu-se uma metodologia para identificação e análise dos tempos improdutivos decorrentes da utilização de técnicas inadequadas para

executar as atividades acima, e realizada uma pesquisa de campo para o levantamento dos dados necessários à essa avaliação. A pesquisa de campo abrange os grupos de máquinas centros de usinagem, tornos CNC, fresadoras CNC e mandriladoras CNC.

Partindo dos elementos abordados neste capítulo introdutório, são desenvolvidos os demais capítulos.

O Capítulo 2 discute, sob o ponto de vista da revisão da literatura, os conceitos gerais e o estágio atual de desenvolvimento da tecnologia CNC aplicada às máquinas-ferramenta, as principais vantagens dessa tecnologia e as situações onde sua aplicação é mais adequada. Tece, também, considerações sobre a implantação da tecnologia e discute as técnicas disponíveis para execução das atividades de suporte específicas à operação das máquinas-ferramenta CNC.

O Capítulo 3 propõe uma metodologia para avaliar o índice de utilização das máquinas-ferramenta CNC em função da análise das técnicas de programação, transferência de programas e ajustagem de ferramentas utilizadas pelas empresas e, também, determinar a relação entre o tempo improdutivo, gerado pelo uso de técnicas inadequadas, e o tempo total disponível dos grupos de máquinas-ferramenta em estudo.

O Capítulo 4 apresenta e discute os resultados de uma pesquisa de campo, realizada em 411 empresas do parque industrial brasileiro, em relação às técnicas de programação CNC, transferência de programas e ajustagem de ferramentas utilizadas por essas empresas. Mostra também a aplicação da metodologia proposta no capítulo anterior.

O Capítulo 5 apresenta as principais conclusões do trabalho realizado e sugere alguns temas para trabalhos futuros e ou pesquisas na área.

Capítulo 2

A Tecnologia CNC Aplicada às Máquinas-ferramenta

2.1 Considerações iniciais

No Capítulo 1 apresentou-se a importância das tecnologias avançadas de manufatura (AMT- Advanced Manufacturing Technologies) e em especial da Manufatura Integrada por Computador (CIM - Computer Integrated Manufacturing) como fator de inovação dos sistemas de manufatura, que buscam o desempenho de classe mundial. Discutiu-se também a relevância da tecnologia CNC aplicada às máquinas-ferramenta, tanto no que se refere à concentração de esforços e investimentos que a mesma tem recebido, bem como no que se refere ao salto tecnológico que ela representa. Discutiu-se, ainda, os principais desafios, tanto de ordem estrutural quanto operacional, decorrentes da introdução de novas tecnologias, e em especial com relação à implementação da tecnologia CNC.

Neste capítulo é feita, inicialmente, uma discussão sucinta sobre os conceitos gerais da tecnologia CNC. Discute-se, também, o estágio atual de desenvolvimento da tecnologia CNC aplicada às máquinas-ferramenta, as aplicações mais adequadas e suas principais vantagens.

No entanto, o foco principal deste capítulo se apoia na discussão das técnicas disponíveis para executar as atividades de suporte específicas à operação das máquinas-ferramenta CNC, ou seja, elaboração do programa CNC, transferência do programa para a máquina e pré-ajustagem de ferramentas.

Esta discussão se torna importante por vários motivos. O primeiro deles é o fato de que, apesar dos avanços e interação das tecnologias das máquinas-ferramenta e da microeletrônica, permanece necessária a execução de determinadas atividades básicas para sua operação como as citadas anteriormente. Outro motivo está relacionado ao fato de que, embora as técnicas para execução dessas atividades também estejam evoluindo, existem diferentes gerações de tecnologia "convivendo" no meio industrial. Nos países industrialmente desenvolvidos a adoção de tecnologias mais avançadas em substituição às mais antigas é prática comum embora, em certas situações, depara-se com os problemas relativos à produtividade do capital investido, isto é, o retorno do investimento. O ciclo de evolução das tecnologias parece ser menor do que o período de retorno que se espera do investimento nessas tecnologias, predominando, desta forma, a decisão da conveniência econômica. Nos países em desenvolvimento essa situação é mais acentuada, seja por limitações de recursos financeiros, seja por questões relativas aos desafios decorrentes da implementação de tecnologias avançadas. No Brasil, em especial, um indicativo desta "convivência", é a idade média das máquinas-ferramenta instaladas no parque industrial: 50,2 % das máquinas têm idade média acima de 10 anos e cerca de 17 % acima de 20 anos (GONÇALVES, 1999). Por fim, um outro motivo que destaca a importância do assunto e está ligado tanto às questões de ordem estrutural quanto aos problemas inerentes à própria tecnologia, é a persistência do uso de técnicas inadequadas para execução das atividades necessárias à operação das máquinas-ferramenta CNC.

Essa "co-existência" de várias gerações de tecnologias no meio industrial, mais acentuada nos países em desenvolvimento, remete, às vezes, ao uso de referências bibliográficas com mais de cinco anos no decorrer deste trabalho. Isso se deve aos seguintes fatos: 1) o assunto aqui discutido, embora ainda possa existir nos países mais desenvolvidos, apresenta-se numa escala muito menor e, portanto, seus reflexos parecem também ser menores, não justificando, atualmente, maior volume de produção científica e pesquisas como no passado; 2) parece que o assunto não vem recebendo a devida atenção nos países em desenvolvimento, em especial no Brasil, talvez pelo fato de não se ter ainda um reconhecimento da sua real importância.

Neste capítulo, foi feita uma pesquisa bibliográfica objetivando refletir o estado da arte e criar a fundamentação teórica para justificar os limites e contribuição do trabalho.

Nos itens seguintes deste capítulo, são apresentados os conceitos gerais da tecnologia CNC, o estágio atual de desenvolvimento das máquinas-ferramenta CNC, as aplicações das máquinas-ferramenta CNC, e as vantagens da sua aplicação. São também discutidas as atividades de suporte que são necessárias à operação das máquinas-ferramenta CNC e as etapas gerais envolvidas com a implantação desta tecnologia.

2.2 Conceitos gerais

Nos últimos quarenta anos, o advento e a difusão das máquinas ferramenta de controle numérico, também conhecidas por máquinas-ferramenta NC (de Numerical Control - Controle Numérico), foi o desenvolvimento mais significativo no campo da manufatura (DEGARMO et al, 1997) e é considerado o fator isolado mais importante na mecanização e automação dos processos de produção e na melhoria da eficiência geral da produção (BARYSHNIKOV,1992).

O uso extensivo da tecnologia de comando numérico começou no início da década de 50 e, desde então, observa-se que a sua aplicação tem crescido significativamente. DEGARMO et al (1997) observam que em 1962 as máquinas a comando numérico respondiam por 10 % de toda a fabricação mundial de máquinas-ferramenta e, em 1996, esse número já havia atingido a casa dos 75 % (Figura 2.1).

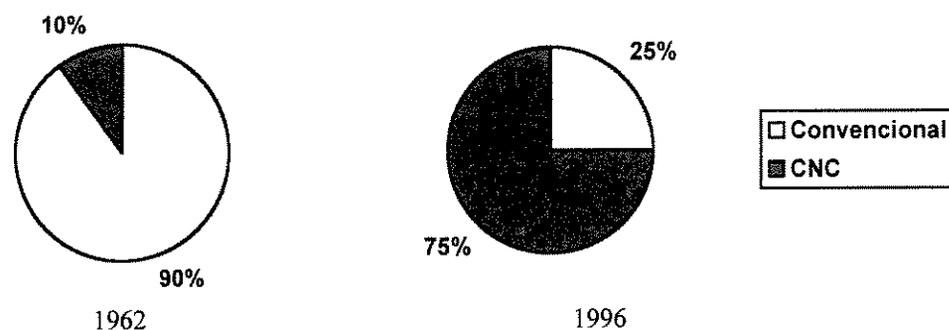


Figura 2.1: Fabricação mundial de máquinas-ferramenta

O conceito do controle numérico ou NC, do inglês Numerical Control, pode ser entendido como a operação de uma máquina por meio de uma série de instruções codificadas, compostas de letras, números e outros símbolos, também chamadas de instruções de comando. Estas são traduzidas em pulsos de corrente elétrica ou outros sinais de saída que ativam motores e outros dispositivos para operar a máquina. Os comandos do controle numérico podem estender-se desde o posicionamento do eixo-árvore da máquina, em relação à peça, à funções auxiliares, como por exemplo, selecionar uma estação de ferramenta em uma torre ou magazine, ou controlar a velocidade e sentido de rotação do eixo-árvore. Estas instruções de comando, reunidas e organizadas de acordo com uma estrutura lógica e de forma que possam conduzir ou dirigir os movimentos de uma máquina-ferramenta, na usinagem de uma peça, por exemplo, formam um programa NC. Este pode ser armazenado e utilizado repetidas vezes, permitindo que se obtenha exatamente os mesmos resultados que foram obtidos quando da sua primeira utilização.

A seqüência de eventos para que se possa executar uma peça numa máquina-ferramenta CNC começa com o programador, que estuda o desenho da peça para determinar como executá-la da forma mais econômica, quais operações são requeridas, em que seqüência, em que máquina e com quais ferramentas. O programador visualiza conceitualmente as etapas e os movimentos da máquina, necessários para usinar uma peça em particular. Prossegue depois com a tarefa de documentar essas etapas e movimentos numa ordem lógica, num formulário específico de programação. Os dados do formulário são convertidos num meio que pode ser entendido pela unidade de controle da máquina. No início, o meio mais usado nessa atividade era a fita perfurada. Hoje, os recursos de armazenamento de dados dos computadores são os meios mais utilizados para esse fim (BEARD, 1993).

Inicialmente, os comandos das máquinas-ferramenta automatizadas eram apenas de controle numérico, ou NC. Com o desenvolvimento e disseminação do uso dos computadores, puderam ser incorporados à estas máquinas recursos computacionais, transformando o controle numérico NC em CNC, do inglês computer numerical control, traduzido com controle numérico computadorizado.

Hoje, os comandos para máquinas-ferramenta são constituídos quase que exclusivamente por sistemas CNC. As expressões "máquina NC", "programa NC", "tecnologia NC", continuam sendo utilizadas porém, devem ser entendidas como "máquina CNC", "programa CNC", "tecnologia CNC", etc., mesmo porque o princípio do sistema NC e do CNC não difere na linguagem de programação ou no sistema de trabalho da máquina (LYNCH, 1997).

As máquinas ferramenta CNC são fabricadas em muitos tamanhos e variedades e estão disponíveis com uma ampla gama de opções. As aplicações mais comuns incluem as fresadoras, mandriladoras, centros de usinagem, tornos, centros de torneamento, máquinas de eletro-erosão, máquinas de corte a laser, corte por chama, corte por jato d'água, puncionadeiras, retificadoras, tesouras guilhotina e prensas (HORATH,1993).

2.3 As máquinas-ferramenta CNC

A indústria de máquinas-ferramenta é a base para a manufatura de uma grande variedade de produtos em um grande número de segmentos dos países industrialmente desenvolvidos. As máquinas são indispensáveis no processo de manufatura do dia-a-dia e, portanto, desempenham um papel importante na formação e construção das capacidades tecnológicas de toda a economia industrializada. Segundo HEUCHMER (2000), a indústria de máquinas-ferramenta vem consistentemente tirando vantagens dos avanços da microeletrônica e outras novas tecnologias. Em cima disso tem criado novos métodos e sistemas e seus esforços têm resultado em máquinas de alto teor tecnológico com níveis elevados de flexibilidade, velocidade, precisão e durabilidade. O enfoque principal está na redução do tempo total de processamento, ou seja, na redução da operação de corte, na redução da atividade de preparação, na redução dos tempos de troca de ferramentas, na redução das operações de manuseio e movimentação de peças e na redução das atividades de inspeção. Neste sentido SIMON (2000), destaca que a potência e as velocidades de corte e de avanço continuam crescentes, os tempos de troca de ferramentas estão cada vez menores e os sistemas de carga e descarga de peças, medição, pré-ajustagem de ferramentas, programação e transferência de programas estão cada vez mais eficientes.

Para TALLMADGE (1998), a concentração de esforços em pesquisa e desenvolvimento, e o crescimento da utilização dos recursos computacionais, no projeto, na engenharia, na inspeção e controle de novos produtos acelerou o desenvolvimento e introdução de novas máquinas-ferramenta CNC no mercado, sinalizando com novas tendências.

Os últimos avanços na tecnologia de materiais para ferramentas e projeto de máquinas-ferramenta se combinam para conferir às máquinas elevada precisão a elevadas velocidades e altas taxas de aceleração. Isso antecipou determinadas mudanças estruturais fundamentais, a exemplo da maior frequência de utilização de bases de concreto polimérico, motores para acionamento direto, uso de motores lineares, projetos modulares e a disseminação do uso dos conceitos da cinemática paralela, entre outros (WECK et al., 2000) (SIMON, 1999).

A maior flexibilidade necessária da máquina-ferramenta requer um conjunto de configurações e opções mais amplo e inovativo. Portanto, agregar mais recursos e mais eixos às máquinas tem sido também uma prática bastante comum entre muitos fabricantes. Isso, além de reduzir o investimento, apresenta menores custos operacionais, pois reduz-se os tempos de preparação e movimentação, garantindo uma maior precisão no trabalho executado. Ou seja, agregar mais funções a uma máquina, para que ela execute mais operações com uma única preparação, é mais econômico do que adquirir outra máquina para executar essas funções adicionais. Estas máquinas já passam a ser conhecidas como sistemas de usinagem multifuncionais. No entanto, BUGAUD (1999) alerta que a arquitetura desses equipamentos sofisticados deve ser simples e usar elementos padronizados e modulares.

Outra tendência se apóia em máquinas de fácil operação e altamente automatizadas, com comandos para facilitar as tarefas de preparação e monitoração da operação, de tal forma que a habilidade necessária do operador tornou-se mínima. Isso pode ser verificado no crescente número de máquinas com comando do tipo *teach-in* e inúmeros ciclos fixos de operação (TALLMADGE, 1998).

Os sistemas de arquitetura aberta e os sistemas operacionais baseados em Windows deverão ser a tecnologia padrão das novas máquinas. CNCs baseados em PC, PC's conectados a CNC's, banco de dados especialistas para simplificar a programação, e uma série de outros desenvolvimentos em tecnologia de controle estão transformando o comando da máquina num centro de informações vitais para alimentar o sistema de manufatura (SIMON, 1998) (HEUCHMER, 2000) (ZELINSKI, 2000).

O uso da Internet em apoio à manufatura está crescendo. Empresas já estão desenvolvendo sistemas que poderão integrar, em rede, não só as máquinas novas mas também as já existentes na fábrica, operando como um sistema DNC (Distributed Numerical Control - Controle Numérico Distribuído) avançado. Isso permite o gerenciamento à distância das fábricas a partir de um PC, e permite, também, ao operador acessar, via comando da máquina, os departamentos de engenharia de processos, de projeto, de manutenção e de planejamento, para troca de informações, e acionar os sistemas de diagnóstico remoto. Estes, por sua vez, permitem auxiliar nos problemas de manutenção dos controles e das máquinas em qualquer local, via conexão telefônica e sem a presença do técnico (ZELINSKI, 2000) (ROBB, 1998).

As empresas já estão desenvolvendo sistemas para oferecer aos profissionais da Manufatura Auxiliada por computador (CAM, de Computer Aided Manufacturing), a oportunidade de pesquisar, testar e adquirir produtos e serviços correlatos, pela Internet. São sites que fornecem ao usuário de CAM a flexibilidade de expandir as suas capacidades de software, aumentando a sua eficiência e reduzindo seus custos. Serviços como, por exemplo, verificação e otimização de programas CNC poderão ser fornecidos pela rede a custos acessíveis (SIMON, 2000).

Enfim, os desenvolvimentos tecnológicos na área das máquinas-ferramenta CNC são muitos e já estão prontos para serem utilizados.

2.4 Aplicação da Tecnologia CNC

GROOVER (1987) sugere que a tecnologia CNC é mais adequada aos trabalhos que tenham as seguintes características gerais:

- as peças são processadas freqüentemente e em lotes de tamanho pequeno a médio;
- a geometria da peça é complexa;
- as tolerâncias são pequenas;
- muitas operações precisam se executadas na peça para seu processamento;
- muito material precisa se removido;
- mudanças de projeto de engenharia são prováveis;
- peças com grande valor agregado, nas quais enganos no processamento seriam custosos;
- peças que requerem 100 % de inspeção.

É claro que, para se justificar que um trabalho seja processado através da tecnologia CNC, não é necessário que este possua cada um dos atributos listados anteriormente. No entanto, quanto mais dessas características estiverem presentes, mais provável é que a peça seja adequada para a aplicação dessa tecnologia. Isso pode ser melhor explicado pela relação de equivalência entre uma máquina-ferramenta CNC e uma máquina-ferramenta convencional. Segundo AYRES (1992), um torno CNC pode produzir, em média, três a quatro vezes mais que um torno convencional. Essa relação pode ser maior ou menor dependendo, por exemplo, do número de operações a executar na peça, da complexidade da peça, da qualidade requerida, do volume de material a ser retirado. A relação de equivalência será tanto maior quanto mais operações forem necessárias para executar a peça, quanto mais complexa for a peça, quanto menores forem as tolerâncias e quanto maior for o volume de material a ser retirado. É importante esclarecer que essa relação de equivalência depende também das características da máquina tais como potência, velocidade de corte, velocidade de avanço, e de como ela é operada.

A Figura 2.2 mostra a distribuição dos diversos sistemas de manufatura em função do volume de produção e da variedade de peças. A análise dessa figura sugere que a tecnologia CNC aplicada às máquinas-ferramenta isoladas, é mais adequada em situações de pequenos e médios volumes de produção e grande variedade de peças, isto é, em situações que exigem um elevado grau de flexibilidade. No entanto, MASON (1990),

mostra que existem também aplicações bem sucedidas dessa tecnologia em situações de lotes grandes e, cabe, portanto, para cada caso em particular, uma análise criteriosa.

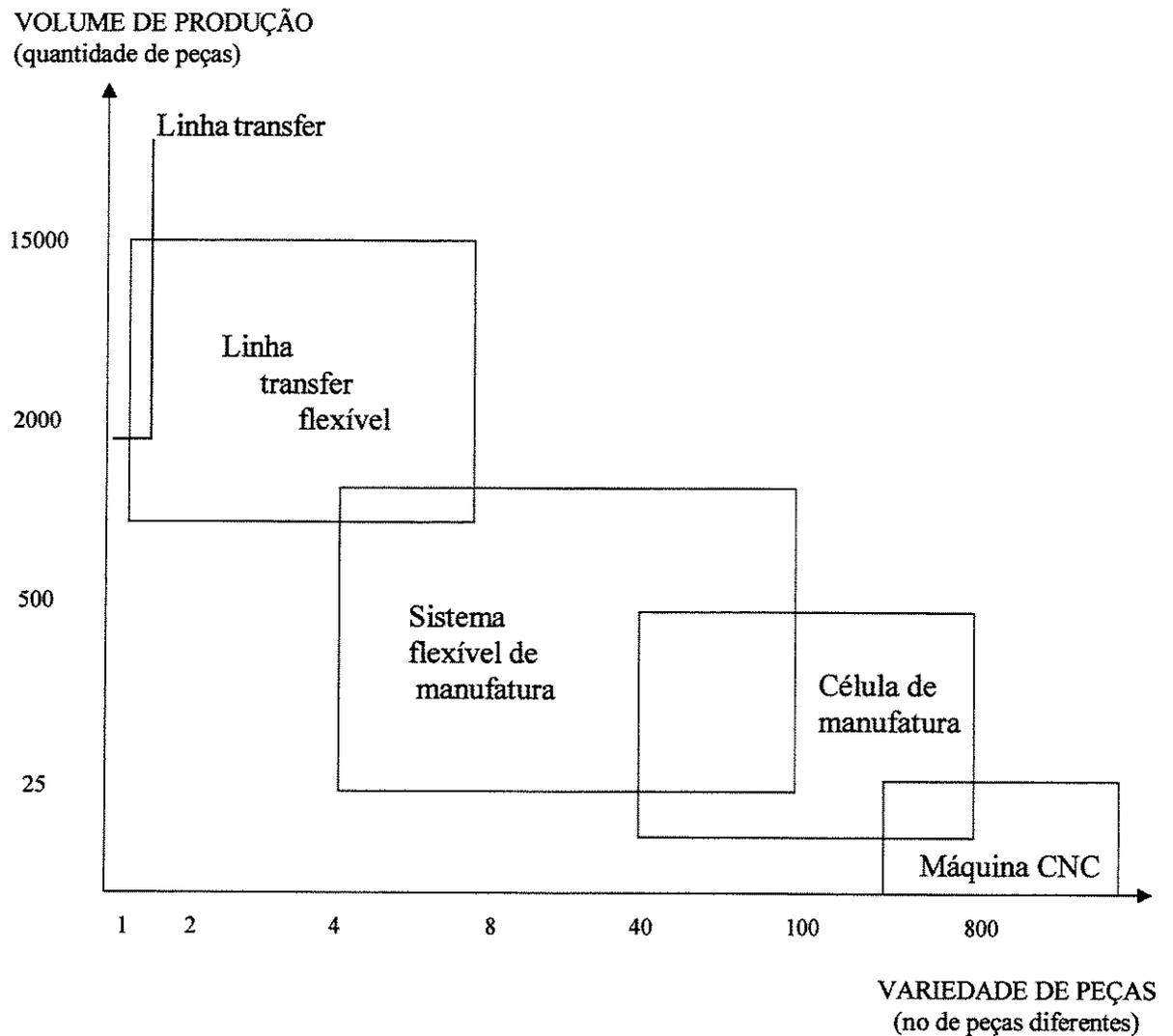


Figura 2.2 - Distribuição dos Sistemas de Manufatura (adaptado de SLACK, 1997).

Outro fato a se considerar, com relação à aplicação da tecnologia CNC, é que ela pode estar integrada ou compor outros sistemas de manufatura, como Células de Manufatura, Sistemas Flexíveis de Manufatura e Linhas de Transferência Flexíveis. Segundo DEGARMO (1997), quando combinada com estratégias gerenciais e

organizacionais de Tecnologia de Grupo e Manufatura Celular, a Tecnologia CNC conduz a melhorias significativas de produtividade.

2.5 Vantagens associadas à aplicação da tecnologia CNC nas máquinas ferramenta de usinagem

Segundo HORATH (1993), as máquinas-ferramenta CNC foram desenvolvidas em resposta aos desafios que as empresas vem enfrentando nos últimos anos, para atender às alterações que vem ocorrendo nos atuais padrões de competitividade, desafios estes que se referem à necessidade de se reduzir os tempos de ciclo e os estoques, à necessidade de se aumentar a diversificação dos produtos e à necessidade de se reduzir o tempo para conduzir um produto do estágio de desenvolvimento à produção propriamente dita. Dentro desse panorama, AGOSTINHO (1992), destaca duas questões importantes: a adaptabilidade, que está relacionada à capacidade de adaptação dos sistemas de manufatura para a introdução de novos produtos no mercado, em tempos adequados, e a flexibilidade, que é a capacidade de adaptação das atividades de chão de fábrica para implementar alterações de quantidades, tamanhos de lotes e itens diferentes de produtos, também nos tempos adequados.

Com o advento do controle numérico (NC), o conhecimento do processamento da peça, os cálculos matemáticos e as várias habilidades envolvidas com a usinagem de uma peça foram transferidas do nível de chão de fábrica para os setores de engenharia, isto é, do operador para o programador. A máquina opera automaticamente a maior parte do tempo, e mesmo quando as peças são carregadas na máquina manualmente, o ciclo de usinagem por peça é automático. Há pouca oportunidade para intervenção do operador, o tempo chão a chão é normalmente menor porque não há tempo para hesitação ou interrupção do operador, há menor possibilidade de erro do operador e não há tempo ocioso de máquina enquanto o operador pensa como melhor executar o trabalho. As peças serão idênticas uma a uma, e o tempo de inspeção é reduzido. Dependendo do tamanho do ciclo de usinagem, o operador pode freqüentemente operar duas ou mais máquinas ao mesmo tempo. Devido aos recursos disponíveis na máquina, quando há necessidade de mudar a usinagem de uma peça de configuração diferente, a preparação para o novo trabalho torna-se mais fácil do que numa máquina convencional, e requer menos tempo.

O controle numérico permitiu a combinação de várias operações em uma única máquina, formando as chamadas máquinas multifuncionais. O centro de usinagem, por exemplo, pode efetivamente fresar, furar, mandrilar e rosquear. O centro de torneamento pode torner, fresar, retificar, mandrilar e rosquear, numa única fixação. As máquinas podem armazenar, nos magazines e torres porta-ferramentas, um grande número de ferramentas já prontas para serem alojadas automaticamente no fuso, de acordo com a necessidade. A capacidade de executar múltiplas operações em uma única fixação da peça reduz as operações de preparação de máquina e de manuseio e transporte de peças de uma para outra máquina, diminuindo o ciclo de fabricação. Assim, a peça permanece menos tempo em processamento na fábrica e, com isso, reduz-se o estoque em processo.

Em linhas gerais, o comando numérico propiciou melhorias nos dois componentes do ciclo de usinagem de uma peça:

- no tempo efetivo de corte, criando a possibilidade da ferramenta ser direcionada eficientemente, produzindo perto da sua capacidade máxima teórica; e
- nos tempos não produtivos, através da redução do número de preparações necessárias para executar uma peça, da redução dos tempos de cada preparação, da redução dos tempos de manuseio de peças, e da redução dos tempos de troca de ferramentas. A utilização efetiva das máquinas de usinagem, isto é, o tempo disponível para a máquina gerar cavaco, aumentou de 20 para 70 % (AYRES et al, 1992).

DEGARMO et al. (1997) e GROOVER (1987) apontam as principais vantagens associadas à utilização de máquinas ferramenta CNC de usinagem em relação às máquinas convencionais:

- as máquinas ferramenta CNC possuem maior flexibilidade pois apresentam recursos que facilitam mudar de uma peça para outra ou alterar o projeto da peça,
- apresentam precisão mais elevada, em função das suas características construtivas, o que resulta em qualidade mais consistente e elevado nível de repetibilidade,
- permitem que sejam determinados avanços e velocidades de corte ótimos para cada operação, com menos tempos gastos em funções que não geram cavacos, resultando em maiores taxas de produção,

- propiciam uma redução nos custos com ferramental pois, em função dos recursos disponíveis na máquina, pode-se utilizar dispositivos de fixação e ferramentas de corte universais, eliminando a necessidade de dispositivos, ferramentas, máscaras, etc., especiais e caros,

- permitem menores tempos de ciclo e, conseqüentemente, menores estoques em processo pois os programas podem ser preparados em menos tempo do que o projeto e execução de dispositivos e máscaras convencionais,

- permitem menores tempos de preparação e menor número de preparações propiciando melhor utilização da máquina,

- apresentam menor índice de refugos e menos erro humano em função da menor necessidade de interferência do operador,

- requerem menos habilidade do operador,

- apresentam menores tempos improdutivo em função da necessidade de menos manuseio e movimentação de peças, menores tempos de troca de ferramentas, maiores velocidades de aproximação e posicionamento da ferramenta, fidelidade às condições tecnológicas estabelecidas,

- permitem a manufatura de geometrias complexas e a execução de funções impossíveis ou impraticáveis de se executar por outros métodos.

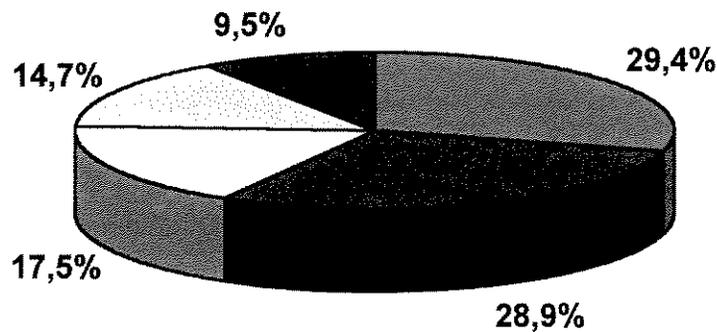
No entanto, a tecnologia CNC aplicada às máquinas ferramenta apresenta desvantagens. Segundo HORATH (1993), algumas dessas desvantagens estão relacionadas à necessidade de um elevado investimento inicial, tanto em máquina quanto em ferramenta e infra-estrutura de apoio; à necessidade de um nível mais elevado de manutenção; à um custo hora mais alto, e à necessidade de novo treinamento ou substituição de pessoal. Na grande maioria das aplicações tais desvantagens são suplantadas pelas inúmeras vantagens.

GETTELMAN (1992), já havia levantado praticamente estes mesmos problemas numa pesquisa realizada entre 245 empresas norteamericanas usuárias de máquinas ferramenta CNC. Os dados coletados nessa pesquisa fornecem as seguintes informações sobre as principais desvantagens/problemas da tecnologia CNC:

- 29,4 % das empresas reclamaram sobre dificuldades na atividade de manutenção. Os serviços são mais difíceis e mais demorados não podendo eles próprios resolverem e ficando na dependência e confiança de terceiros.

- 28,9 % disseram que o maior problema era conseguir pessoal qualificado para programar, operar e fazer a manutenção da máquina-ferramenta CNC.
- 17,5% disseram que o grande problema da tecnologia CNC é o elevado valor do investimento e também o elevado custo hora.
- 9,5% disseram que o maior problema da máquina-ferramenta CNC era a dificuldade de programação.
- 14,7 % forneceram uma gama mais ampla de problemas de ordem geral e que incluíam falta de padronização de programação, inaptidão para transferir dados como gostariam, manter a máquina em plena utilização, programar as tarefas para a máquina-ferramenta CNC, apoio insuficiente do fornecedor, falta de conhecimento sobre características e recursos especiais da máquina, mudanças rápidas acontecendo nos "softwares" e dificuldade de aceitação da tecnologia CNC pelo pessoal de fábrica.

A figura 2.3, a seguir, mostra essa distribuição.



LEGENDA:

- 29,4% - Dificuldade na manutenção.
- 28,9% - Falta de pessoal qualificado (programação, operação e manutenção).
- 17,5% - Elevado valor do investimento e custo hora.
- 14,7% - Dificuldades com padronização de programação, transferência de dados, continuidade de operação, fornecedores, conhecimento da máquina, atualização dos softwares, aceitação da tecnologia.
- 9,5% - Dificuldade de programação.

Figura 2.3. Desvantagens e problemas associados à tecnologia CNC aplicada às máquinas-ferramenta.

2.6 Atividades de Suporte

DEGARMO et al. (1997), destacam que uma das questões mais importantes no processo de implementação de máquinas-ferramenta CNC, é obter a máxima utilização do potencial disponível da máquina, no menor tempo. Só assim será possível garantir a máxima produtividade do capital investido, isto é, o melhor retorno sobre o investimento que, em geral, é elevado. SLACK et al. (1997), acrescentam que para tal é necessário que as empresas selecionem e utilizem métodos adequados e eficientes para sua operação.

A operação das máquinas-ferramenta CNC requer a execução de uma série de atividades de suporte, que podem ser classificadas em dois grupos:

- 1) atividades de suporte que são comuns à operação tanto das máquinas-ferramenta CNC como das convencionais, e
- 2) atividades de suporte que são específicas à operação das máquinas-ferramenta CNC.

Como o objetivo deste trabalho está relacionado ao índice de utilização das máquinas-ferramenta CNC, serão discutidas, a seguir, as atividades de suporte específicas à operação deste tipo de máquina.

As atividades de suporte específicas à operação das máquinas-ferramenta CNC são:

- elaboração do programa CNC;
- transferência do programa CNC para a máquina, e
- pré-ajustagem das ferramentas de corte,

2.6.1 Elaboração do programa CNC

2.6.1.1 Considerações gerais

Para a operação de uma máquina CNC é necessária a utilização de um programa. O programa CNC é uma série de instruções codificadas, compostas de uma combinação de

números, letras e outros símbolos. Estes são traduzidos em pulsos de corrente elétrica ou outros sinais de saída, que ativam as funções da máquina com o propósito de controlar o movimento da ferramenta de corte, da peça, ou de ambas (GROOVER, 1987).

O programa contém informações sobre a geometria da máquina e da ferramenta, dimensões da peça e parâmetros de usinagem (velocidades, avanços, etc.). Ele define a seqüência de operações requeridas para fabricar a peça, para executar a troca de ferramentas, fornece as posições das coordenadas das operações e especifica o movimento do eixo árvore que determina a profundidade de corte, a velocidade de rotação e a velocidade de avanço.

Após a elaboração do programa, é necessário preparar o meio de entrada para inseri-lo no comando da máquina ou enviá-lo diretamente ao mesmo. Depois de ser convertido no meio de entrada, e antes de ser utilizado, ele é verificado para que se possa ter certeza de que está correto (DEGARMO et al., 1997). Essa verificação pode ser feita de várias maneiras. Segundo LYNCH (1994), tradicionalmente, um programa NC é testado diretamente na máquina-ferramenta. Esta atividade pode ser feita com a máquina usinando uma peça em plástico ou cera/resina, ou com a máquina operando em vazio. Nestas duas situações a principal desvantagem está na ocupação da máquina CNC sem consequência produtiva, reduzindo-se assim sua produtividade global. Outra maneira é testar o programa fora da máquina. Isso pode ser feito num *plotter* ou através da simulação gráfica em microcomputador. Nesta última situação o programa já fica pronto e livre de erros para iniciar a produção. Em ambas a desvantagem citada anteriormente é eliminada (DEGARMO et al., 1997) (GIBBS, 1998).

As principais etapas da programação estão representadas na Figura 2.4.

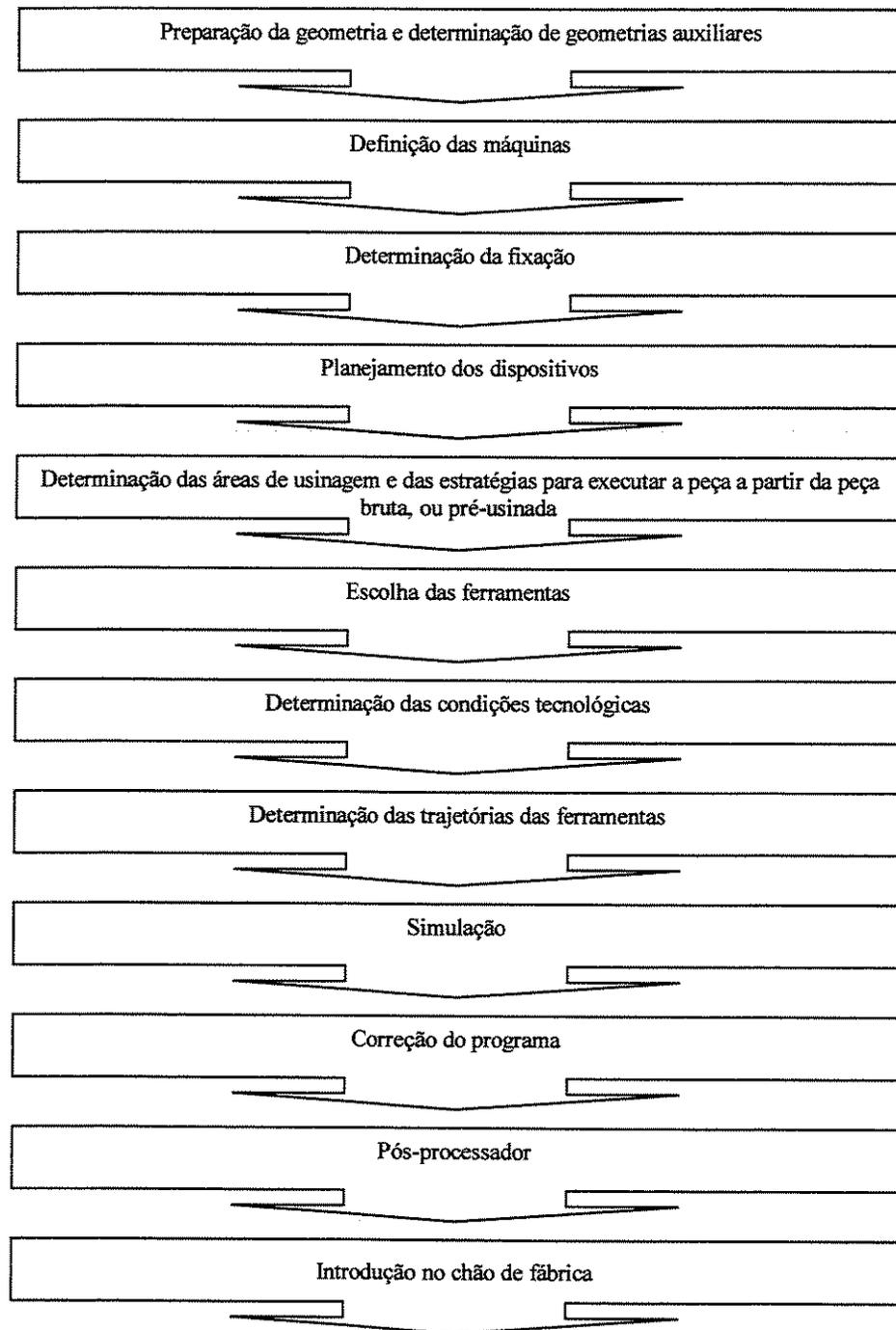


Figura 2.4: Etapas na programação de uma peça (SHULZ et al, 1994)

LYNCH (1994) destaca que os programas CNC variam muito em tamanho, dependendo da aplicação. Os programas CNC para tornos, por exemplo, geralmente são pequenos, principalmente se o programador se utiliza dos recursos de ciclos de usinagem disponíveis atualmente. Os programas CNC de centros de usinagem verticais tendem a ser maiores, em função do maior número de ferramentas que eles podem armazenar no magazine. Os programas CNC de centros de usinagem horizontais tendem a ser maiores ainda, uma vez que podem geralmente girar a peça em processamento para usinar várias faces. Além disso, pelo fato dos centros de usinagem geralmente serem equipados com sistemas de troca de paletes, pelo menos duas preparações diferentes podem se processadas com um programa. Os maiores programas são programas para centros de usinagem que geram superfícies esculpidas (superfícies complexas) como no caso das indústrias de moldes e aeroespacial.

Uma questão bastante importante apontada por SHULZ et al (1994), é que para se obter uma produção eficiente com máquinas CNC, a atividade de programação deve atender às exigências crescentes de redução de custos, diminuição dos tempos de fabricação e elevada qualidade. Para tanto é fundamental que os meios de apoio a essa tarefa sejam eficientes e confiáveis.

Os métodos ou técnicas de programação incluem uma variedade de procedimentos, indo desde o método manual ao método altamente automatizado. Cada autor apresenta a sua classificação com suas variações específicas. GROOVER(1987) e LYNCH (1997), por exemplo, classificam as técnicas de programação em cinco tipos:

- 1) Programação manual;
- 2) Programação assistida por computador;
- 3) Programação MDI (MDI – "Manual Data Input"),
- 4) Programação CNC via CAD/CAM ;
- 5) Programação automatizada por computador.

Apesar de cada técnica ser mais adequada a uma situação específica, BEARD (1994), observa que a maioria das empresas utiliza múltiplas técnicas na sua atividade operacional.

Para efeito da discussão pretendida neste trabalho será usada como referência a classificação proposta por GROOVER (1987), LYNCH (1997) e SHULZ&FECHTER (1994).

2.6.1.2 Programação manual

Segundo GIBBS (1994), a programação manual é o termo usado para descrever a preparação de um programa sem a utilização de recursos computacionais para determinar trajetórias da ferramenta, pontos de intersecção de perfis, avanços, velocidades, etc.. Nesse tipo de programação, as instruções de processamento são documentadas em um formulário chamado manuscrito do programa, que é uma listagem das posições da ferramenta em relação à peça que a máquina precisa seguir para executar o processamento. A listagem também pode incluir outros comandos com informações sobre velocidades, avanços, ferramental, etc.. Uma questão importante levantada por SHULZ&FECHTER (1994) sobre a programação manual é que para que ela seja eficiente, é necessário que se conheça exatamente a máquina a ser programada, bem como seu comando e a sua capacidade de produção, para assim poder utilizá-la adequadamente.

A programação manual é ideal para aplicações ponto a ponto simples e trabalhos de torneamento e fresamento que envolvam o processamento de peças geometricamente simples e que requeiram poucas operações. Nos trabalhos que envolvem peças com geometrias mais complexas, mesmo nas operações ponto a ponto e aplicações de usinagem de contorno, a programação manual torna-se uma atividade extremamente trabalhosa, entediante, que consome muito tempo e é sujeita a erros, tais como, erros de cálculos matemáticos, erros durante a escrita do programa e na introdução de dados no comando. É muito fácil perder um ponto decimal, inverter dois números ou cometer um erro de impressão. Outro fator negativo dessa técnica é o fato da verificação do programa ser muito difícil, uma vez que não há maneira de testá-lo antes de ser colocado na máquina. A

única maneira de testar o programa é fazer o corte em vazio, usinar uma peça em plástico, cera ou resina, o que exige tempo da máquina, reduzindo sua disponibilidade para trabalho efetivo (LYNCH, 1997).

2.6.1.3 Programação assistida por computador

Na programação assistida por computador, muito do trabalho de cálculo requerido na programação manual é automatizado. Para geometrias de peças complexas ou trabalhos com muitas etapas de processamento, o uso do computador resulta em economias significativas de tempo de programação. Muitos sistemas de linguagem de programação foram desenvolvidos para executar automaticamente a maioria dos cálculos que o programador teria que fazer. Isso economiza tempo e resulta num programa mais preciso e mais eficiente (LYNCH, 1997). De acordo com SHULZ & FLECHTER (1994), em função do desenvolvimento de sistemas computadorizados mais sofisticados e baratos, a programação assistida por computador está encontrando um campo de aplicação crescente, principalmente os sistemas que empregam diálogo gráfico.

A escolha entre programação manual e programação assistida por computador depende do tipo e complexidade das peças produzidas, do número de eixos programados em cada máquina CNC, do volume de programas CNC elaborados por mês e do tempo médio de elaboração dos programas. (LYNCH, 1997).

2.6.1.4 Programação MDI

O sistema MDI ("Manual Data Input" - Entrada Manual de Dados), é um procedimento no qual o programa CNC é inserido diretamente no comando da máquina-ferramenta. Conseqüentemente, o uso de quaisquer sistemas de transferência de dados é desnecessário. O procedimento de programação é simplificado para permitir que, além dos programadores, os operadores de máquina também façam o programa. O operador/programador insere os dados do programa e comandos na unidade de controle da máquina. A comunicação entre o operador/programador e o sistema é feita através do monitor e teclado da unidade de controle. A entrada dos comandos de programação no

controle é feita usando um procedimento orientado por um menu, no qual o operador responde a questões colocadas pelo sistema NC sobre o trabalho a ser executado. A seqüência de questões é concebida de tal forma que o operador insere a geometria da peça e os movimentos da ferramenta de maneira lógica e consistente (GROOVER, 1987). LYNCH (1994), também classifica esse tipo de procedimento como "Shop Floor Programming" (SFP) ou programação de chão de fábrica. De acordo com SHULZ&FECHTER (1994), os sistemas de programação de chão de fábrica foram desenvolvidos principalmente porque os programas elaborados nas "salas de programação" (fora do chão de fábrica), muitas vezes só podem ser empregados após várias correções e adaptações, uma vez que falta o contato para a operação prática.

Segundo LYNCH (1994), uma evolução dos sistemas de programação de chão de fábrica é a utilização do controle de programação de chão de fábrica gráfico interativo. Nesse sistema, a definição da geometria da peça, a geração da trajetória da ferramenta e a verificação do programa são feitas utilizando-se sistemas gráficos, ao invés de textos. Os sistemas gráficos são mais fáceis de aprender e usar do que os sistemas baseados em textos. Isto tornou-se evidente em muitos testes de produtividade conduzidos nos últimos anos, concluindo que os usuários são mais produtivos com interfaces gráficas do que com as tradicionais interfaces.

SCHUETT (1997) defende de forma enfática esse sistema, quando destaca que o sistema de programação de chão de fábrica é de fácil implementação e oferece uma variedade de opções. Pode auxiliar as empresas a se tornarem mais ágeis, otimizando o processo geral. Desta forma, obtém-se peças com melhor qualidade, a custos mais baixos e com menores tempos de processamento.

Os sistemas MDI são entendidos como sendo o caminho para as pequenas fábricas introduzirem a tecnologia CNC nas suas operações, sem a necessidade de adquirir equipamentos especiais de programação e contratar programadores. Isso permite à fábrica fazer um investimento inicial mínimo, para iniciar a transição em direção à tecnologia CNC. WEATHERALL (1992), sugere que esse sistema é bastante adequado para

ferramentarias e empresas que prestam serviços de usinagem, onde o *overhead* dos sistemas CAM ou CAD/CAM pode não ser aceitável.

KELLEY (1994) alerta que a limitação, ou potencial limitação, da entrada manual de dados (MDI) é o risco de ocorrerem erros de programação, à medida que o trabalho se torna mais complicado. Por esta razão, o MDI tem sido geralmente aplicado para peças de geometria relativamente simples, que requerem poucas operações, isto é, peças que podem ser programadas num intervalo de tempo de meia hora ou menos. Uma vez que não é necessário qualquer sistema de transferência de dados ou sistema para documentar e salvar o programa, as aplicações mais econômicas do MDI são aquelas nas quais o lote é feito apenas uma vez. Essa limitação pode ser eliminada integrando/adaptando um sistema de armazenamento de dados ao controle para salvar e ler os programas desejados. Outra limitação é que uma vez que os controles são parte de uma máquina-ferramenta isolada, eles não vão resolver o problema de como programar as outras máquinas na fábrica. Esta é uma questão que não pode ser desconsiderada pois envolve custos e tempos associados à atividade de programação. SHULZ&FECHTER (1994) relatam que o custo de reprogramação de uma peça já executada para uma outra máquina, como por exemplo em consequência da quebra da máquina ou por problemas de carga de máquina, é considerável. Na readaptação do programa CNC deve-se considerar um tempo médio de duas horas.

Outra consideração extremamente importante em relação à aplicação do MDI, é que a máquina CNC não fique parada enquanto o operador está entrando com as instruções de programação, pois do contrário a máquina vai se tornar um sistema muito caro de programação. O uso eficiente do sistema dita que a programação da próxima peça seja executada enquanto se esteja usinando uma outra peça. Isso reduz o tempo de troca de um trabalho para outro (LYNCH, 1997) (GROOVER,1987). Vale a pena observar que nem todos os comandos CNC têm essa característica.

Ainda no campo da programação MDI, existem as "máquinas eletrônicas". Estas, além de poderem ser programadas via MDI, possuem um controle com ciclos fixos, podem ser operadas manualmente e também tem recursos para serem programadas via *teach mode*. O operador usina a primeira peça conduzindo a máquina como se esta fosse convencional, e

os movimentos são gravados automaticamente no controle. Os dados são compilados num programa e armazenados no computador, permitindo a execução da segunda peça e peças subseqüentes no *teach mode* ou num disquete para uso futuro. Alguns controles oferecem como opção a operação CNC total, embora este não seja o conceito principal desta classe de máquinas. Elas não foram concebidas para competir efetivamente como máquinas de produção, com as máquinas CNC. As suas aplicações parecem ser mais facilmente justificáveis como recurso para melhorar a produtividade dos operadores em ferramentarias e como *learning machines* nas empresas que planejam substituir as máquinas convencionais por CNC (MASON, 1995).

2.6.1.5 Programação CNC via CAD/CAM

Uma das funções possíveis de serem executadas num sistema CAD/CAM, é a programação CNC. A programação CNC usando CAD/CAM é uma forma avançada da programação assistida por computador. Nesta forma de programação, um sistema gráfico interativo, equipado com software de programação NC, é usado para facilitar a atividade de programação. Neste método, o programador trabalha numa estação CAD/CAM para selecionar ferramentas, métodos e procedimentos para usinar a peça projetada no CAD. As ações indicadas pelos comandos são mostradas no monitor gráfico, que provê um *feedback* visual ao programador. Certas partes do ciclo de programação são automatizadas pelo *software* de programação CNC, para reduzir o tempo total de programação requerido (GIBBS, 1998).

O sistema poupa o programador de cálculos matemáticos, torna fácil programar diferentes tipos de máquinas com a mesma linguagem básica e, além disso, auxilia com subrotinas prontas e determinadas funções básicas de usinagem. O sistema gera o programa nos mesmos moldes de um programa CNC gerado manualmente. Uma vez concluído e verificado, pode ser transferido diretamente para a máquina.(LYNCH, 1997).

Os sistemas de programação CNC com base em sistemas CAD/CAM foram criados para solucionar as falhas da programação manual. São concebidos para programar tanto peças simples como complexas, mais rápido, mais fácil e com um grau mais alto de

precisão. A maioria desses sistemas trabalha de maneira similar, programando a peça em três fases. Na primeira, a geometria da peça é definida. Na segunda, é gerada a trajetória da ferramenta. Na terceira, o programa é pós-processado para converter-se no formato que a máquina entende. As suas aplicações são muito bem sucedidas nas indústrias de fabricação de moldes e aeroespacial, que trabalham com usinagem de peças tridimensionais complexas e cujos programas são muito extensos (LYNCH, 1994).

Apesar das vantagens comentadas anteriormente, de acordo com ANDERL et al (1998), podem ocorrer alguns problemas no processo de programação via CAD/CAM no caso de fresamento de peças tridimensionais. Tais problemas estão relacionados à confiabilidade de transferência dos dados geométricos do Sistema CAD para o Sistema CAM, à velocidade de cálculo e confiabilidade das trajetórias de fresamento geradas e à complexibilidade do processo de fresamento em si (técnica ou organizacional). Porém, GUNNINK (1999), relata que através da identificação das causas fundamentais desses problemas é possível buscar novos caminhos para suplantá-los. O resultado disso é a combinação de arquivos STL (do inglês Stereo Litography - estéreo litografia) com o processo CAD-CAM 3D de fresamento.

2.6.1.6 Programação automatizada por computador

A programação automatizada por computador automatiza a atividade de programação completa, usando um *software* que é capaz de tomar decisões lógicas sobre como a peça deva ser usinada. Na programação NC usando o sistema CAD/CAM, muitos aspectos do procedimento foram automatizados. A tendência agora é tornar possível automatizar o procedimento completo da programação CNC. Dado o modelo geométrico de uma peça, que foi definido durante o projeto do produto, o sistema automatizado por computador deverá ter capacidades lógica e de tomada de decisão suficientes para gerar o programa CNC sem intervenção humana. A interação entre essa atividade e o CAPP, Planejamento do Processo Assistido por Computador (Computer Aided Process Planning) é fundamental para o sucesso da técnica(GROOVER, 1987).

2.6.2 Transferência do programa CNC

Depois que o programa CNC foi elaborado, deve-se preparar um "meio de entrada" para inseri-lo no comando da máquina ou enviá-lo diretamente ao comando. Independentemente de como um programa CNC é preparado, as empresas que executam algum trabalho repetido estão altamente preocupadas com armazenar e recuperar programas CNC. Mesmo se uma máquina CNC for dedicada a rodar somente um trabalho é necessário o "back up" do programa em caso de problemas com a máquina. Uma vez testado o programa, é necessário armazená-lo no seu estado correto para uso futuro. Isso pode ser feito com uma variedade de técnicas. LYNCH (1994), relaciona uma série de dispositivos de armazenagem e recuperação do programa usados para este propósito. Estes incluem:

- 1) Sistema de leitora e perfuradora de fitas;
- 2) Sistema de leitura e gravação de fitas cassete;
- 3) Transferência de dados via MDI;
- 4) Sistema portátil de transferência de dados;
- 5) Sistema portátil de "drives" para disquetes;
- 6) Computadores portáteis;
- 7) Computadores de mesa (PC)
- 8) Sistema DNC.

Os Sistemas de leitura e gravação de fitas cassete e leitora e perfuradora de fitas já estão caindo em desuso em função das desvantagens que apresentam e da evolução e melhor adequação dos outros sistemas, embora ainda possam ser encontrados em algumas empresas. De qualquer forma serão também discutidos neste item.

2.6.2.1 Sistema de leitora e perfuradora de fitas

O sistema de leitora de fitas perfuradas é uma das formas mais antigas de transferência de dados e foi, no início, o único meio de ativar programas. Porém, é um sistema que apresenta uma série de desvantagens. Na preparação de uma fita perfurada são muito comuns erros de programação. Os erros podem ser de sintaxe ou numéricos. Não é incomum serem necessárias três ou mais etapas antes de se obter a fita perfurada correta.

Outro problema é a leitora de fitas, conhecida, entre os usuários, como o componente de *hardware* menos confiável do sistema, e que apresenta elevado índice de manutenção. Além disso uma pequena rebarba na fita perfurada pode gerar erros de leitura cujas conseqüências podem ser muito danosas (GROOVER, 1987)(LYNCH, 1994)..

É um sistema que está se tornando cada vez menos comum, embora ainda possa ser encontrado em alguns ambientes CNC. Em fábricas onde existem máquinas CNC mais novas (menos de dez anos) é muito pouco provável que existam sistemas de leitoras ou perfuradoras de fitas. Esses sistemas poderão ser encontrados em fábricas que tenham máquinas mais antigas, com mais de quinze ou vinte anos, e mesmo assim muito raramente, pois as empresas periodicamente executam a atualização tecnológica de suas máquinas, substituindo os sistemas NC com leitora/perfuradora de fitas por sistemas CNC (LYNCH,1994) (SIMON, 1990).

2.6.2.2 Sistema de leitura e gravação de fitas cassete

Os sistemas de gravação e leitura de fitas cassete são outra alternativa ao sistema de perfuradora/leitora de fitas. Permitem criar, armazenar, corrigir e executar programas, com maior eficiência do que o sistema com leitora e perfuradora de fitas. Uma fita audiocassete é utilizada como meio de armazenagem de programas onde, normalmente, podem ser salvos apenas dois programas por fita, um de cada lado da mesma. O armazenamento dos programas em fita cassete é um meio mais barato e compacto, quando comparado à fita perfurada e, além disso, apresenta maior facilidade de edição de programas, isto é, o sistema permite escrever, testar e corrigir programas, e introduzir e/ou retirar instruções de um programa, sem ter que reescrevê-lo.

Este sistema é incômodo para se trabalhar e requer um tempo relativamente alto para transferência dos programas, além do que as fitas cassete magnéticas não convivem muito bem com o ambiente empoeirado e sujo das fábricas. Uma vez que o programa é extraído como um sinal modulado de áudio, o ajuste do volume é crítico. Dependendo da qualidade do dispositivo, carregar o programa pode exigir muitas tentativas. Isto também torna os dispositivos de armazenamento de programas com fitas cassete magnéticas muito

incômodos de se trabalhar. Por causa destas dificuldades, esses sistemas estão sendo substituídos, através da atualização tecnológica dos equipamentos (LYNCH, 1994).

2.6.2.3 Transferência de dados via MDI

No caso da programação MDI (Manual Data Input - entrada manual de dados), o programa é inserido diretamente no comando da máquina através do monitor e teclado à medida em que está sendo elaborado, dispensando quaisquer sistemas de transferência de dados. O programa também pode ser preparado fora da máquina e transferido via MDI. No caso de ser necessário documentar e salvar o programa para uso futuro, é preciso integrar/adaptar um sistema de armazenamento de dados ao comando, para salvar e ler os programas desejados. É importante observar que a máquina CNC não fique parada enquanto os dados são inseridos no comando, pois do contrário a máquina estará deixando de produzir e o nível de improdutividade será muito elevado.

LYNCH (1994), alerta para o fato de que nem todos os comandos CNC permitem executar a transferência de dados com a máquina operando, motivo pelo qual nem sempre a entrada de dados via MDI é recomendada. Além disso, a entrada de dados via MDI é muito susceptível a erros, o que pode causar sérios acidentes. O tempo para inserir os dados de um programa CNC médio, via MDI, é por volta de trinta minutos. Como a maioria dos CNC requer que a máquina esteja parada enquanto o programa está sendo inserido, esse sistema de transferência de dados gera elevado grau de ociosidade da máquina.

Como cada vez mais o trabalho de projeto é executado através de sistemas CAD, usando bancos de dados e *softwares* que são compatíveis com a máquina-ferramenta, há cada vez menos dependência dos sistemas anteriormente descritos para armazenagem e transferência de programas e mais utilização de disquetes, discos rígidos e outros meios típicos da técnica computacional. Uma das vantagens pode ser ilustrada, por exemplo, para o caso de uma célula de usinagem composta de máquinas ferramenta CNC, concebida para uma família de dez tipos de peças. Essa célula pode estar apta a executar os dez tipos de peças diferentes sem necessidade de troca de ferramentas ou fixações. Porém, continuará a ter dez programas diferentes para executar estas peças para cada máquina. Se os programas

são armazenados e transferidos para as máquinas utilizando-se técnicas computacionais, eles podem ser rapidamente acessados, mas se são armazenados e transferidos por outros meios (como por exemplo fita perfurada), as dificuldades e os tempos para executar essa operação serão bem maiores (DEGARMO et al, 1997).

2.6.2.4 Sistema portátil de transferência de dados

O sistema portátil de transferência de dados é um pacote de *software e hardware* integrados, concebido para permitir a comunicação de dados em ambiente industrial de forma segura e confiável. Trata-se de um equipamento coletor de dados que pode ser conectado ao comando CNC da máquina, via saída RS-232-C. Transfere dados, parâmetros ou programas de um microcomputador (PC) para o CNC e do CNC para o PC, selecionando o programa desejado via teclado (MCS Engenharia).

Geralmente são de pequeno tamanho e alimentados por bateria. Os programas só podem ser retidos por esses sistemas enquanto energizados. O programador carrega um programa no dispositivo a partir do microcomputador (PC). Com a bateria ligada, o dispositivo é levado até a máquina CNC, onde o programa é transferido para a memória do controle. Os programas podem ser também carregados a partir do controle CNC para o transportador e eventualmente transferidos para o PC . Estes dispositivos só podem ser usados para transferir programas. Os programas não são armazenados de forma permanente. Uma vez desenergizado o sistema, o programa é perdido. Mesmo assim, é um sistema excelente e barato de transferir programas entre as máquinas CNC e o microcomputador (PC) (LYNCH, 1997).

A sua aplicação é adequada em situações em que a transferência de programas entre PC e máquina CNC não pode ser feita via cabo. Se a distância entre máquina e computador é de mais de sessenta metros, o custo da cablagem pode ser proibitivo. Quanto maior o número de máquinas CNC da empresa, maior é o seu custo. Além disso, se a empresa dispõe de máquinas que causem elevado grau de ruído na rede elétrica (como máquinas de eletro-erosão e máquinas de solda), os cabos que passam perto dessas máquinas estarão

sujeitos a interferências, que podem causar a perda de caracteres ou mesmo de segmentos inteiros de programa durante a transmissão(LYNCH, 1994).

2.6.2.5 Sistema portátil de *drives* para disquetes

Os disquetes são um excelente meio de armazenamento e transferência de programas, requerendo apenas uma fração do espaço físico de armazenamento que, por exemplo, as fitas perfuradas necessitam. Muitos controles incorporam *drives* para disquetes, permitindo armazenar de maneira fácil, grandes quantidades de dados de programas CNC. Uma vez carregado o programa na memória do controle (seja através do teclado ou outro dispositivo externo), ele pode ser facilmente copiado para o *drive* do disquete do controle. Quando o programa for novamente requerido, ele pode ser recuperado do disquete. Para os CNC's que não possuem *drives* incorporados existe uma variedade de sistemas disponíveis no mercado. A maior desvantagem dos disquetes no ambiente de fábrica é a sua susceptibilidade à campos magnéticos. Muitas fábricas tem fortes campos magnéticos e eletromagnéticos espalhados. Se os disquetes ficarem muito próximos dos mesmos, terão suas informações apagadas. Por esta razão , as fábricas que empregam esse meio de transferência e armazenamento de programas precisam fazer cópias *backup* de seus disquetes de programas, regularmente (LYNCH, 1994)

Os sistemas portáteis de *drives* para disquetes para transferência de programas são bastante utilizados em empresas que usam microcomputadores para preparar programas CNC, valendo aqui também as mesmas observações feitas para o item anterior, Sistema portátil de transferência de dados, no que se refere à distância entre o microcomputador e as máquinas CNC, custos de instalação de cabos ligando microcomputador e máquinas CNC, quantidade de máquinas CNC, etc.

2.6.2.6 Computadores portáteis

São excelentes sistemas de transferência de programas, que garantem ao usuário flexibilidade e portabilidade. A flexibilidade é função dos vários programas/aplicativos que podem ser rodados. Hoje, os pequenos *laptops* e *notebooks* podem rodar até mesmo os mais

complicados programas, o que significa que até os *softwares* de programação CNC podem ser usados para auxiliar na preparação do programa. Uma vez inserido e armazenado um programa no computador portátil, ele pode ser facilmente transferido ao controle CNC via porta serial do computador e saída RS-232C da máquina CNC. Hoje, existem no mercado vários fornecedores que podem oferecer *softwares* de edição de texto e de comunicação para tal fim. Com o auxílio de uma impressora, pode-se gerar as listagens dos programas CNC, a partir do editor de texto do computador portátil (LYNCH, 1994)..

LYNCH (1994) observa que a portabilidade desses computadores se equipara á dos melhores sistemas de transporte de dados. No entanto, deve-se sempre ter em mente que são muito mais frágeis do que os sistemas transportadores de dados projetados especificamente para o uso em CNC e, portanto, precisam ser manuseados com mais cuidado.

2.6.2.7 Computadores de mesa (*Desktop PC's*)

Estes computadores apresentam os mesmos benefícios dos laptops e *notebooks*, exceto no que se refere à portabilidade. No caso de utilizar este sistema, a maioria das empresas liga cada uma das máquinas CNC ao computador através de cabo. Na máquina, o cabo é conectado à saída RS-232C e no computador, o cabo é conectado à saída serial. Se mais de uma máquina precisa ser conectada ao computador, incorpora-se um sistema de conexão do tipo chaves de comutação específico para esse fim. Dependendo do número de máquinas, o sistema de chaves pode operar manual ou automaticamente (LYNCH, 1994).

Como no caso dos computadores portáteis, existe uma variedade de aplicativos que podem ser utilizados, não só para a aplicação específica de transferência de programas CNC, mas também para outras aplicações normais do computador.

2.6.2.8 Sistema DNC (controle numérico direto/distribuído)

O DNC (Direct/Distributed Numerical Control - Controle Numérico Direto/Distribuído) é um sistema de comunicação de dados/informações interligando um grupo de máquinas de controle numérico a um computador central que tem uma memória

com capacidade para armazenar uma grande quantidade de programas. Os programas são transmitidos às máquinas, à medida em que são solicitados. O DNC é concebido para fornecer instruções à cada máquina-ferramenta em função da demanda. O sistema também recebe dados das máquinas, e esse fluxo de informações em duas vias acontece em tempo real. É um sistema pelo qual várias máquinas são monitoradas por um computador central, através de conexão direta e em tempo real. A partir do DNC, os programas passaram a ser transmitidos às máquinas diretamente da memória do computador. Desta forma, as leitoras de fita puderam ser eliminadas, o que conferiu maior confiabilidade ao sistema (LYNCH, 1997).

Embora uma das principais funções do DNC seja transmitir os programas às máquinas no exato momento em que são solicitados, o sistema tem ainda capacidade para mostrar e editar programas, transmitir instruções ao operador e outros dados necessários às máquinas, além de coletar e processar informações sobre a situação da operação das máquinas para fins de gerenciamento. O sistema opera de maneira que, quando necessário, o computador envia os programas às máquinas e também recebe informações das mesmas. Este fluxo de informações em duas direções ocorre em tempo real, isto é, a necessidade de instruções de cada máquina é satisfeita quase instantaneamente e, da mesma forma, o computador precisa estar sempre pronto para receber as informações das máquinas e processá-las de imediato (GROOVER, 1987)(ROBB, 1998).

De acordo com GROOVER (1987), as principais vantagens do DNC são:

- possibilita a transferência do programa para o controle da máquina, de maneira rápida e com um mínimo de erros;
- permite o controle de mais de uma máquina pelo computador;
- possui maior capacidade computacional;
- permite a localização remota do computador (fica localizado fora do ambiente da fábrica);
- possibilita a eliminação de fitas e leitora na máquina garantindo maior confiabilidade (o sistema pode ser conectado diretamente à unidade de controle NC);

- permite que os dados dos programas armazenados, bem como a localização das ferramentas, possam ser pós-processados para qualquer máquina designada a executar o trabalho.

2.6.3 Pré-Ajustagem de Ferramentas

O esforço requerido para apoiar a operação de máquinas-ferramenta CNC é significativo. Além da preparação das fixações, que são montadas nas mesas ou nos paletes da máquina, o gerenciamento das ferramentas é muito importante para manter a máquina trabalhando. Para garantir a usinagem precisa de uma peça numa máquina CNC, o sistema de controle tem que "saber" determinadas dimensões das ferramentas. Essas dimensões se referenciam a um ponto de ajustagem fixo no porta-ferramenta (WEATHERALL, 1992).

Uma parcela relativamente grande do tempo de preparação de máquinas-ferramenta é consumida na ajustagem das ferramentas, ou seja, na determinação e correção das suas medidas. A análise e redução dos tempos envolvidos nessa etapa do processo de manufatura, conseqüentemente, é de fundamental importância para se obter um maior tempo produtivo disponível da máquina. BEARD (1998), sugere que o ideal é fornecer para a máquina-ferramenta um conjunto de ferramentas completamente qualificado para um determinado trabalho, antes de se começar a preparação da máquina. Uma vez montadas as ferramentas nos seus respectivos alojamentos, partir direto para a produção, sem a necessidade da ferramenta tocar a peça e sem a necessidade de peça teste.

Um dos processos utilizados por usuários de máquinas ferramenta CNC, para a determinação das medidas da ferramenta, é a usinagem experimental com posterior medição da peça e correção dos dados da ferramenta. Aqui, em primeiro lugar, introduz-se no comando as medidas das ferramentas determinadas de forma aproximada. Após uma pequena usinagem experimental, mede-se a peça. Os desvios de medidas determinados em relação às dimensões do desenho são introduzidos no comando, como dados de correção para a respectiva ferramenta (FRANZ, 1984) (DEGARMO et al., 1997). Dependendo do tipo de máquina, essa operação consome, em média, 50 a 75 % do tempo total gasto na substituição de uma ferramenta. Portanto, ajustar cada ferramenta utilizando-se esse

processo pode ser muito demorado. Durante esse processo de ajustagem, as máquinas não estão produzindo cavaco, o que compromete sua produtividade (WICK,1995).

Outro processo é a utilização de aparelhos de pré-ajustagem de ferramentas, os *presetters*, que permitem executar o ajuste das ferramentas previamente e fora da máquina de maneira rápida e com precisão tal, que os dados de correção de ferramenta podem ser transferidos ao comando CNC com total confiança e sem perda de tempo. Neste caso, as dimensões da aresta de corte da ferramenta, em relação ao ponto de referência, são devidamente determinadas. A ferramenta já montada em seu suporte, é colocada em um aparelho de pré-ajustagem, que possui o mesmo alojamento do suporte de ferramenta da máquina CNC. As medidas da ferramenta, determinadas ótica ou mecanicamente, são introduzidas no comando durante a preparação da máquina. A pré-ajustagem e medição de ferramentas fora da máquina conduz a economias significativas. Os ajustes na primeira peça podem ser reduzidos ou mesmo eliminados, dependendo da tolerância requerida. É um meio rápido e confiável de aferição de diâmetros e comprimentos de ferramentas, que elimina a necessidade de usar a máquina como dispositivo de aferição /ajustagem de ferramenta (FRANZ, 1984)(NORTON, 1990)(WICK, 1995) (EPB).

Os aparelhos de pré-ajustagem são fabricados nas mais diversas configurações e capacidades Podem ser dotados de inúmeros recursos, indo das concepções mais simples, que utilizam, por exemplo, relógios comparadores, até as mais sofisticadas, equipadas com sistemas óticos, relevadores de cotas, adaptadores de porta-ferramentas com troca rápida, interfaceamento com sistemas de gerenciamento de ferramentas e DNC (Distributed Numerical Control), identificando-se perfeitamente com as necessidades da manufatura integrada por computador (CIM) (SIMON, 1991).

A utilização de aparelhos de pré-ajustagem não só permite eliminar os tempos gastos no processo citado anteriormente, como também permite reduzir ou eliminar outras componentes do tempo de preparação das ferramentas. Aumenta-se desta forma, os ganhos em produtividade e reduz-se os custos e tempos do ciclo de fabricação. Além disso, esse procedimento permite reduzir a taxa de refugo decorrente da atividade de preparação, provê um meio de identificar problemas de disponibilidade de ferramentas antes de se iniciar a

preparação da máquina e aumenta o tempo de arranque de cavaco em pelo menos 20 %.(BEARD, 1998).

Existem no mercado máquinas equipadas com sistemas próprios de pré ajustagem de ferramentas. Pode ser um sistema independente ou um sistema com sensor/apalpador, que é alojado num suporte porta-ferramenta e instalado no magazine da máquina. Existem ainda sistemas de pré ajustagem que podem ser facilmente adaptados em máquinas já existentes. O conjunto de ferramentas é montado no magazine ou torre porta-ferramentas da máquina e a partir daí, as ferramentas são medidas uma a uma. Estas medidas são introduzidas automaticamente no comando. Existe uma grande variedade de sistemas que podem ser ópticos, por sensores de contato e por medição por laser. Podem ser uni, bi ou tri-direcionais. Alguns desses sistemas ainda permitem, além da ajustagem das ferramentas, executar o monitoramento destas no que se refere à desgaste e quebra e realizar a medição em processo das peças (RENISHAW) (BLUM) (HELLER). A operação de pré-ajustagem através desses sistemas é bastante rápida, mas enquanto está sendo executada, a máquina não está efetivamente arrancando cavaco. Além disso, deve-se levar em conta que o preço dos mesmos é significativo e uma análise criteriosa deve ser elaborada antes de se decidir pela sua aquisição ou pela aquisição de um aparelho de pré-ajustagem independente (lembrando-se que este último poderá atender a várias máquinas).

Além das várias possibilidades discutidas anteriormente existe também a dos fabricantes que já estão incorporando à máquina-ferramenta, além de outros recursos, um aparelho de pré-ajustagem de ferramentas (*presetter*). Um braço articulado retira a ferramenta do magazine e a instala no *presetter* enquanto a máquina está operando com outra ferramenta. Os dados de pré-ajustagem da ferramenta são verificados automaticamente e enviados ao comando da máquina que executa as correções e ajustes necessários sem supervisão humana (SIMON, 1998).

MASON (2000), relata que no final da década de 70, nos Estados Unidos, era necessário um grande esforço no sentido de fazer os usuários da tecnologia NC entenderem a importância e a necessidade de utilizar os aparelhos de pré-ajustagem de ferramentas. Hoje, tais aparelhos já são parte integrante dos pacotes de tecnologia CNC. Nos países

industrialmente mais desenvolvidos, as indústrias os adquirem e os utilizam sem questionamento.

2.7 Implantação da Tecnologia CNC

Com o propósito de ressaltar as fases mais críticas no processo de aquisição e implantação de máquinas-ferramenta CNC, faz-se, a seguir, uma breve análise das etapas envolvidas nesse processo, principalmente em relação ao momento de decisão sobre questões relativas aos recursos de programação CNC, transferência de programas e pré-ajustagem de ferramentas.

Baseado nos modelos propostos por SHULZ (1999), para uma máquina-ferramenta CNC de alta velocidade de corte, e WOOD & COUGHLAN (1991), para sistemas flexíveis de manufatura, as etapas relativas ao processo de aquisição e implantação da tecnologia CNC são as apresentadas nas figuras 2.5 a 2.11. Deve-se considerar que todas as etapas indicadas nas figuras a seguir são importantes, porém o seu detalhamento não é objetivo deste trabalho.

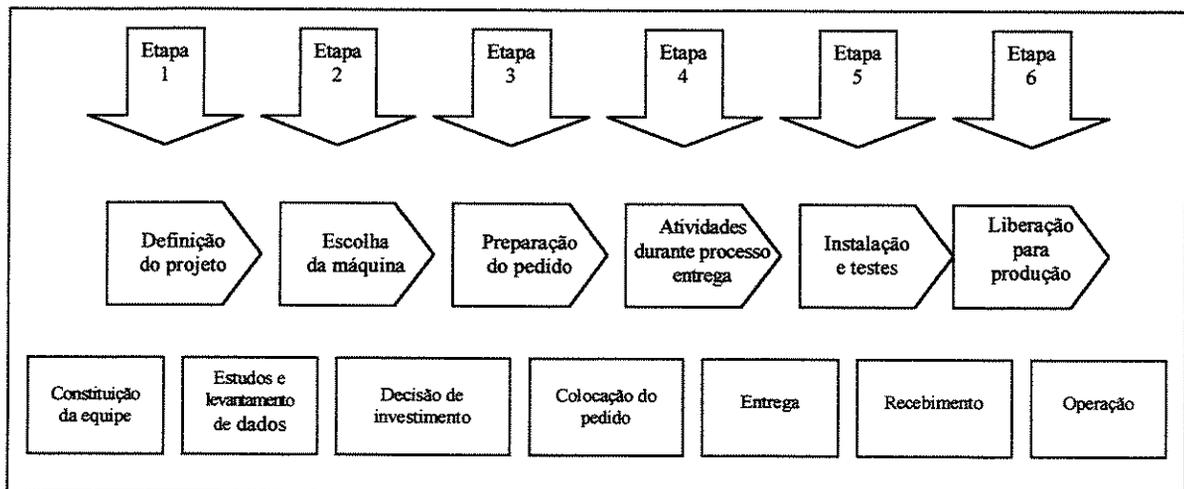


Figura 2.5 - Etapas do processo de implantação de máquina ferramenta CNC.

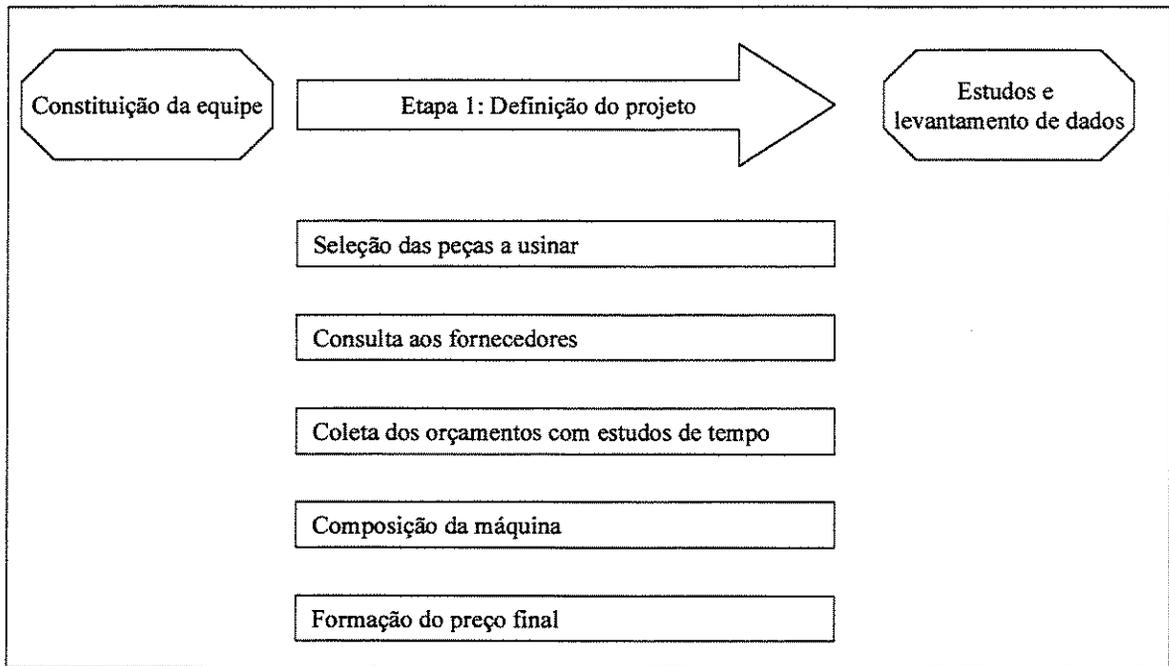


Figura 2.6 - Etapa 1 - Definição do Projeto

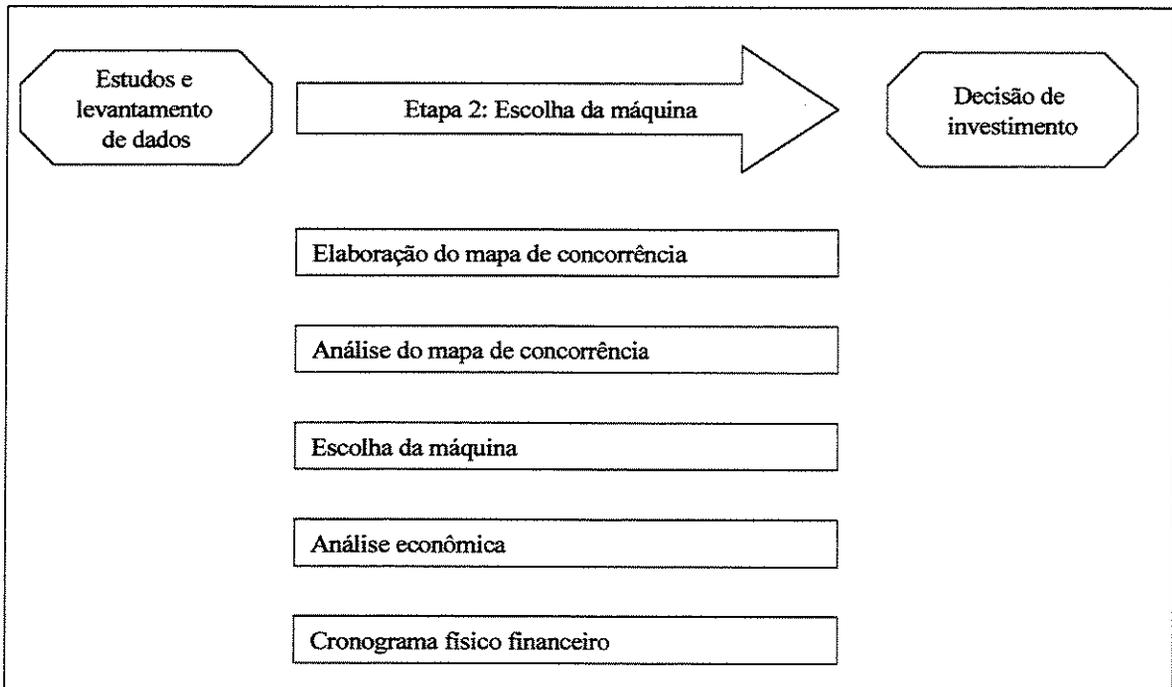


Figura 2.7 - Etapa 2 - Escolha da Máquina

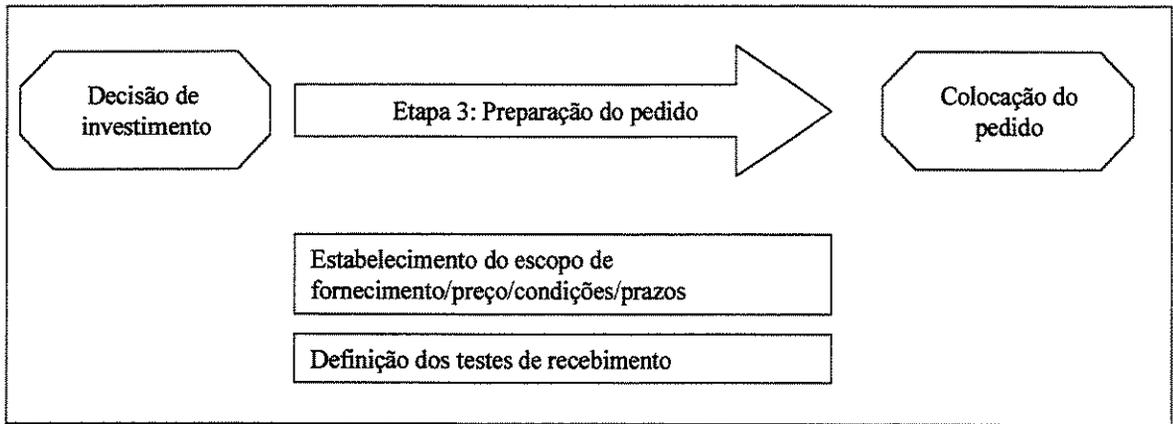


Figura 2.8 - Etapa 3 – Preparação do Pedido.

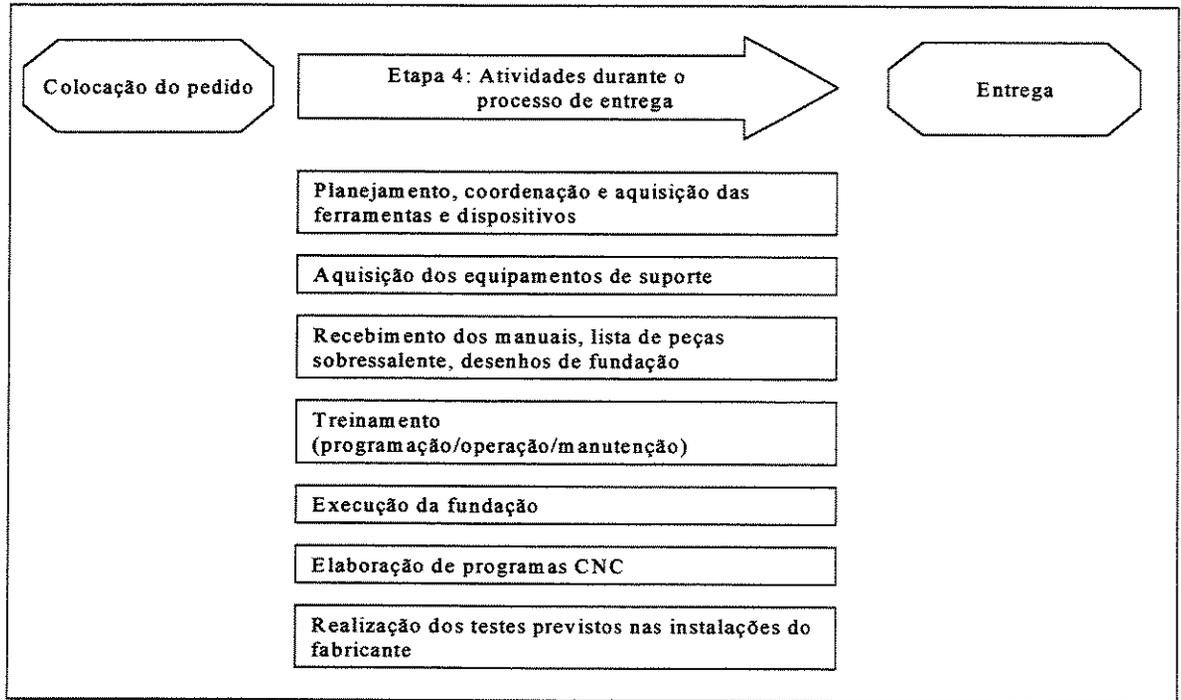


Figura 2.9 - Etapa 4 - Atividades durante o processo de entrega

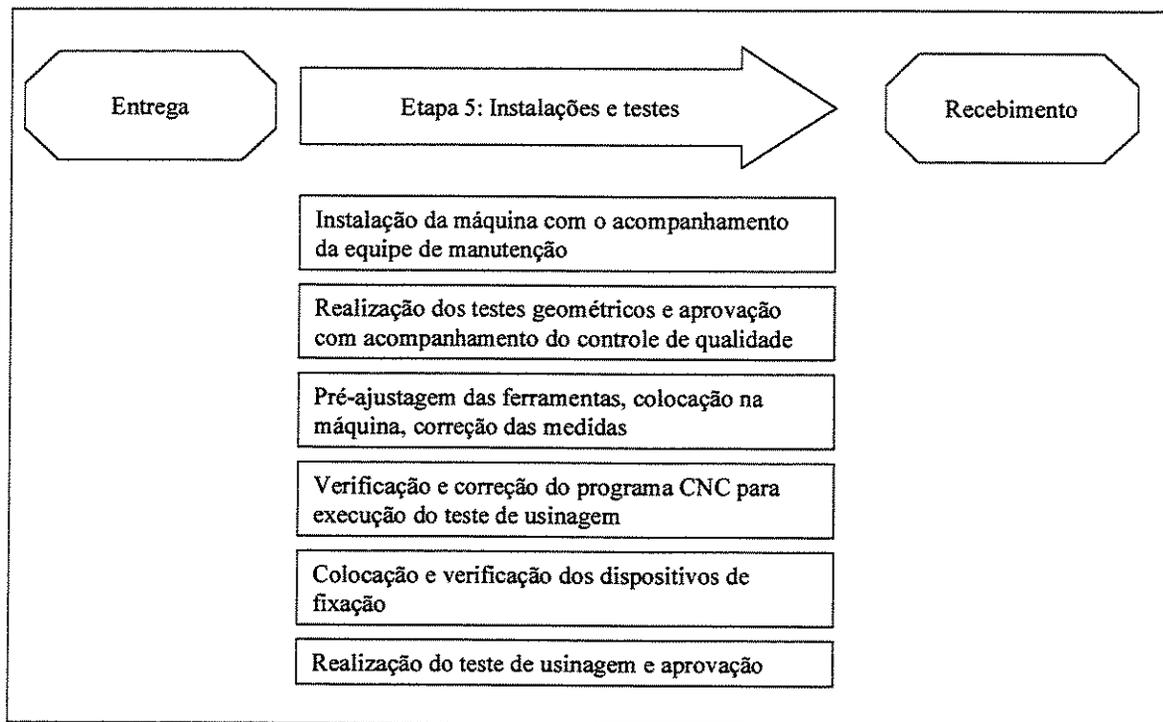


Figura 2.10 - Etapa 5 - Instalação e testes

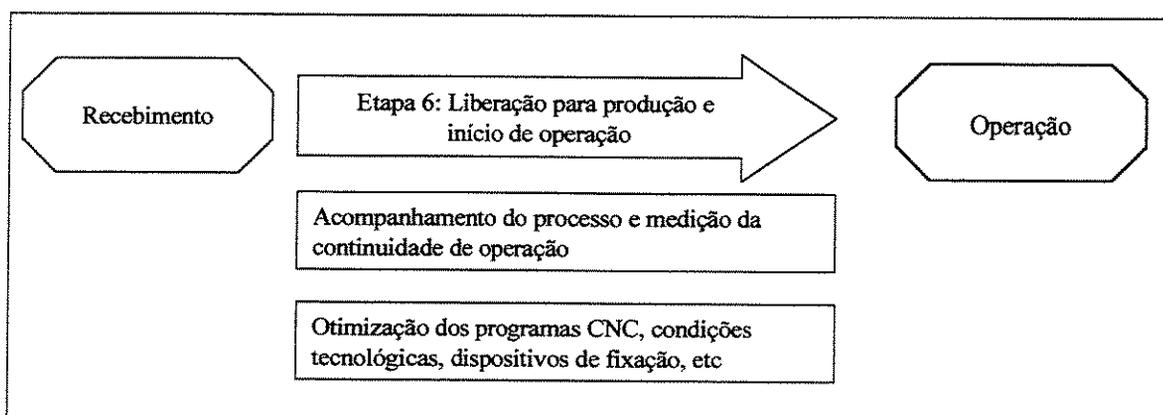


Figura 2.11 - Etapa 6 - Liberação para produção e início de operação

Uma das primeiras ações no início da Etapa 1 - Definição do Projeto, é a constituição de uma equipe que estará envolvida com o projeto. Esta equipe deverá ser de alto nível no que se refere à competência técnica, mentalidade aberta, organizada e estar constantemente atualizada, objetivando a melhoria contínua e otimização do processo. Uma equipe consciente da importância da aplicação da tecnologia CNC garantirá o efetivo retorno do investimento. É fundamental o envolvimento de todo o pessoal atuante no projeto, fornecendo-lhes informações e treinamento antes mesmo do recebimento da máquina.

Ainda nessa etapa, depois das atividades “seleção das peças a usinar”, “consulta aos fornecedores” e “coleta dos orçamentos com estudos de tempo”, outra atividade que merece destaque é a “composição da máquina”. Esta atividade envolve a análise e decisão sobre os itens que farão parte do projeto, isto é, máquina, acessórios opcionais, ferramental, dispositivos e equipamentos de suporte e é ela que fornece as bases para a atividade “formação do preço final”. Segundo LAMBERT (1992), a questão aqui se resume em definir o que é exatamente necessário, e evitar adquirir mais recursos do que é preciso. Comprar além do necessário pode ser custoso porém, comprar somente com base nas necessidades presentes pode ser uma visão muito simplista e também sair caro. É preciso, portanto, também considerar as necessidades futuras e os recursos necessários para atendê-las, pelo menos de médio prazo.

Nesta etapa deve-se definir, por exemplo, sobre os recursos do CNC em relação à capacidade de memória, capacidade para permitir programação na máquina e transferência de programas enquanto a mesma está operando, e como será a arquitetura do sistema de transferência de programas para o comando CNC; definir a estrutura do sistema de ferramentas no que se refere à capacidade, troca automática, tipo de alojamento, quando necessário e referência para permitir pré-ajustagem fora da máquina.

É também nesta etapa que deve-se considerar a análise dos equipamentos de suporte, como por exemplo, sistemas de carga e descarga de peças, sistemas de medição, aparelhos de pré-ajustagem de ferramentas, e o ferramental (sistemas modulares de troca rápida, tipos de suportes porta-ferramentas, etc.). Adicionalmente, devem ser definidos os sistemas que serão adquiridos para apoiar a atividade de programação CNC e os programas de treinamento nas áreas de programação, operação e manutenção.

A atividade “formação do preço final” envolve considerar o preço da máquina, acessórios opcionais, ferramental, dispositivos, equipamentos e sistemas de suporte, fundação, instalação, treinamento, transporte, embalagem, seguros, impostos, etc..

Na Etapa 2 - Escolha da Máquina, as atividades “elaboração do mapa de concorrência”, “análise do mapa de concorrência” e “escolha da máquina” devem ser feitas levando-se em conta as características técnicas e de qualidade, o preço, as condições de pagamento, os prazos de entrega, os estudos de tempo, o escopo da garantia, a tradição e as referências do fabricante.

Para a atividade de “análise econômica” deve-se identificar e valorizar as fontes de ganho ou economias decorrentes da implantação da tecnologia e definir o método mais adequado (BROMWICH & BHIMANI, 1991). O item 2.4 (Vantagens associadas à aplicação da tecnologia CNC nas máquinas ferramenta de usinagem) auxilia na execução desta atividade.

Na Etapa 3 - Preparação do pedido, deve-se prever no pedido de compra os testes necessários para aprovação e recebimento da máquina nas instalações do fabricante e do usuário (testes de usinagem, testes geométricos, etc.) (GONÇALVES, 1991).

Na Etapa 4 - Atividades durante o processo de entrega, devem ser executadas as atividades de planejamento, coordenação, aquisição e recebimento das ferramentas, dispositivos e equipamentos e sistemas de suporte, como por exemplo, aparelho de pré-ajustagem de ferramentas, *softwares* de apoio à programação e verificação de programas, etc.. Devem ser executadas as fundações, e instalações auxiliares necessárias. Deve-se receber e organizar os manuais de programação, operação e manutenção e as listas de peças de reposição. Deve-se executar o treinamento em programação, preparação de ferramentas, operação e manutenção.

O elevado valor do investimento envolvido com a tecnologia CNC não permite quaisquer tempos não produtivos devidos à falta de conhecimento e treinamento. Além disso essa tecnologia não aceita suposições, requerendo trabalho com lógica detalhada e

métodos documentados seguidos com rigor. O conhecimento e acompanhamento fiel dos métodos estabelecidos elimina as dificuldades que eventualmente possam surgir para programadores, operadores e manutentores. Desta forma o treinamento adequado de todos envolvidos com essa tecnologia é também de suma importância para o seu sucesso (WALTON & SUSMAN, 1987).

Finalmente é preciso considerar no processo de aquisição que os fatores chave para o sucesso na implementação de novos processos de manufatura incluem ações e condições anteriores à sua aquisição ou instalação. Um dos fatores mais frequentemente mencionados como responsável pelo sucesso ou falha na inovação do processo de manufatura é a natureza da relação fornecedor-usuário. A gestão efetiva dessa relação é uma atividade complexa, que requer interfaces transparentes, planejadas, na base do trabalho em equipe e que, além disso, requer conhecimento e competências técnicas de ambos (WOOD & COUGHLAN, 1991).

A garantia do sucesso da implantação das Tecnologias Avançadas de Manufatura (AMT – Advanced Manufacturing Technologies) e, no caso específico, da tecnologia CNC, está na administração eficiente e no planejamento antecipado de todas atividades envolvidas com esse processo. A inovação dos processos de manufatura pode ser utilizada estrategicamente como uma vantagem competitiva. Porém, alcançar uma vantagem competitiva sustentável, nessa condição, exige que as empresas tenham competência para fazer escolhas adequadas ao adquirir tecnologias inovadoras. A ação isolada de comprar um novo equipamento, por exemplo, não fornece, automaticamente, uma vantagem sobre os concorrentes. Mesmo que seja desenvolvida, testada e implantada uma tecnologia de características especiais, pode ainda não resultar numa vantagem competitiva sustentável se a empresa não dispuser de capacidade para operar adequadamente e melhorar continuamente seus equipamentos e processos de manufatura.

A partir também dessas considerações propõe-se no capítulo a seguir, uma metodologia para avaliação das condições de utilização de máquinas ferramenta CNC em função da análise das atividades de suporte específicas à sua operação.

Capítulo 3

Metodologia para avaliação do índice de utilização de máquinas-ferramenta CNC

No capítulo 2 foram discutidos, além dos conceitos gerais, as vantagens associadas à aplicação da tecnologia CNC, as situações onde sua aplicação é mais adequada, o estágio de desenvolvimento das máquinas-ferramenta CNC. Adicionalmente foram discutidas as atividades de suporte específicas à operação das máquinas CNC e as etapas gerais envolvidas com a implantação desta tecnologia.

Este capítulo propõe uma metodologia para avaliação do índice de utilização das máquinas-ferramenta CNC de usinagem, a partir da análise das técnicas de programação, transferência de programas e pré-ajustagem de ferramentas de corte utilizadas pelas empresas. Adicionalmente, propõe uma avaliação do total de horas improdutivas, geradas pela utilização de técnicas inadequadas para execução das atividades acima, em relação ao total geral de horas disponíveis dos grupos de máquinas-ferramenta em estudo.

3.1 Considerações iniciais

Ao se analisar as máquinas-ferramenta convencionais, verifica-se que para sua operação é necessária a execução de um conjunto de atividades. Essas atividades abrangem ações que vão desde o planejamento da operação até a manutenção da máquina e podem ser denominadas de atividades de suporte. Dentre elas pode-se citar:

- elaboração do processo de fabricação, onde são definidas as ferramentas de corte a serem utilizadas, as condições tecnológicas (velocidade de corte, velocidade de avanço, profundidade de corte, etc.), os dispositivos de fixação e as referências que, em conjunto com o desenho e uma ordem de fabricação, servirão como autorização e guia para o operador executar uma determinada peça.
- preparação da máquina, que é a atividade necessária para colocá-la em condições de produzir uma peça, ou um lote delas, partindo-se de um determinado estágio inicial, que constitui-se na máquina preparada para a produção de uma outra peça, ou não preparada para produzir peça alguma (PIRES, 1989). Inclui-se aqui, a retirada, a limpeza e colocação das ferramentas, e também a retirada, a limpeza, a colocação e centralização dos dispositivos de fixação na máquina;
- colocação da matéria prima disponível para a máquina em quantidade suficiente, na condição adequada, no momento necessário e no local correto;
- inspeção da qualidade da matéria prima, das etapas realizadas no processo e da peça pronta, no momento necessário;
- colocação e retirada (carga e descarga) da peça na máquina;
- manutenção adequada, etc..

Essas atividades são também necessárias à operação das máquinas-ferramenta CNC de usinagem e, por serem comuns às duas aplicações, elas podem ser classificadas como atividades de suporte gerais.

No entanto, sozinhas, essas atividades não são suficientes para colocar uma máquina-ferramenta CNC em operação. Para isso são necessárias atividades adicionais, que podem ser denominadas de atividades de suporte específicas à operação das máquinas-ferramenta CNC e que, para efeito deste trabalho, podem ser consideradas junto das tradicionais atividades de preparação de máquina. São elas:

- elaboração do programa CNC;
- transferência do programa CNC, e
- pré-ajustagem das ferramentas de corte.

São essas atividades que diferenciam as máquinas-ferramenta CNC das convencionais e lhes conferem muitas das vantagens sobre estas últimas.

Tanto as atividades de suporte específicas como as gerais, não agregam valor ao produto e, portanto, precisam ser prioritariamente otimizadas.

A partir da discussão sobre as atividades de suporte específicas à operação das máquinas-ferramenta CNC, apresentada no capítulo 2, verifica-se que existem várias técnicas disponíveis para sua execução. Dependendo da técnica selecionada para a execução de uma determinada atividade, obtém-se um tempo de ciclo correspondente, que pode variar entre um valor máximo e um mínimo.

Com base nesse fatos e nas observações feitas no capítulo 1 sobre a relação do tempo improdutivo com as atividades de suporte específicas à operação das máquinas-ferramenta CNC, verifica-se que é possível avaliar o índice de utilização deste tipo de máquina considerando-se a técnica selecionada para execução das atividades de suporte específicas. Esta avaliação está fundamentada na análise das técnicas utilizadas pelas empresas para executar as atividades de elaboração do programa CNC, transferência de programas e pré-ajustagem de ferramentas.

3.2 Índice de utilização dos equipamentos

Segundo AGOSTINHO (1998), o índice de utilização (I_{ul}) de uma máquina ou equipamento define o percentual de tempo realmente trabalhado em função do tempo disponível ou, em outras palavras, o percentual de tempo efetivamente disponível para o trabalho em função do tempo total disponível. É dado por:

$$I_{ul} = \frac{T_t}{T_d}$$

onde:

T_t - tempo efetivamente disponível para o trabalho;

T_d - tempo total disponível.

O tempo realmente trabalhado ou tempo efetivamente disponível para o trabalho (T_t) é dado pela diferença entre o tempo total disponível (T_d) e o tempo improdutivo (T_I), assim:

$$T_t = T_d - T_I,$$

portanto,

$$I_{ul} = \frac{T_d - T_I}{T_d}$$

considerando-se (r) máquinas em estudo, tem-se:

$$I_u = \frac{\sum_{i=1}^r T_{di} - \sum_{i=1}^r T_{Ii}}{\sum_{i=1}^r T_{di}}$$

ou

$$I_u = 1 - \frac{\sum_{i=1}^r T_{Ii}}{\sum_{i=1}^r T_{di}} \quad (1)$$

O tempo improdutivo (T_{Ii}) é aquele no qual a máquina (i) fica parada, sem produzir cavaco e, portanto, não agregando valor ao produto. O tempo improdutivo ocorre devido a uma série de fatores, a saber:

- máquina parada para manutenção;
- falta de ferramental;
- falta de matéria prima;
- falta de operador;
- preparação da máquina,
- etc..

Geralmente o índice de utilização é avaliado considerando-se os tempos improdutivos relativos ao conjunto de fatores geradores citados. Neste trabalho, propõe-se uma aplicação direcionada, onde o objetivo principal é avaliar o índice de utilização das máquinas-ferramenta CNC a partir das técnicas utilizadas para execução das atividades de suporte específicas. Torna-se então necessário isolar os demais fatores de influência e buscar a identificação e análise dos tempos improdutivos gerados nas atividades de elaboração do programa CNC, transferência do programa CNC e pré-ajustagem das ferramentas de corte. Apenas a título de classificação pode-se considerar estas atividades como parte da preparação da máquina. Serão avaliados os seguintes índices de utilização:

- I_{up} - índice de utilização de máquinas-ferramenta CNC em função da análise da técnica utilizada para executar a atividade elaboração do programa;
- I_{ut} - índice de utilização de máquinas-ferramenta CNC em função da análise da técnica utilizada para executar a atividade de transferência de programa, e
- I_{ur} - índice de utilização de máquinas-ferramenta CNC em função da análise da técnica utilizada para executar a atividade de pré-ajustagem de ferramentas.

Outra avaliação a ser feita é a verificação da representatividade do total de horas improdutivas, geradas pela utilização de técnicas inadequadas para execução das atividades de suporte específicas à operação das máquinas CNC, em relação ao total geral de horas disponíveis dos grupos de máquinas-ferramenta em estudo, existentes no parque industrial brasileiro.

3.2.1 Determinação do índice de utilização de máquinas-ferramenta CNC em função da técnica de elaboração do programa (I_{up})

Para a atividade de suporte **elaboração do programa CNC**, a análise é feita quando se usa a técnica **programação MDI**, discutida no item 2.6.1.4 do capítulo 2. Essa técnica foi selecionada para análise pelo fato dela ser executada na própria máquina e poder gerar horas improdutivas (máquina parada para execução da atividade). As outras técnicas são executadas fora da máquina e não geram horas improdutivas.

Da expressão (1), o índice de utilização é dado por:

$$I_{up} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^r T_{Ipi}}{\sum_{i=1}^r T_{dpi}} \quad (1a)$$

onde:

T_{Ipi} - tempo improdutivo decorrente da elaboração do programa CNC para uma máquina (i);

T_{dpi} - tempo total disponível de uma máquina (i);

r - quantidade de máquinas em estudo.

A seguir são deduzidas as expressões para determinação de $\sum_{i=1}^r T_{Ipi}$ e $\sum_{i=1}^r T_{dpi}$

- **Determinação do tempo improdutivo total, decorrente da elaboração do programa**

CNC para (r) máquinas - $I_p = \sum_{i=1}^r T_{Ipi}$

O tempo improdutivo (T_{Ipi}) é função do tempo adicional (T_{api}) gasto na atividade de elaboração de programa e do número de programas (N_{pi}) executados no período que está sendo analisado, isto é:

$$T_{Ipi} = N_{pi} \cdot T_{api}$$

O tempo adicional (T_{api}) é dado pela diferença entre o tempo gasto para elaboração de programa (T_{pi}) e o tempo mínimo (T_{mini}) em que ela poderia ser executada:

$$T_{api} = T_{pi} - T_{mini}$$

Neste caso, o tempo de referência mínimo (T_{mini}) é igual a zero, situação em que a máquina (i) está operando enquanto se executa a atividade elaboração do programa. Portanto, o tempo adicional é igual ao tempo gasto na elaboração do programa:

$$T_{api} = T_{pi}$$

assim:

$$T_{Ipi} = N_{pi} \cdot T_{pi}$$

Considerando-se o conjunto de (r) máquinas em estudo, tem-se:

$$I_p = \sum_{i=1}^r T_{Ipi} = \sum_{i=1}^r N_{pi} \cdot T_{pi}$$

Os tempos de elaboração de programas (T_{pi}) variam em função de uma série de características, conforme já discutido em 2.6.1. Para efeito de cálculo, neste trabalho, são necessárias as seguintes considerações:

- os tempos para elaboração de programas para peças prismáticas, usinadas em centros de usinagem, mandriladoras e fresadoras CNC, são diferentes dos tempos para elaboração de programas para peças rotacionais, usinadas em tornos (LYNCH, 1994). Para contemplar essas diferenças, que, geralmente, são significativas, deve-se distinguir os tempos de elaboração de programas para peças prismáticas (T_{ppi}) dos tempos de elaboração de programas para peças rotacionais (T_{pri});
- para permitir a aplicação prática do método, serão considerados valores médios para cada um dos tempos T_{ppi} e T_{pri} ;

Para o número de programas de peças prismáticas (N_{ppi}), e o número de programas de peças rotacionais (N_{pri}) elaborados no período em estudo, serão, também, adotados valores médios.

Considerando-se que do total de (r) máquinas, (s) máquinas executam peças rotacionais e (u) máquinas executam peças prismáticas, tem-se:

$$I_p = \sum_{i=1}^r T_{Ipi} = \sum_{j=1}^s N_{prj} \cdot T_{prj} + \sum_{k=1}^u N_{ppk} \cdot T_{ppk} \quad (2)$$

onde:

N_{prj} - número de programas de peças rotacionais executado numa máquina j, no período em estudo;

T_{prj} - tempo gasto na elaboração de um programa para peça rotacional, para uma máquina j;

N_{ppk} - número de programas de peças prismáticas executado numa máquina k, no período em estudo;

T_{ppk} - tempo gasto na elaboração de um programa para peça prismática, para um máquina k;

s - número de máquinas que executam peças rotacionais, e

u - número de máquinas que executam peças prismáticas.

$r = (s + u)$ - total de máquinas em estudo

A primeira parte do segundo termo da expressão (2) pode ser dada por:

$$\sum_{j=1}^s N_{prj} \cdot T_{prj} = N_{pr1} \cdot T_{pr1} + N_{pr2} \cdot T_{pr2} + \dots + N_{prs} \cdot T_{prs}$$

considerando,

$N_{pr1} = N_{pr2} = \dots = N_{prs} = N_{pr}$ = número médio de programas de peças rotacionais elaborados no período em estudo, e

$T_{pr1} = T_{pr2} = \dots = T_{prs} = T_{pr}$ = tempo médio gasto na elaboração de programas de peças rotacionais,

tem-se:

$$\sum_{j=1}^s N_{prj} \cdot T_{prj} = s \cdot N_{pr} \cdot T_{pr} \quad (2a)$$

A segunda parte do segundo termo da expressão (2) pode ser dada por:

$$\sum_{k=1}^u N_{ppk} \cdot T_{ppk} = N_{pp1} \cdot T_{pp1} + N_{pp2} \cdot T_{pp2} + \dots + N_{ppu} \cdot T_{ppu}$$

considerando,

$N_{pp1} = N_{pp2} = \dots = N_{ppu} = N_{pp}$ = número médio de programas de peças prismáticas elaborados no período em estudo, e

$T_{pp1} = T_{pp2} = \dots = T_{ppu} = T_{pp}$ = tempo médio gasto na elaboração de programas de peças prismáticas, tem-se:

$$\sum_{k=1}^u N_{ppk} \cdot T_{ppk} = u \cdot N_{pp} \cdot T_{pp} \quad (2b)$$

Substituindo-se (2 a) e (2 b) em (2), tem-se:

$$I_p = \sum_{i=1}^r T_{ipi} = s \cdot N_{pr} \cdot T_{pr} + u \cdot N_{pp} \cdot T_{pp} \quad (3)$$

- **Determinação do tempo total disponível para (r) máquinas - $\sum_{i=1}^r T_{dpi}$**

O tempo total disponível para as (r) máquinas em estudo, é dado pela soma dos tempos totais disponíveis de cada máquina (i) (T_{dpi}). Assim:

$$\sum_{i=1}^r T_{dpi} = T_{dp1} + T_{dp2} + \dots + T_{dpr}$$

considerando que o tempo total disponível é igual para cada uma das máquinas em estudo, ou seja,

$$T_{dp1} = T_{dp2} = \dots = T_{dpr} = T_{dp}$$

então,

$$\sum_{i=1}^r T_{dpi} = r \cdot T_{dp} = (s+u) \cdot T_{dp} \quad (4)$$

onde

$r = s + u$ - número de máquinas em estudo.

Portanto, o tempo total disponível é dado pelo produto entre o número de máquinas (r) em estudo (máquinas paradas para elaboração do programa) e o tempo total disponível de máquina, no período em estudo.

Substituindo-se (3) e (4) em (1 a), tem-se:

$$I_{up} = 1 - \frac{(s \cdot N_{pr} \cdot T_{pr} + u \cdot N_{pp} \cdot T_{pp})}{(s + u) \cdot T_{dp}} \quad (5)$$

3.2.2 Determinação do índice de utilização de máquinas-ferramenta CNC em função da técnica de transferência do programa CNC (I_{ut})

Para a atividade de suporte **transferência do programa**, a análise é feita quando se usa a técnica **transferência de dados via MDI**, discutida no tópico 2.6.2.3 do capítulo 2. Esta técnica foi selecionada para análise pelo fato dela ter que ser executada diretamente no teclado do painel da máquina, por ser a técnica que demanda mais tempo para sua execução e por poder gerar horas improdutivas (máquina parada para execução da atividade). Mesmo

que as outras técnicas exigissem que a máquina permanecesse parada para a sua execução, os tempos de transferência são muito pequenos, gerando baixo tempo improdutivo, tendendo a zero.

Da expressão (1), o índice de utilização é dado por:

$$I_{ut} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^z T_{Iti}}{\sum_{i=1}^z T_{dti}} \quad (1b)$$

onde:

T_{Iti} - tempo improdutivo decorrente da transferência do programa para uma máquina (i);

T_{dti} - tempo total disponível de uma máquina (i);

z – quantidade de máquinas em estudo

A seguir são deduzidas as expressões para determinação de $\sum_{i=1}^z T_{Iti}$ e $\sum_{i=1}^z T_{dti}$

- **Determinação do tempo improdutivo total, decorrente da transferência do**

programa para (z) máquinas - $I_t = \sum_{i=1}^z T_{Iti}$

O tempo improdutivo (T_{Iti}) é função do tempo adicional (T_{ati}) gasto na atividade de transferência de programa e do número de programas (N_{ti}) que estão sendo transferidos no período que está sendo estudado.

$$T_{Iti} = N_{ti} \cdot T_{ati}$$

O tempo adicional (T_{ati}) é dado pela diferença entre o tempo gasto para transferência do programa (T_{ti}) e o tempo mínimo (T_{mini}) em que ela poderia se executada. Assim:

$$T_{ati} = T_{ti} - T_{mini}$$

Neste caso o tempo de referência mínimo (T_{mini}) é igual ou próximo de zero, situação em que a máquina está operando enquanto se executa a atividade de transferência do programa. Portanto, o tempo adicional é igual ao tempo de transferência do programa:

$$T_{ati} = T_{ti}$$

assim:

$$T_{lfi} = N_{ti} \cdot T_{ti}$$

considerando-se o conjunto de (z) máquinas em estudo, tem-se:

$$I_t = \sum_{i=1}^z T_{lfi} = \sum_{i=1}^z N_{ti} \cdot T_{ti} \quad (6)$$

Os tempos de transferência de programa variam principalmente em função do tamanho do programa. Neste trabalho, propõe-se, para efeito de cálculo, utilizar valores médios gastos na transferência de programas via MDI. Com relação à quantidade de programas transferidos no período em estudo, sugere-se, também, a adoção de um valor médio. Assim,

$$I_t = \sum_{i=1}^z T_{lfi} = N_{t1} \cdot T_{t1} + N_{t2} \cdot T_{t2} + \dots + N_{tz} \cdot T_{tz}$$

considerando que

$T_{t1} = T_{t2} = \dots = T_{tz} = T_t =$ tempo médio gasto na transferência do programa, e

$N_{t1} = N_{t2} = \dots = N_{tz} = N_t =$ número médio de programas transferidos no período em estudo,

então:

$$I_t = \sum_{i=1}^z T_{lti} = z \cdot N_t \cdot T_i \quad (7)$$

onde:

z - número de máquinas em estudo ou máquinas paradas para transferência de programas.

- **Determinação do tempo total disponível para as (z) máquinas - $\sum_{i=1}^z T_{dti}$**

O tempo total disponível para as z máquinas em estudo, é dado pela soma dos tempos totais disponíveis (T_{dti}) de cada máquina. Assim:

$$\sum_{i=1}^z T_{dti} = T_{dt1} + T_{dt2} + \dots + T_{dtz}$$

considerando que o tempo total disponível é igual para cada uma das máquinas em estudo, ou seja,

$$T_{dt1} = T_{dt2} = \dots = T_{dtz} = T_{dt}$$

então,

$$\sum_{i=1}^z T_{dti} = z \cdot T_{dt} \quad (8)$$

onde:

z - número de máquinas em estudo

Portanto, o tempo total disponível é dado pelo produto entre o número de máquinas (z) em estudo (máquinas paradas para transferência do programa), e o tempo total disponível (T_{dt}) de cada máquina, no período em estudo.

Substituindo-se (7) e (8) em (1 b) tem-se:

$$I_{uf} = 1 - \frac{z \cdot N_t \cdot T_t}{z \cdot T_{dt}}$$

ou

$$I_{uf} = 1 - \frac{N_t \cdot T_t}{T_{dt}} \quad (9)$$

3.2.3 Determinação do índice de utilização de máquinas-ferramenta CNC em função da técnica de pré-ajustagem de ferramentas (I_{uf})

Para a atividade de suporte **pré-ajustagem de ferramentas**, a análise é feita na situação em que a atividade é executada na máquina com **usinagem experimental**, medição da peça e correção dos dados da ferramenta. Durante a execução dessa operação a máquina não está produzindo cavaco. A técnica utilizada como referência para análise é a execução dessa atividade com apoio de um aparelho de pré-ajustagem de ferramenta (*presetter*). Nexta condição parte do tempo de preparação é transformado em preparação externa, aumentando a disponibilidade de máquina para operação.

Da expressão (1), o índice de utilização é dado por:

$$I_{uf} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^y T_{ifi}}{\sum_{i=1}^y T_{difi}} \quad (1 c)$$

onde:

T_{ifi} - tempo improdutivo decorrente da pré-ajustagem de ferramenta para uma máquina (i);

T_{difi} - tempo total disponível de uma máquina (i);

y – quantidade de máquinas em estudo.

- **Determinação do tempo improdutivo total, decorrente da pré-ajustagem de**

$$\text{ferramenta para (y) máquinas} - I_f = \sum_{i=1}^y T_{Ifi}$$

O tempo improdutivo (T_{Ifi}) é função do tempo adicional gasto na atividade de pré-ajustagem de uma ferramenta (T_{afi}) quando não se utiliza aparelho de pré-ajustagem, do número de preparações (N_{pafi}) executadas no período em estudo, e do número de ferramentas (N_{fi}) necessárias em cada preparação (para usinar a peça). O tempo adicional (T_{afi}) é obtido a partir de estudos de tempos nos quais se comparam os tempos gastos na atividade de pré-ajustagem de ferramentas utilizando-se a técnica da usinagem experimental, com os tempos gastos utilizando-se aparelho de pré-ajustagem de ferramentas. Para efeito de cálculo, sugere-se utilizar os resultados dos estudos de tempo fornecidos pelos fabricantes de aparelhos de pré-ajustagem de ferramentas, para diversos tipos de máquina. O cálculo de T_{Ifi} é dado por:

$$T_{Ifi} = T_{afi} \cdot N_{pafi} \cdot N_{fi} ,$$

então:

$$I_f = \sum_{i=1}^y T_{Ifi} = \sum_{i=1}^y T_{afi} \cdot N_{pafi} \cdot N_{fi}$$

O tempo adicional (T_{afi}) gasto na atividade de pré-ajustagem de uma ferramenta é função das características específicas de cada máquina e, portanto, varia de um tipo de máquina para outro. O número de preparações (N_{pafi}) executadas no período em estudo varia em função do *mix* e cadência de produção de cada tipo de máquina, e o número de ferramentas (N_{fi}) necessárias em cada preparação (para executar a peça) varia em função do tipo de peça e do tipo de máquina.

Desta forma o tempo improdutivo deve ser expresso em função dos grupos de máquinas em estudo. Considerando-se (n) grupos de máquinas constituídos de r, v, ..., w máquinas, tem-se:

$$I_f = \sum_{i=1}^y T_{ifi} = \sum_{j=1}^r T_{af1j} \cdot N_{paf1j} \cdot N_{f1j} + \sum_{k=1}^v T_{af2k} \cdot N_{paf2k} \cdot N_{f2k} + \dots + \sum_{l=1}^w T_{afnl} \cdot N_{pafnl} \cdot N_{fnl}$$

onde:

$\sum_{j=1}^r T_{af1j} \cdot N_{paf1j} \cdot N_{f1j}$ refere-se ao tempo improdutivo das r máquinas do grupo 1;

$\sum_{k=1}^v T_{af2k} \cdot N_{paf2k} \cdot N_{f2k}$ refere-se ao tempo improdutivo das v máquinas do grupo 2,

$\sum_{l=1}^w T_{afnl} \cdot N_{pafnl} \cdot N_{fnl}$ refere-se ao tempo improdutivo das w máquinas do grupo n,

Considerando que para cada grupo de máquina os tempos adicionais são iguais, tem-se:

$$T_{af11} = T_{af12} = \dots = T_{af1r} = T_{af1}$$

$$T_{af21} = T_{af22} = \dots = T_{af2v} = T_{af2}$$

.....

$$T_{afn1} = T_{afn2} = \dots = T_{afnw}$$

e considerando ainda, para efeito de cálculo, um número médio de preparações (N_{par}) no período em estudo e um número médio de ferramentas (N_f) por preparação para cada grupo de máquina tem-se:

$$N_{paf11} = N_{paf12} = \dots = N_{paf1r} = N_{paf1}$$

$$N_{paf21} = N_{paf22} = \dots = N_{paf2v} = N_{paf2}$$

.....

$$N_{pafn1} = N_{pafn2} = \dots = N_{pafnw} = N_{pafn}$$

e

$$N_{f11} = N_{f12} = \dots = N_{f1r} = N_{f1},$$

$$N_{f21} = N_{f22} = \dots = N_{f2v} = N_{f2}$$

.....

$$N_{fn1} = N_{fn2} = \dots = N_{fnw} = N_{fn}$$

então,

$$I_f = \sum_{i=1}^y T_{ifi} = r.(T_{af1}.N_{paf1}.N_{f1}) + v.(T_{af2}.N_{paf2}.N_{f2}) + \dots + w.(T_{afn}.N_{pafn}.N_{fn}) \quad (10)$$

onde:

$y = (r + v \dots + w)$ é o número total de máquinas em estudo.

- **Determinação do tempo total disponível para (y) máquinas - $\sum_{i=1}^y T_{dfi}$**

O tempo total disponível é dado pela soma dos tempos totais disponíveis de cada grupo de máquina no período em estudo. considerando-se (n) grupos de máquinas constituídos de r, v, ..., w máquinas, tem-se:

$$\sum_{i=1}^y T_{dfi} = \sum_{j=1}^r T_{df1j} + \sum_{k=1}^v T_{df2k} + \dots + \sum_{l=1}^w T_{dfnl}$$

Considerando que o tempo total disponível é o mesmo para todas as máquina, ou seja:

$$T_{df11} = T_{df12} = \dots = T_{df1r} = T_{df1}$$

$$T_{df21} = T_{df22} = \dots = T_{df2v} = T_{df2}$$

.....

$$T_{dfn1} = T_{dfn2} = \dots = T_{dfnw} = T_{dfn}$$

$$T_{df1} = T_{df2} = \dots = T_{dfn} = T_{df}$$

tem-se que

$$\sum_{i=1}^y T_{dfi} = r.T_{df1} + v.T_{df2} + \dots + w.T_{dfn}$$

ou

$$\sum_{i=1}^y T_{dfi} = (r + v + \dots + w).T_{df} \quad (11)$$

onde:

r, v, ..., w - são as quantidades de máquina de cada grupo em estudo.

Substituindo-se (10) e (11) em (1 c), tem-se:

$$I_{uf} = 1 - \frac{[(r.T_{af1}.N_{paf1}.N_{f1}) + (v.T_{af2}.N_{paf2}.N_{f2}) + \dots + (w.T_{afn}.N_{pafn}.N_{fn})]}{(r + v + \dots + w) T_{df}} \quad (12)$$

3.2.4 Relação entre o tempo improdutivo e o tempo total disponível dos grupos de máquina em estudo – R_I

Além dos índices de utilização das máquinas-ferramenta CNC, uma outra maneira de se medir o reflexo do uso de técnicas inadequadas para execução das atividades de suporte, é a análise das horas improdutivas em função das horas totais disponíveis. Nesta avaliação são consideradas as horas improdutivas, geradas pela utilização de técnicas inadequadas para execução das atividades de suporte específicas à operação de máquinas-ferramenta CNC, em relação ao total geral de horas disponíveis dos grupos de máquinas-ferramenta em estudo existentes no parque industrial brasileiro.

O objetivo aqui é avaliar quanto representa o total de horas improdutivas sobre o total de horas disponíveis. Este índice é dado pela relação:

$$R_I = \frac{\sum_{i=1}^a T_{ii}}{\sum_{i=1}^a T_{dfi}} \quad (13)$$

onde

$\sum_{i=1}^q T_{li}$ = soma dos tempos improdutivos, decorrentes da utilização de técnicas inadequadas

para executar as atividades de:

- elaboração do programa CNC para (r) máquinas;
- transferência do programa para (z) máquinas;
- pré-ajustagem de ferramentas para (y) máquinas;

$q = (r + z + y)$ máquinas.

então,

$$\sum_{i=1}^q T_{li} = I_p + I_t + I_f,$$

onde:

I_p = tempo improdutivo decorrente da elaboração do programa CNC para (r) máquinas, dado pela expressão (3), discutida em 3.1.1.1.

$$I_p = \sum_{i=1}^r T_{lpi} = s.N_{pr}.T_{pr} + u.N_{pp}.T_{pp}$$

I_t = tempo improdutivo decorrente da transferência do programa para (z) máquinas, dado pela expressão (7), discutida em 3.1.1.2.

$$I_t = \sum_{i=1}^z T_{lti} = z.N_t.T_i$$

I_f = tempo improdutivo decorrente da pré-ajustagem de ferramentas para (y) máquinas, dado pela expressão (10), discutida em 3.1.1.3.

$$I_f = \sum_{i=1}^y T_{lfi} = r.(T_{af1}.N_{paf1}.N_{f1}) + v.(T_{af2}.N_{paf2}.N_{f2}) + \dots + w.(T_{afn}.N_{pafn}.N_{fn})$$

e

$\sum_{i=1}^a T_{di}$ = tempo total disponível das (a) máquinas dos (n) grupos em estudo, e é dado por

$$\sum_{i=1}^a T_{di} = \sum_{j=1}^m T_{d1j} + \sum_{k=1}^o T_{d2k} + \dots + \sum_{l=1}^p T_{dnl}$$

onde:

$\sum_{j=1}^m T_{d1j} = m \cdot T_{d1}$ - total de horas disponíveis para o conjunto das (m) máquinas do grupo

1, no período em estudo;

$\sum_{k=1}^o T_{d2k} = o \cdot T_{d2}$ - total de horas disponíveis para o conjunto das (o) máquinas do grupo 2,

no período em estudo;

.....
 $\sum_{l=1}^p T_{dnl} = p \cdot T_{dn}$ - total de horas disponíveis para o conjunto das (p) máquinas do grupo n,

no período em estudo.

Considerando-se que o tempo total disponível é igual para todas as máquinas, ou seja,

$$T_{d1} = T_{d2} = \dots = T_{dn} = T_d,$$

então,

$$\sum_{i=1}^a T_{di} = T_d \cdot (m + o + \dots + p)$$

Portanto,

$$R_1 = \frac{I_p + I_t + I_f}{T_d (m + o + \dots + p)} \quad (14)$$

A partir das expressões deduzidas neste capítulo, serão determinados os índices de utilização de máquinas ferramenta CNC, em relação às atividades de elaboração do programa (I_{up}), transferência do programa (I_{ut}) e pré-ajustagem de ferramentas (I_{uf}) e, também, a relação entre o tempo improdutivo e o tempo total disponível (R_t) dos grupos de máquinas em estudo, objetivos principais deste trabalho.

3.2.5 Principais expressões matemáticas e dados necessários

Para facilitar o desenvolvimento e entendimento do trabalho são relacionadas, a seguir, as principais expressões a serem utilizadas, com os dados de campo no capítulo 4:

- índice de utilização de máquinas-ferramenta CNC em função da técnica utilizada para elaboração do programa

$$I_{up} = 1 - \frac{(s \cdot N_{pr} \cdot T_{pr} + u \cdot N_{pp} \cdot T_{pp})}{(s + u) \cdot T_{dp}} \quad (5)$$

- índice de utilização de máquinas-ferramenta CNC em função da técnica utilizada para transferência de programa

$$I_{ut} = 1 - \frac{N_t \cdot T_t}{T_{dt}} \quad (9)$$

- índice de utilização de máquinas-ferramenta CNC em função da técnica utilizada para pré-ajustagem de ferramenta

$$I_{uf} = 1 - \frac{[(r \cdot T_{af1} \cdot N_{paf1} \cdot N_{f1}) + (v \cdot T_{af2} \cdot N_{paf2} \cdot N_{f2}) + \dots + (w \cdot T_{afn} \cdot N_{pafn} \cdot N_{fn})]}{(r + v + \dots + w) T_{df}} \quad (12)$$

- relação entre o tempo improdutivo e o tempo total disponível dos grupos de máquina em estudo

$$R_I = \frac{I_p + I_t + I_f}{T_d (m + o + \dots + p)} \quad (14)$$

Para a avaliação proposta, é necessária a obtenção dos seguintes dados, coletados através de pesquisa de campo:

1. quantidade de máquinas paradas durante a elaboração do programa via MDI – (r);
2. tempo médio gasto na atividade de elaboração do programa CNC: para peças rotacionais (T_{pr}) e para peças prismáticas (T_{pp});
3. quantidade de máquinas paradas durante a execução da atividade transferência do programa – (z);
4. quantidade de máquinas não apoiadas por aparelho de pré-ajustagem de ferramentas – (y);
5. quantidade média de ferramentas necessárias para usinar uma peça padrão –(N_f), e
6. quantidade média de preparações executadas no período em análise – (N_{paf}).

Capítulo 4

Aplicação da Metodologia

O capítulo 3 apresentou a metodologia proposta para avaliação do índice de utilização das máquinas-ferramenta do parque industrial brasileiro, a partir da análise das técnicas de programação, transferência de programas e pré-ajustagem de ferramentas. Apresentou também a metodologia proposta para avaliação do tempo improdutivo gerado pela utilização de técnicas inadequadas, em relação ao total geral de horas disponíveis dos grupos de máquinas-ferramenta em estudo.

Este capítulo apresenta as principais etapas necessárias à realização da pesquisa de campo, bem como os principais dados levantados na pesquisa, acompanhados das análises necessárias. Mostra também a aplicação do método para avaliação do índice de utilização das máquinas-ferramenta CNC e determinação da relação entre o tempo improdutivo e o tempo total disponível dos grupos de máquinas-ferramenta em estudo.

4.1 Abordagem metodológica da pesquisa de campo

4.1.1 Considerações iniciais

As pesquisas conduzidas através de dados coletados por questionários estão entre as mais comuns e freqüentemente utilizadas atualmente. Podem ter várias aplicações que envolvem desde pesquisas de análises mercadológicas e de opinião até previsões e análise de tendências futuras. O questionário pode ser definido como um instrumento de coleta de

dados constituído por uma série ordenada de perguntas que devem ser respondidas por escrito, e sem a presença do entrevistador (MARCONI & LACATOS, 1990).

TROCHIM (1998), classifica as pesquisas conduzidas por questionários em três tipos: via correio, por grupo administrado e em mão do entrevistado, apresentando cada uma delas suas facilidades, conveniências e restrições, dependendo da abordagem e abrangência que se pretenda dar à pesquisa.

A pesquisa por questionário, via correio, tem como principais vantagens a grande abrangência que se pode conseguir, em termos de número de pessoas e de áreas geográficas, além da maior privacidade do entrevistado para responder as questões. Como principais desvantagens, pode-se citar a impossibilidade de auxílio ao respondente no caso de dúvidas e dificuldades de compreensão do conteúdo e o baixo índice de respostas (MARCONI & LAKATOS, 1990).

Considerando que o objetivo deste trabalho é avaliar o grau de utilização das máquinas-ferramenta CNC de usinagem na indústria brasileira, a pesquisa por questionário apresenta-se como a mais adequada.

Segundo DILLMAN (1978), para se ter sucesso na obtenção das respostas necessárias neste tipo de pesquisa é importante que exista uma relação de confiança entre o respondente e o pesquisador. Um pesquisador desconhecido que se apresente só pelo seu nome aos respondentes potenciais parece gerar muito menos confiança do que um que possa ser identificado com uma organização estabelecida, conhecida, especialmente se essa organização simboliza legitimidade. Além disso, a instituição de prêmios e outros tipos de incentivo é um recurso eficaz e muito utilizado para estimular os respondentes a preencher questionários de pesquisa via correio corretamente e devolvê-los no prazo solicitado, aumentando a possibilidade de se ter um maior índice de respostas.

Para realização dessa pesquisa foram definidos os seguintes passos:

- seleção do público a ser abordado;

- elaboração do questionário;
- trabalho de campo com a aplicação do questionário para coleta de dados;

A seguir são comentados, em linhas gerais, cada um destes passos.



4.1.2 Seleção do público a ser abordado

O público inicialmente selecionado para esta pesquisa era formado pelas empresas usuárias de máquinas-ferramenta CNC no Brasil.

Face a grande abrangência do termo **máquinas-ferramenta CNC**, e a necessidade de dar foco e delimitar o escopo do trabalho, foi selecionado dentro desse grupo, o sub-grupo de empresas usuárias de **máquinas-ferramenta CNC de usinagem**. Essa decisão se baseou principalmente no fato de que as máquinas-ferramenta CNC de usinagem representam a maior grupo dentre o total de máquinas-ferramenta existentes. Segundo o XIV Inventário de máquinas-ferramenta dos Estados Unidos, cerca de 88,5% das máquinas são de usinagem, distribuídas entre tornos, centros de usinagem, fresadoras, retificadoras, mandriladoras, furadeiras e cortadeiras de engrenagens, e o restante são máquinas de corte e conformação, como puncionadeiras, prensas, dobradeiras, máquinas de corte a laser etc. (JABLONOWSKI, 1989).

Para tornar a pesquisa técnica e economicamente exequível, em função da ainda enorme variedade de tipos de máquinas existentes dentro do subgrupo acima, foi feita uma classificação ABC (GAITHER, 2001), ainda tomando-se por base os tipos de máquinas CNC relacionados no XIV inventário de máquinas-ferramenta realizado nos Estados Unidos. O objetivo era definir os grupos de máquinas-ferramenta CNC mais representativos para, em função disso, estabelecer os limites de abrangência da pesquisa.

O resultado dessa classificação, que pode ser analisado com detalhes na Tabela 4.1, indicou que os itens classificados como A são formados pelos grupos de máquinas tornos CNC, centros de usinagem e fresadoras CNC representando 72,5 % do total de máquinas.

Um outro grupo de máquinas que apresenta sinergia operacional com os centros de usinagem e fresadoras, é o grupo das mandriladoras. É o quinto grupo de máquinas-ferramenta CNC mais representativo dentro desse universo de análise e a sua incorporação dentro dos grupos de máquinas-ferramenta que compõem os itens classificados como A só estaria ampliando a abrangência do estudo, não trazendo quaisquer dificuldades de ordem técnica, econômica ou operacional. Assim procedendo, o objeto de análise, formado agora pelos quatro grupos de máquinas ferramenta passa a representar 77,5 % do total de máquinas.

Tabela 4.1: Classificação ABC dos grupos de máquinas ferramenta CNC de acordo com o XIV inventário norte americano de máquinas-ferramenta (JABLONOWSKI, 1989).

Grupo Máquina	Quantidade	%	% acumulada	Classificação
1 Tornos CNC	74.077	34,5	34,5	A
2 Centros e Usinagem	53.585	24,9	59,4	A
3 Fresadoras CNC	28.260	13,1	72,5	A
4. Retificadoras CNC	12.747	5,9	78,4	B
5 Mandriladoras CNC	10.688	5,0	83,4	B
6 Furadeiras CNC	10.383	4,8	88,2	B
7. Puncionadeiras CNC	9.830	4,6	92,8	B
8 Prensas Viradeiras CNC	7.195	3,3	96,1	C
9 Corte a Laser/Térmico CNC	4.467	2,1	98,2	C
10 Outros CNC – corte	2.061	1,0	99,2	C
11 Outros CNC – conformação	863	0,4	99,6	C
12. Corte de Engrenagens	804	0,4	100,0	C
Total Geral	214.960	100,0		

Outra análise que reforça esta orientação está baseada numa pesquisa realizada entre 245 empresas usuárias de máquinas CNC nos Estados Unidos, na qual GETTELMAN (1992) constata que os centros de usinagem, tornos CNC, fresadoras CNC, mandriladoras CNC e centros de furação e roscamento representam cerca de 80 % de todas as máquinas instaladas naquele país.

Ainda dentro do grupo de empresas usuárias de máquinas-ferramenta CNC, foi feita a classificação segundo o ramo de atividade com base no critério adotado por Máquinas e Metais para elaboração do inventário brasileiro de máquinas-ferramenta. Este critério tem como base o agrupamento de empresas que possuem atividades similares, estratificadas de acordo com os seguintes ramos de atividade:

- Prestadores de serviços de usinagem;
- Ferramentarias, matrizarias e modelações;
- Indústria automobilística (montadoras e autopeças)
- Fabricantes de máquinas em geral;
- Fabricantes de implementos agrícolas;
- Fabricantes de materiais elétricos, eletrônicos e eletro-eletrônicos;
- Forjarias, fundições e siderúrgicas;
- Fabricantes de equipamentos hidráulicos, pneumáticos, bombas e válvulas;
- Fabricantes de ferramentas de corte, acessórios e componentes para máquinas-ferramenta;
- Fabricantes de equipamentos e sistemas de movimentação e transporte;
- Outros ramos de atividade (estes englobam os fabricantes de materiais cirúrgicos, odonto-médico-hospitalares, ortopédicos, fabricantes de equipamentos para esporte e ginástica, fabricantes de equipamentos de segurança, indústria bélica, fabricantes de elevadores, etc..

4.1.3 Elaboração do questionário

Grande parte do valor de uma pesquisa depende da eficiência do questionário compilado para a coleta de informações e, portanto, sua preparação deve ser feita com

bastante critério. As perguntas devem ser claras e delimitadas, evitando qualquer dúvida ou ambigüidade pois, conforme for formulada a pergunta, os resultados poderão ser os mais diversos (TAGLIACARNE, 1989).

De acordo com CERVO & BERVIAN (1978), o questionário deve conter um conjunto de perguntas que estão logicamente relacionadas com o tema central, ou seja, o objeto da pesquisa. Uma das justificativas que tem motivado a sua ampla utilização, como instrumento de coleta de dados, é o fato de possibilitar medir com exatidão as variáveis de interesse, além de ser um meio de obter respostas às questões por escrito, isto é, documentadas pelo próprio informante, sem intermediários.

Para maior consistência das respostas, ao se preparar o questionário deve-se levar em consideração a finalidade da pesquisa, a organização das questões, de forma que seja facilitada a obtenção das respostas necessárias e a definição de sua extensão e escopo. Outra preocupação, nessa etapa, deve ser a criação de questões controladoras, que são apresentadas no questionário para garantia das informações sobre os respondentes, isto é, devem ser criadas questões que repetem as anteriores com o intuito de abordar o mesmo assunto sob ângulo diferente (OLIVEIRA, 1998).

TROCHIM (1998) recomenda elaborar o questionário o menos extenso possível, incluindo o que é absolutamente necessário para a pesquisa e TAGLIACARNE (1989) sugere que o questionário seja testado em campo antes de ser finalizado, sendo submetido a um grupo de empresas de áreas diferentes.

Para a realização da pesquisa, foi elaborado um questionário que permitisse obter as informações necessárias para avaliação do grau de utilização das máquinas-ferramenta de usinagem na indústria brasileira, conforme o objetivo proposto para o trabalho.

O questionário é composto de quatro partes:

- Parte 1 – refere-se aos dados gerais para identificação da empresa: razão social, endereço, produto/serviço fornecido, área de atuação, porte, identificação do responsável pelo preenchimento, etc.;
- Parte 2 - refere-se à questões que envolvem os investimentos em máquinas-ferramenta realizados pela empresa nos doze últimos meses antes do preenchimento do questionário e nos doze meses subsequentes.
- Parte 3 - refere-se à questões relacionadas especificamente com a tecnologia CNC, ou seja, com o objetivo central deste trabalho. Nesta parte foram colocadas as questões que permitissem verificar quais eram as técnicas adotadas pelas empresas para executar as atividades de elaboração do programa CNC, transferência dos programas para a máquina e pré-ajustagem das ferramentas de corte. Foram colocadas, também, questões que permitissem estimar o tempo gasto na atividade de programação, o número médio de preparações executadas e o número médio de ferramentas por peça.
- Parte 4 - esta parte consta de dois formulários. No primeiro deles, são relacionadas as quantidades e idade média de todas as máquinas-ferramenta da empresa, convencionais e CNC, de usinagem, corte e conformação. No segundo, são relacionadas somente as máquinas-ferramenta CNC, uma a uma, com informações sobre marca, modelo, país de origem, etc.. Este segundo formulário tem dois propósitos: um é dispor de informações mais detalhadas sobre as máquinas-ferramenta CNC, e o outro é servir como controle para questões e formulários anteriores.

No anexo 1 são apresentados os detalhes do questionário.

4.1.4 Trabalho de campo com aplicação do questionário, processamento dos dados e estruturação e ordenação das respostas

A fim de que se pudesse conseguir a maior abrangência possível em termos de número de empresas a serem pesquisadas e em nível nacional, as questões relacionadas ao tema deste trabalho foram inseridas na pesquisa sobre o III Inventário de Máquinas-ferramenta no Brasil, realizado pela Revista Máquinas e Metais entre setembro e dezembro de 1997.

Em setembro de 1997 foram enviados, via correio, 25.741 questionários, número este composto pelas listas de nomes e endereços cadastrados em cinco empresas relacionadas à área de máquinas-ferramenta: a Aranda Editora, proprietária do título Máquinas e Metais, um fabricante de máquinas-ferramenta e três fabricantes de ferramentas de corte. Máquinas e Metais forneceu os questionários para cada uma destas empresas que procederam, individualmente, o endereçamento e postagem dos mesmos. Por questões de ordem confidencial e comercial, as listas não puderam ser cruzadas a fim de se determinar, de antemão, o tamanho real do universo de pesquisa. Portanto, algumas empresas receberam até cinco questionários. Do total enviado, foram respondidos cerca de 1.000 questionários. Numa primeira análise foram selecionados 754 questionários que estavam preenchidos corretamente e foram considerados como base útil para a pesquisa sobre o inventário de máquinas-ferramenta. Alguns questionários não apresentavam consistência nas respostas, outros eram repetidos, etc..

Numa outra análise, agora já com critérios específicos para a realização deste trabalho, apurou-se que, dentre as 754 empresas que responderam os questionários corretamente, 446 possuíam máquinas-ferramenta CNC. Dentre eles, 411 foram selecionados e considerados como base útil para o desenvolvimento deste trabalho: 18 empresas não possuíam máquinas-ferramenta de usinagem e outras 17 não responderam as questões relativas à tecnologia CNC, embora tenham fornecido os dados corretos para efeito do inventário.

Entre setembro e dezembro de 1999, foi realizado o IV Inventário de Máquinas-Ferramenta. Foram enviados 8.337 questionários para as empresas cadastradas por Máquinas e Metais, e foram respondidos 832 questionários. Por questões técnicas e econômicas, o questionário de 1999 foi simplificado, ficando apenas com as duas primeiras partes. Os questionários respondidos em 1999 foram confrontados com aqueles de 1997 e, nos casos de duplicidade, prevaleceu a posição de 1999. Optou-se por atualizar as informações detalhadas sobre a tecnologia CNC, somente para as 411 empresas que responderam o questionário completo em 1997. Uma operação de telemarketing atualizou os questionários respondidos em 1997 e não respondidos em 1999, e atualizou os dados relativos aos 411 questionários das empresas que possuíam máquinas-ferramenta CNC.

Para efeito do inventário, foram apurados 1.171 questionários preenchidos corretamente e considerados como base útil.

Os questionários foram agrupados por ramo de atividade das empresas e, a partir daí, foram compiladas todas as respostas de interesse da pesquisa, constantes na parte 3 do questionário. Estas foram estruturadas e ordenadas em planilhas apropriadas e de acordo com as necessidades específicas dos objetivos deste trabalho.

4.2 Apresentação e discussão dos resultados

4.2.1 Dados gerais

A seguir são apresentados os dados gerais coletados com o objetivo de caracterizar o universo de pesquisa bem como fornecer uma visão geral do parque industrial brasileiro, com relação à quantidade de empresas usuárias de máquinas-ferramenta CNC e convencionais, quantidade e tipos de máquinas-ferramenta instaladas, idade média das máquinas, etc.. Apresenta-se também os dados gerais sobre a amostragem da pesquisa, como o perfil dos respondentes, a quantidade, o ramo de atividade e o porte das empresas, e quantidades e tipos das máquinas-ferramenta CNC.

4.2.1.1 O parque industrial brasileiro

A tabela 4.2 mostra os resultados gerais do IV inventário de máquinas-ferramenta realizado entre os meses de setembro e dezembro de 1999. Observa-se, a partir dos dados constantes nessa tabela, que em 1999 a quantidade de máquinas-ferramenta CNC responde por 11 % do total de máquinas-ferramenta instaladas no parque industrial brasileiro.

A tabela 4.3 mostra, também como resultado do IV inventário de máquinas-ferramenta, os tipos, quantidades e idade média das máquinas instaladas no parque industrial.

Tabela 4.2 Resultados gerais do IV inventário brasileiro de máquinas-ferramenta (GONÇALVES, 1999).

Total de empresas	6.376
Empresas que possuem máquinas CNC e convencionais	3.433
Empresas que possuem só máquinas convencionais	2.943
Total geral de máquinas ferramenta	188.856
Total de máquinas convencionais	168.432
Total de máquinas CNC	20.424

A partir dos dados da tabela 4.3 observa-se que os grupos de máquinas **tornos CNC, centros de usinagem, fresadoras CNC e mandriladoras CNC**, representam 78,5 % do total de máquinas-ferramenta CNC instaladas no Brasil. Essa observação confirma a validade do critério adotado na metodologia de pesquisa para seleção dos grupos de máquinas-ferramenta mais representativos para estudo.

A tabela 4.4 mostra a distribuição das máquinas-ferramenta instaladas no parque industrial brasileiro, por faixa de idade. Observa-se a partir dessa tabela, que 51,2 % das máquinas-ferramenta instaladas têm mais de 10 anos de idade.

Tabela 4.3: Tipos e quantidades de máquinas-ferramenta instaladas no parque industrial brasileiro (GONÇALVES, 1999).

Tipo de Máquina	Quantidade			Idade Média das Máquinas (em anos)			
	Geral	Conven- cional	CNC	0 a 4	5 a 9	10 a 19	Acima de 20
Afiadoras	5.403	5287	116	938	1.673	2.092	700
Brochadeiras	1.040	1.012	28	178	249	439	174
Calandras	2.374	2.365	9	418	771	990	195
Centros de Usinagem	5.978		5.978	3.963	1.425	576	14
Chaveteiras	1.201	1.182	19	174	332	511	184
Corte de Chapas	947	765	182	635	203	98	11
Corte de engrenagens	2.416	2.263	153	120	482	1.081	733
Dobradeiras	1.756	1.654	102	656	654	378	68
Eletroerosão	3.859	2.522	1.337	1.534	1.564	690	71
Fresadoras	20.813	19.438	1.375	3.513	7.727	7.169	2.404
Furadeiras	10.692	10.585	107	1.596	3.613	4.048	1.435
Gravadoras	702	651	51	211	273	158	60
Guilhotinas	3.592	3.513	79	595	1.142	1.405	450
Mandriladoras	2.581	2.302	279	238	602	1.295	446
Máquinas para serrar	10.001	9.903	98	2.488	3.708	3.190	615
Plainas	7.206	7.206		389	1.751	3.524	1.542
Prensas	22.201	22.020	181	3.279	8.009	8.370	2.543
Prensas viradeira	1.807	1.668	139	438	594	579	196
Puncionadeiras	707	517	190	187	283	175	62
Retificadoras	14.231	13.056	1.175	2.795	4.327	5.265	1.844
Rosqueadeiras	5.347	5.333	14	1.263	2.108	1.599	377
Tornos	62.018	53.610	8.408	8.494	17.277	18.904	17.343
Transfer	810	541	269	311	254	220	25
Total	188.856	168.432	20.424	34.644	59.413	63.263	31.536

Tabela 4.4: Distribuição das máquinas-ferramenta instaladas no parque industrial brasileiro por faixas de idade.

Idade	Quantidade	%
0 a 4 anos	34.644	18,3
5 a 9 anos	59.413	31,5
10 a 19 anos	63.263	33,5
acima de 20 anos	31.536	16,7

4.2.1.2 Perfil dos respondentes

A tabela 4.5 apresenta o nível hierárquico dos respondentes. A partir dela observa-se que os questionários foram preenchidos pelo pessoal mais ativamente envolvido com as áreas de produção, processos, manufatura, industrial, etc., distribuídos pelos vários níveis hierárquicos da organização. Geralmente, este pessoal também está envolvido ou é diretamente responsável pela implementação e gestão de novas tecnologias de chão de fábrica, dentre elas a tecnologia CNC, o que pode indicar uma maior consistência nas respostas.

Observa-se também que 65 % dos respondentes são formados por gerentes e diretores de empresas. Isso pode ser entendido como um indicador de que a seleção, implementação e gestão das tecnologias avançadas de manufatura são aspectos que vem ganhando importância cada vez maior dentro do rol de responsabilidades dos dirigentes, em todos os tipos de organização (SCHRODER et al, 1999).

Tabela 4.5: Nível hierárquico dos respondentes.

Nível Hierárquico	Quantidade	%
Diretores (Produção, Industrial, Manufatura, Técnico)	181	44,0
Gerentes (Produção, Industrial, Fabricação, Usinagem)	85	20,7
Chefes e Supervisores (Produção, Manufatura, Processos, Programação CNC)	47	11,5
Engenheiros e Técnicos (Processos, Produção, Manufatura, Métodos, Programação CNC)	72	17,5
Outros	26	6,3
Totais	411	100,0

4.2.1.3 Ramo de atividade e porte segundo o número de funcionários

A tabela 4.6 apresenta a distribuição das empresas que fizeram parte da pesquisa, em função do ramo de atividade e do número de funcionários. Observa-se, a partir dessa tabela, que o ramo de atividade com a maior quantidade de empresas é o dos prestadores de serviços de usinagem, somando 95 empresas que representam 23,1 % do total de empresas pesquisadas e são, na sua maioria, empresas com menos de 100 funcionários (89,5 %). O segundo maior grupo é o ramo da indústria automobilística, com 71 empresas representando 17,3 % do total de empresas pesquisadas. A maioria das empresas desse ramo (62,0 %) é de porte médio a grande, com mais de 100 funcionários. O ramo de atividade com o menor número de empresas é o dos fabricantes de materiais elétricos e eletro-eletrônicos com 12 empresas, representando 2,92 % do total. A sua maioria (50,0 %) é formada por empresas de porte médio, isto é, entre 100 e 500 funcionários.

Tabela 4.6: Distribuição das empresas em função do ramo de atividade e número de funcionários

Ramo de Atividade	Número de funcionários (%)					Total de Empresas
	0 a 50	51 a 100	101 a 500	501 a 1000	> 1000	
1. Prestadores de Serviços de Usinagem	82,1	7,4	9,5	1,0	-	95
2. Ferramentarias, Matrizarias, Modelações	76,3	13,2	7,9	2,6	-	38
3. Indústria automobilística (Montadoras/Autopeças)	25,3	12,7	33,8	14,1	14,1	71
4. Fabricantes de máquinas em geral	28,8	32,7	34,6	3,9		52
5. Fabricantes de implementos agrícolas	20,0	26,7	46,7	-	6,6	15
6. Fabricantes de materiais elétricos, eletro-eletrônicos	8,3	8,3	50,0	8,4	25,0	12
7. Forjarias, Fundições, Siderúrgicas	12,5	31,3	25,0	12,5	18,7	16
8. Fabricantes de equipamentos hidráulicos, pneumáticos, bombas, válvulas	22,0	28,0	42,0	6,0	2,0	50
9. Fabricantes de ferramentas de corte, acessórios e componentes para máquinas-ferramenta	61,1	22,2	16,7	-	-	18
10. Fabricantes de equipamentos e Sistemas de Movimentação e Transporte	28,6	14,3	42,8	4,8	9,5	21
11. Outros	21,7	21,7	43,5	8,7	4,4	23
Distribuição Geral	43,6	18,0	27,7	5,6	5,1	411

A tabela 4.7 mostra a distribuição das empresas em relação ao porte, segundo o número de funcionários. Verifica-se, em função desses dados, que, de acordo com a classificação da Associação Nacional de Pequenas e Médias Empresas (PRATES, 1984), 61,6 % são micro e pequenas empresas (menos de 100 funcionários), 27,7 % são empresas de porte médio (101 a 500 funcionários), e 10,7 % são grandes empresas (mais de 500 funcionários).

Tabela 4.7: Distribuição das empresas em relação ao porte segundo o número de funcionários.

Total de Empresas	Menos de 100 funcionários	101 a 500 funcionários	Mais de 500 Funcionários
411	61,6%	27,7%	10,7%

4.2.1.4 Quantidade de máquinas-ferramenta CNC

A tabela 4.8 fornece a quantidade total de máquinas-ferramenta CNC instaladas no parque industrial brasileiro em função dos grupos de máquinas considerados na pesquisa. Verifica-se, a partir dos dados desta tabela, que o grupo de máquinas tornos CNC é o que tem a maior quantidade de máquinas, representando 52,4 % do total.

Tabela 4.8: Máquinas - ferramenta CNC instaladas no parque industrial brasileiro considerando-se os grupos de máquinas pesquisados.

Grupo de máquina	Quantidade
Tornos CNC	8.408
Centros de usinagem	5.978
Mandriladoras CNC	279
Fresadoras CNC	1.375
Total	16.040

A tabela 4.9 mostra as quantidades de máquinas CNC, por ramo de atividade, que fazem parte da pesquisa. Observa-se, a partir dessa tabela, que o ramo de atividade **indústria automobilística**, embora seja o segundo em número de empresas, é o que apresenta o maior número de máquinas-ferramenta CNC (827 máquinas), representando 36,1 % do total de máquinas que fazem parte da pesquisa. É seguido pelo ramo dos **fabricantes de máquinas em geral**, terceiro em número de empresas, com 314 máquinas CNC, representando 13,7 % do total de máquinas da pesquisa. O ramo de atividade que apresenta o menor número de máquinas CNC, é o ramo dos **fabricantes de implementos agrícolas**, com 48 máquinas, representando 2,1 % do total de máquinas da pesquisa.

Tabela 4.9: Quantidade de máquinas-ferramenta CNC por ramo de atividade

Ramo de Atividade	Total de Máquinas CNC	Participação (%)
1. Prestadores de serviços de usinagem	307	13,4
2. Ferramentarias, matrizarias e modelações	108	4,7
3. Indústria automobilística (Montadoras/ autopeças)	827	36,1
4. Fabricantes de máquinas em geral	314	13,7
5. Fabricantes de implementos agrícolas	48	2,1
6. Fabricantes de materiais elétricos e eletro-eletrônicos)	122	5,3
7. Forjarias, fundições e siderúrgicas	60	2,6
8. Fabricantes de equipamentos hidráulicos, pneumáticos, bombas e válvulas	272	11,9
9. Fabricantes de ferramentas de corte, acessórios e componentes para máquinas-ferramentas	70	3,1
10. Fabricantes de equipamentos e sistemas de movimentação e transporte	74	3,2
11. Outros	90	3,9
Distribuição geral	2.292	100,0

A tabela 4.10 apresenta o número médio de máquinas-ferramenta CNC por empresa, de cada ramo de atividade. A partir dela observa-se que o ramo de atividade que possui o maior número médio de máquinas CNC por empresa é o da indústria automobilística (11,7 máquinas por empresa). É seguido pelo ramo dos fabricantes de materiais elétricos e eletro-eletrônicos, com 10,2 máquinas CNC por empresa. O ramo de atividade que apresenta a menor relação é o ramo das ferramentarias, matrizarias e modelações, com 2,8 máquinas CNC por empresa.

Tabela 4.10: Número médio de máquinas-ferramenta CNC por empresa e ramo de atividade.

Ramo de Atividade	Total de Máquinas CNC	Quantidade de Empresas	Nº Médio de Máquinas CNC por Empresa
1. Prestadores de serviços de usinagem	307	95	3,2
2. Ferramentarias, matrizarias e modelações	108	38	2,8
3. Indústria automobilística (Montadoras/ autopeças)	827	71	11,7
4. Fabricantes de máquinas em geral	314	52	6,0
5. Fabricantes de implementos agrícolas	48	15	3,2
6. Fabricantes de materiais elétricos e eletro-eletrônicos)	122	12	10,2
7. Forjarias, fundições e siderúrgicas	60	16	3,8
8. Fabricantes de equipamentos hidráulicos, pneumáticos, bombas e válvulas	272	50	5,4
9. Fabricantes de ferramentas de corte, acessórios e componentes para máquinas-ferramentas	70	18	3,9
10. Fabricantes de equipamentos e sistemas de movimentação e transporte	74	21	3,5
11. Outros	90	23	3,9
Total	2292	411	Média geral – 5,6

4.2.2 Representatividade da pesquisa

Os dados da tabela 4.11 mostram quanto representam os números da amostragem da pesquisa em relação à quantidade de empresas e quantidade de máquinas.

- **Quantidade de empresas que fazem parte da pesquisa:** Considerando que 3.433 empresas do parque industrial brasileiro possuem máquinas-ferramenta CNC (tabela 4.2), a amostragem da pesquisa, composta por 411 empresas (tabela 4.6), representa cerca de 12,0 % desse total;
- **Quantidade de máquinas que fazem parte da pesquisa:** Considerando que a quantidade total de máquinas-ferramenta CNC, entre tornos, centros de usinagem, fresadoras e mandriladoras, instaladas no parque industrial brasileiro soma 16.040 máquinas (tabela 4.8), a amostragem da pesquisa, composta por 2.292 máquinas (tabela 4.9), representa 14,3 % desse total.

Tabela 4.11: Representatividade da pesquisa.

Itens	Total	Pesquisadas	%
Quantidade de empresas que possuem máquinas convencionais e CNC	3.433	411	12,0
Quantidade de máquinas CNC(gerais)	20.424	2.292	11,2
Quantidade de máquinas CNC(específ.)	16.040	2.292	14,3

4.2.3 Dados específicos

A seguir são apresentados os dados coletados especificamente para atender aos propósitos do trabalho. Estes dados foram previamente relacionados no capítulo 3 e se referem à quantidade de máquinas paradas durante a elaboração de programas, tempo gasto

na elaboração de programas, quantidade de máquinas paradas durante a transferência de programas, quantidade de ferramentas utilizadas na usinagem de uma peça padrão, quantidade de preparações executadas por turno de trabalho e quantidade de máquinas apoiadas por aparelhos de pré-ajustagem de ferramentas.

4.2.3.1 Técnicas utilizadas para elaboração do programa CNC

A tabela 4.12 mostra as técnicas de programação que as empresas, em cada ramo de atividade, estão utilizando para elaborar os programas CNC. Observa-se, a partir dessa tabela, que as empresas pesquisadas, em sua totalidade, utilizam múltiplas técnicas de programação CNC. O ramo de atividade que apresenta a maior incidência de utilização de sistemas CAD/CAM para elaboração de programas é o das ferramentarias, matrizerias e modelações, com 52,6 % das empresas. É seguido pelos ramos dos fabricantes de materiais elétricos e eletro-eletrônicos e dos fabricantes de ferramentas de corte, acessórios e componentes para máquinas-ferramenta, com 50 % das empresas. O ramo de atividade que menos utiliza essa técnica é o dos fabricantes de equipamentos hidráulicos, pneumáticos, bombas e válvulas, com 12,0 % das empresas.

Em relação à técnica de programação manual, verifica-se que a maior incidência de utilização está no ramo das forjarias, fundições e siderúrgicas, com 56,3 % das empresas. Esse também é o ramo de atividade que apresenta a maior porcentagem de empresas utilizando a técnica de programação diretamente no painel de comando da máquina (83,3%).

A tabela 4.13 mostra a distribuição percentual da utilização de cada uma das técnicas. A partir dos dados dessa tabela observa-se que a maioria das empresas, 43,8 %, elabora o programa diretamente no painel de comando da máquina; 40,4 % das empresas utilizam a técnica de programação manual; 23,6 % utilizam sistemas CAD/CAM para elaborar seus programas e 23,1 % utilizam a técnica da programação assistida por computador.

Tabela 4.12: Técnicas de programação CNC utilizadas pelas empresas, por ramo de atividade.

Ramo de Atividade	Total de Empresas	Técnicas de Programação			
		Programação Manual (%)	Programação com sistemas CAD/CAM (%)	Programação com sistema CAM (%)	Programação na Máquina (%)
1. Prestadores de serviços de usinagem	95	45,3	12,6	15,8	43,2
2. Ferramentarias, matrizarias e modelações	38	23,7	52,6	31,6	50,0
3. Indústria automobilística (montadoras/ autopeças)	71	43,7	15,5	14,1	45,1
4. Fabricantes de máquinas em geral	52	28,8	26,9	26,9	42,3
5. Fabricantes de implementos agrícolas	15	33,3	13,3	26,7	40,0
6. Fabricantes de materiais elétricos e eletro-eletrônicos	12	33,3	50,0	50,0	16,7
7. Forjarias, fundições e siderúrgicas	16	56,3	18,8	31,3	83,3
8. Fabricantes de equipamentos hidráulicos, pneumáticos, bombas e válvulas	50	50,0	12,0	36,0	44,0
9. Fabricantes de ferramentas de corte, acessórios e componentes para máquinas-ferramenta	18	38,9	50,0	27,8	38,9
10. Fabricantes de equipamentos e sistemas de movimentação e transporte	21	47,6	19,0	9,5	47,6
11. Outros	23	34,8	43,5	26,1	39,1

Tabela 4.13: Distribuição percentual da utilização das técnicas de programação CNC.

Técnica utilizada	% de utilização
Programação manual	40,4
Programação via sistemas CAD/CAM	23,6
Programação assistida por computador	23,1
Programação via MDI	43,8

A tabela 4.14 mostra o percentual de máquinas que permanecem paradas durante a elaboração do programa CNC, quando se utiliza a técnica de programação na máquina. Para obtenção destes dados foram selecionadas as empresas que utilizam apenas esse meio para executar a atividade de elaboração do programa CNC. As empresas que, além desse,

também utilizam outros recursos, não estão consideradas. Observa-se, a partir dessa tabela, que 8,1 % das máquinas CNC, que fazem parte da pesquisa, permanecem paradas durante a elaboração do programa CNC. Ao se considerar o total de máquinas instaladas no parque industrial brasileiro, isso representa um total de 1299 máquinas-ferramenta CNC paradas, durante um determinado tempo, para execução da atividade de programação CNC. Os dados dessa tabela mostram, também, que o ramo de atividade dos fabricantes de implementos agrícolas é o que apresenta o maior percentual de máquinas paradas durante a elaboração do programa CNC, 35,4%. É seguido pelo ramo dos fabricantes de equipamentos e sistemas de movimentação e transporte, com 32,4 %. O ramo das ferramentarias, matrizarias e modelações é o que apresenta o menor percentual, com 0,9 % das máquinas paradas, seguido pelo ramo dos fabricantes de ferramentas de corte, acessórios e componentes para máquinas-ferramenta, com 2,9 %.

Tabela 4.14: Porcentagem de máquinas CNC que permanecem paradas durante a elaboração do programa CNC.

Ramo de Atividade	Total de Máquinas CNC	Máquinas paradas durante a elaboração do programa CNC(%)
1. Prestadores de serviços de usinagem	307	17,6
2. Ferramentarias, matrizarias e modelações	108	0,9
3. Indústria automobilística (montadoras/autopeças)	827	5,7
4. Fabricantes de máquinas em geral	314	5,7
5. Fabricantes de implementos agrícolas	48	35,4
6. Fabricantes de materiais elétricos e eletro-eletrônicos	122	-
7. Forjarias, fundições e siderúrgicas	60	5,0
8. Fabricantes de equipamentos hidráulicos, pneumáticos, bombas e válvulas	272	5,9
9. Fabricantes de ferramentas de corte, acessórios e componentes para máquinas-ferramenta	70	2,9
10. Fabricantes de equipamentos e sistemas de movimentação e transporte	74	32,4
11. Outros	90	4,4
Total Geral	2292	8,1

A tabela 4.15 mostra as quantidades de cada tipo de máquina do parque industrial brasileiro, dentro do grupo em estudo, que permanecem paradas durante a atividade de elaboração do programa.

Tabela 4.15: Quantidade de máquinas que permanecem paradas durante a elaboração do programa CNC.

Grupos de máquina	Quantidade
Centros de usinagens	484
Tornos CNC	681
Mandriladoras CNC	23
Fresadoras CNC	111
Total	1.299

A tabela 4.16 mostra o levantamento dos tempos médios gastos pelas empresas na elaboração de programas CNC. Para o caso de peças rotacionais, isto é, peças usinadas em tornos CNC, foram analisadas as respostas de 320 empresas e para o caso de peças prismáticas, isto é, peças usinadas em centros de usinagem, fresadoras CNC ou mandriladoras CNC, foram analisadas as respostas de 186 empresas. Observa-se, a partir dessa tabela que o tempo médio geral para elaboração de um programa CNC para peças prismáticas é de 3,53 h e para peças rotacionais é de 1,60 h. O tempo médio geral, considerando-se o conjunto de peças prismáticas e rotacionais, é de 2,3 horas por programa.

Tabela 4.16: Tempo médio gasto na atividade de elaboração de programas CNC

Ramo de Atividade	Tempo médio para elaboração de programa CNC (hs)	
	Peças Prismáticas	Peças Rotacionais
1. Prestadores de serviços de usinagem	3,30	1,60
2. Ferramentarias, matrizerias e modelações	2,50	1,20
3. Indústria automobilística (montadoras/ autopeças)	3,60	1,70
4. Fabricantes de máquinas em geral	4,50	1,40
5. Fabricantes de implementos agrícolas	2,30	0,90
6. Fabricantes de materiais elétricos e eletro-eletrônicos	2,00	1,40
7. Forjarias, fundições e siderúrgicas	6,10	1,90
8. Fabricantes de equipamentos hidráulicos, pneumáticos, bombas e válvulas	4,60	1,90
9. Fabricantes de ferramentas de corte, acessórios e componentes para máquinas-ferramenta	1,30	1,20
10. Fabricantes de equipamentos e sistemas de movimentação e transporte	4,50	1,70
11. Outros	3,70	2,50
Média Geral	3,53	1,60

4.2.3.2 Técnicas utilizadas para transferência de programas para máquinas CNC

A tabela 4.17 apresenta as técnicas de transferência de programas CNC que as empresas estão utilizando. Observa-se, a partir dessa tabela, que as empresas utilizam múltiplas técnicas para executar essa atividade. O ramo de atividade que apresenta o maior índice de utilização da técnica DNC, é o ramo dos fabricantes de materiais elétricos e eletro-eletrônicos, com 66,7 % das empresas utilizando a técnica. É seguido pelo ramo das ferramentarias, matrizerias e modelações e ramo dos fabricantes de máquinas em geral, com 50,0% das empresas. O ramo de atividade que apresenta o menor índice de utilização dessa técnica é o dos fabricantes de equipamentos e sistemas de movimentação e transporte, com 14,3 % das empresas. O ramo de atividade das forjarias, fundições e siderúrgicas é o que apresenta o maior índice de utilização da técnica de transferência via MDI, com 87,5 % das empresas. É seguido pelo ramo dos fabricantes de equipamentos e sistemas de movimentação e transporte, com 81,0 % das empresas e pelo ramo dos prestadores de serviços de usinagem com 80.0 % das empresas.

Tabela 4.17: Técnicas de transferência de programas CNC utilizadas pelas empresas.

Ramo de Atividade	Total de Empresas	Técnicas de transferência de programas para a Máquina CNC			
		MDI (%)	Fita perfurada (%)	DNC/ PC (%)	Transport.de dados/C.port (%)
1. Prestadores de serviços de usinagem	95	80,0	-	20,0	8,4
2. Ferramentarias, matrizerias e modelações	38	39,5	-	50,0	10,5
3. Indústria automobilística (montadoras/ autopeças)	71	56,3	-	35,2	35,2
4. Fabricantes de máquinas em geral	52	38,5	7,7	50,0	19,2
5. Fabricantes de implementos agrícolas	15	73,3	-	26,7	13,3
6. Fabricantes de materiais elétricos e eletro-eletrônicos	12	50,0	-	66,7	8,3
7. Forjarias, fundições e siderúrgicas	16	87,5	6,3	31,3	18,8
8. Fabricantes de equipamentos hidráulicos, pneumáticos, bombas e válvulas	50	60,0	4,0	42,0	16,0
9. Fabricantes de ferramentas de corte, acessórios e componentes para máquinas-ferramenta	18	77,8	-	33,3	5,6
10. Fabricantes de equipamentos e sistemas de movimentação e transporte	21	81,0	-	14,3	9,5
11. Outros	23	56,5	8,7	34,8	21,7

A tabela 4.18 mostra a distribuição percentual da utilização de cada uma das técnicas. A partir dos dados dessa tabela, observa-se que a maioria das empresas, 62,3 %, utiliza a transferência de programas via MDI; 35,0 % utilizam sistema DNC/PC; 16,8 % utilizam transportador de dados/computador portátil e 2,2 % utilizam fita perfurada.

Tabela 4.18: Percentual geral de utilização das técnicas de transferência de programas CNC.

Técnica utilizada	% de utilização
Transferência de dados via MDI	62,3
Fita perfurada	2,2
Sistema DNC/Computador PC	35,0
Transportador de dados/Computador portátil	16,8

O baixo índice de utilização da fita perfurada, como sistema de transferência de programas CNC para a máquina, pode ser explicado basicamente por dois fatores. O primeiro deles, já discutido no capítulo 2, está relacionado com as atualizações tecnológicas que vem sendo feitas no parque de máquinas de controle numérico. O segundo está relacionado com o fato de que o investimento maciço em máquinas-ferramenta de controle numérico no Brasil começou a ocorrer na segunda metade da década de 80, mais precisamente a partir de 1987 (GONÇALVES, 1999), quando o recurso da fita perfurada já estava sendo substituído por outras técnicas pelos fabricantes de máquinas (LYNCH, 1994). Nos primeiros treze anos de utilização de máquinas-ferramenta de controle numérico no Brasil, isto é, de 1973 a 1986, foram instaladas 2.614 máquinas desse tipo, enquanto de 1987 a 1999 foram instaladas 18.211 máquinas CNC.

A tabela 4.19 mostra a porcentagem de máquinas que permanecem paradas durante a transferência de programas CNC quando se utiliza a técnica de transferência via MDI. Para obtenção desses dados foram selecionadas as empresas que utilizam apenas esse meio para transferência de programas. As empresas que, além desse, também utilizam outros recursos não estão consideradas. Observa-se, a partir dessa tabela, que **18,6 % das máquinas CNC**, que fazem parte da pesquisa, **permanecem paradas** durante a transferência de programas

via MDI. Ao se considerar o total de máquinas instaladas no parque industrial brasileiro, isso representa um total de **2.983 máquinas CNC paradas**, por um determinado período de tempo, para execução da atividade de transferência de programa. Os dados dessa tabela mostram, também, que o ramo dos fabricantes de equipamentos e sistemas de movimentação e transporte é o ramo que apresenta o maior percentual de máquinas paradas durante a transferência do programa CNC, 50,0 %. É seguido pelo ramo dos fabricantes de implementos agrícolas, com 47,9 % de máquinas paradas e pelo ramo dos prestadores de serviços de usinagem, com 40,4 %. O ramo das ferramentarias, matrizarias e modelações é o que apresenta o menor índice de máquinas paradas para transferência de programas via MDI, com 5,6 % das máquinas, seguido pelo ramo dos fabricantes de máquinas em geral, com 8,0 %.

Tabela 4.19: Porcentagem de máquinas CNC que permanecem paradas durante a transferência de programas via MDI.

Ramo de Atividade	Total de Máquinas CNC	Máquinas paradas durante a transferência de programas via MDI (%)
1. Prestadores de serviços de usinagem	307	40,4
2. Ferramentarias, matrizarias e modelações	108	5,6
3. Indústria automobilística (montadoras/ autopeças)	824	10,1
4. Fabricantes de máquinas em geral	314	8,0
5. Fabricantes de implementos agrícolas	48	47,9
6. Fabricantes de materiais elétricos e eletro-eletrônicos	122	17,2
7. Forjarias, fundições e siderúrgicas	60	20,0
8. Fabricantes de equipamentos hidráulicos, pneumáticos, bombas e válvulas	272	20,6
9. Fabricantes de ferramentas de corte, acessórios e componentes para máquinas-ferramenta	70	31,4
10. Fabricantes de equipamentos e sistemas de movimentação e transporte	74	50,0
11. Outros	90	20,0
Total Geral	2292	18,6

4.2.3.3 Técnicas utilizadas para pré-ajustagem de ferramentas

A tabela 4.20 apresenta a porcentagem de empresas que utilizam aparelhos de pré-ajustagem de ferramentas por ramo de atividade. Verifica-se, a partir dessa tabela, que somente 22,6 % das 411 empresas pesquisadas utilizam esse recurso. O ramo de atividade que apresenta o maior percentual de empresas que utilizam aparelhos de pré-ajustagem é o do ramo dos fabricantes de máquinas em geral, com 40,4 % das empresas. É seguido pelo da indústria automobilística, com 36,6 % e pelo ramo dos fabricantes de equipamentos hidráulicos, pneumáticos, bombas e válvulas, com 34,0 % das empresas. O ramo de atividade que apresenta a menor porcentagem de empresas que utilizam esse recurso é o ramo dos prestadores de serviços de usinagem, com 4,2 % das empresas.

Tabela 4.20: Distribuição das empresas em função da utilização de aparelhos de pré-ajustagem de ferramentas (*Presetter*).

Ramo de Atividade	Total de Empresas	Empresas que utilizam <i>Presetter</i> (%)	Empresas que não utilizam <i>Presetter</i> (%)
1. Prestadores de serviços de usinagem	95	4,2	95,8
2. Ferramentarias, matrizerias e modelações	38	10,5	89,5
3. Indústria automobilística (montadoras/ autopeças)	71	36,6	63,4
4. Fabricantes de máquinas em geral	52	40,4	59,6
5. Fabricantes de implementos agrícolas	15	20,0	80,0
6. Fabricantes de materiais elétricos e eletro-eletrônicos	12	33,3	66,7
7. Forjarias, fundições e siderúrgicas	16	18,8	81,2
8. Fabricantes de equipamentos hidráulicos, pneumáticos, bombas e válvulas	50	34,0	66,0
9. Fabricantes de ferramentas de corte, acessórios e componentes para máquinas-ferramenta	18	16,7	83,3
10. Fabricantes de equipamentos e sistemas de movimentação e transporte	21	9,5	90,5
11. Outros	23	26,1	73,9
Total Geral	411	22,6	77,4

A tabela 4.21 mostra a porcentagem de máquinas-ferramenta CNC que são apoiadas por aparelho de pré-ajustagem de ferramentas. Verifica-se, a partir dessa tabela, que 52,2 % do total de máquinas que fazem parte da pesquisa são apoiadas por aparelho de pré-ajustagem de ferramentas. Verifica-se, também, que o ramo de atividades que tem a maior porcentagem de máquinas apoiadas por esse recurso é o da indústria automobilística, com 70,6 % das máquinas. É seguido pelo ramo dos fabricantes de máquinas em geral, com 70,0 %. O ramo que apresenta a menor porcentagem de máquinas apoiadas por aparelho de pré-ajustagem de ferramentas é o ramo das ferramentarias, matrizarias e modelações, com 13,9 %.

Tabela 4.21: Relação entre o total de máquinas CNC pesquisadas e a utilização de aparelho de pré-ajustagem de ferramenta (*Presetter*).

Ramo de Atividade	Total de Máquinas CNC	Máquinas apoiadas por <i>Presetter</i> (%)	Máquinas não apoiadas por <i>Presetter</i> (%)
1. Prestadores de serviços de usinagem	307	21,8	78,8
2. Ferramentarias, matrizarias e modelações	108	13,9	86,1
3. Indústria automobilística (montadoras/ autopeças)	827	70,6	29,4
4. Fabricantes de máquinas em geral	314	70,0	30,0
5. Fabricantes de implementos agrícolas	48	22,9	77,1
6. Fabricantes de materiais elétricos e eletro-eletrônicos	122	26,2	73,8
7. Forjarias, fundições e siderúrgicas	60	35,0	65,0
8. Fabricantes de equipamentos hidráulicos, pneumáticos, bombas e válvulas	272	57,7	42,3
9. Fabricantes de ferramentas de corte, acessórios e componentes para máquinas-ferramenta	70	30,0	70,0
10. Fabricantes de equipamentos e sistemas de movimentação e transporte	74	31,1	68,9
11. Outros	90	53,3	46,7
Total Geral	2292	52,2	47,8

A tabela 4.22 mostra a porcentagem de máquinas-ferramenta CNC não apoiadas por aparelho de pré-ajustagem de ferramentas, separadas por tipo de máquina. Pode-se observar, a partir dessa tabela que 73,8 % das máquinas CNC não apoiadas por esse recurso, são tornos; 16,9 % são centros de usinagem; 7,1 % são fresadoras e 2,2 % são mandriladoras.

Tabela 4.22: Distribuição das máquinas-ferramenta CNC, por tipo, não apoiadas por aparelho de pré-ajustagem de ferramentas (*Presetter*).

Ramo de Atividade	Total de Máquinas	Máquinas não apoiadas por <i>presetter</i> (%)			
		Centros de Usinagem	Tornos CNC	Mandriladoras CNC	Fresadoras CNC
1. Prestadores de serviços de usinagem	242	17,8	75,2	2,1	4,9
2. Ferramentarias, matrizarias e modelações	93	33,3	29,0	3,2	34,5
3. Indústria automobilística (montadoras/ autopeças)	243	12,7	84,8	2,1	0,4
4. Fabricantes de máquinas em geral	94	25,5	67,0	3,2	4,3
5. Fabricantes de implementos agrícolas	37	10,8	89,2	-	-
6. Fabricantes de materiais elétricos e eletro-eletrônicos	90	10,0	81,1	2,2	6,7
7. Forjarias, fundições e siderúrgicas	39	15,4	84,6	-	-
8. Fabricantes de equipamentos hidráulicos, pneumáticos, bombas e válvulas	115	17,4	79,1	-	3,5
9. Fabricantes de ferramentas de corte, acessórios e componentes para máquinas-ferramenta	49	16,3	67,4	-	16,3
10. Fabricantes de equipamentos e sistemas de movimentação e transporte	51	9,8	90,2	-	-
11. Outros	42	9,5	50,0	14,3	26,2
Total Geral	1095	16,9	73,8	2,2	7,1

Considerando que o total de máquinas-ferramenta CNC instaladas no parque industrial brasileiro é de 16.040 máquinas, entre tornos, centros de usinagem, fresadoras e mandriladoras (tabela 4.8) e que, de acordo com os dados da pesquisa, 47,8 % das máquinas não são apoiadas por aparelhos de pré-ajustagem de ferramentas (tabela 4.20), tem-se um total de 7.667 máquinas-ferramenta CNC não apoiadas por esse recurso. Levando-se em

conta esse total e a distribuição das máquinas-ferramenta da tabela 4.22, obtém-se as quantidades de máquinas, por tipo, não apoiadas por aparelho de pré-ajustagem de ferramentas conforme mostra a tabela 4.23.

Tabela 4.23: Quantidade de máquinas-ferramenta CNC não apoiadas por aparelho de pré-ajustagem de ferramentas do parque industrial brasileiro.

Tipo de Máquina	Quantidade
Centros de Usinagem	1.295
Tornos CNC	5.658
Mandriladoras CNC	170
Fresadoras CNC	544
TOTAL	7667

4.2.3.4 Número médio de preparações de máquinas e quantidade média de ferramentas utilizadas

A tabela 4.24 mostra o número médio de preparações de máquinas CNC realizado por turno de trabalho e por tipo de máquina. Para os tornos foram analisadas as respostas de 325 empresas; para os centros de usinagem foram analisadas as respostas de 202 empresas; para as mandriladoras foram analisadas as respostas de 21 empresas e para fresadoras foram analisadas as respostas de 82 empresas.

A tabela 4.25 apresenta a quantidade média de ferramentas necessárias para usinar uma peça padrão, por tipo de máquina e ramo de atividade. Para os tornos foram analisadas as respostas de 345 empresas; para os centros de usinagem foram analisadas as respostas de 224 empresas; para as mandriladoras foram analisadas as respostas de 21 empresas e para as fresadoras foram analisadas as respostas de 75 empresas.

Tabela 4.24: Número médio de preparações por turno de trabalho e tipo de máquina.

Ramo de Atividade	Número médio de preparações por turno de trabalho			
	Tornos CNC	Centros de Usinagem	Mandriladoras CNC	Fresadoras CNC
1. Prestadores de serviços de usinagem	2,28	2,29	-	1,5
2. Ferramentarias, matrizarias e modelações	3,05	4,18	3,00	4,05
3. Indústria automobilística (montadoras/ autopeças)	2,55	2,36	1,50	2,44
4. Fabricantes de máquinas em geral	2,67	2,64	2,11	2,26
5. Fabricantes de implementos agrícolas	3,66	6,25	-	-
6. Fabricantes de materiais elétricos e eletro-eletrônicos	3,22	3,50	2,50	3,50
7. Forjarias, fundições e siderúrgicas	2,21	1,86	-	-
8. Fabricantes de equipamentos hidráulicos, pneumáticos, bombas e válvulas	2,57	2,14	2,10	3,00
9. Fabricantes de ferramentas de corte, acessórios e componentes para máquinas-ferramenta	4,07	2,50	-	2,83
10. Fabricantes de equipamentos e sistemas de movimentação e transporte	2,19	3,04	1,00	1,00
11. Outros	1,71	2,70	1,50	3,86
Média Geral	2,58	2,69	1,95	2,85

Tabela 4.25: Quantidade média de ferramentas necessárias para usinar uma peça padrão.

Ramo de Atividade	Quantidade de Ferramentas por Peça			
	Tornos CNC	Centros de Usinagem	Mandriladoras CNC	Fresadoras CNC
1. Prestadores de serviços de usinagem	3,50	6,59	8,00	5,50
2. Ferramentarias, matrizarias e modelações	4,48	7,80	5,00	5,71
3. Indústria automobilística (montadoras/ autopeças)	5,11	10,26	15,00	4,75
4. Fabricantes de máquinas em geral	4,88	14,56	13,75	7,41
5. Fabricantes de implementos agrícolas	3,71	6,67	-	-
6. Fabricantes de materiais elétricos e eletro-eletrônicos	3,90	9,85	4,00	6,33
7. Forjarias, fundições e siderúrgicas	4,64	7,14	-	-
8. Fabricantes de equipamentos hidráulicos, pneumáticos, bombas e válvulas	4,83	11,26	8,00	5,50
9. Fabricantes de ferramentas de corte, acessórios e componentes para máquinas-ferramenta	4,73	9,14	-	6,00
10. Fabricantes de equipamentos e sistemas de movimentação e transporte	3,82	7,73	6,00	6,00
11. Outros	5,53	8,45	18,50	4,66
Média Geral	4,44	10,00	11,76	5,96

4.3 Determinação dos Índices de Utilização e da relação entre o tempo improdutivo e o tempo total disponível das máquinas

A partir dos dados apresentados em 4.2 e das expressões matemáticas discutidas em 3.2, são determinados, a seguir, os índices de utilização das máquinas-ferramenta CNC. em função das técnicas de elaboração do programa CNC, transferência do programa para a máquina e pré-ajustagem de ferramentas. É determinada, também, a relação entre o tempo improdutivo e o tempo total disponível dos grupos de máquina em estudo.

As principais expressões a serem utilizadas na determinação dos índices estão reunidas em 3.2.5.

A seguir, nas tabelas 4.26 a 4.29, são relacionados os principais dados necessários à determinação dos índices, coletados através da pesquisa.

Tabela 4.26: Programação CNC.

Distribuição percentual das técnicas de programação utilizadas pelas empresas	<ul style="list-style-type: none"> • Manual • Via CAD/CAM • Assistida p/computador • Via MDI 	<p>40,4%</p> <p>23,6%</p> <p>23,1%</p> <p>43,8%</p>
Máquinas paradas durante a elaboração do programa	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentagem • Quantidade total <ul style="list-style-type: none"> - Tornos - Centros de usinagem - Mandriladoras CNC - Fresadoras CNC 	<p>8,1%</p> <p>1.299</p> <p>681</p> <p>484</p> <p>23</p> <p>111</p>
Tempo médio para elaboração do programa CNC	<ul style="list-style-type: none"> - peças rotacionais - peças prismáticas 	<p>$T_{pr}=1,60$ h</p> <p>$T_{pp}= 3,53$ h</p>

Tabela 4.27: Pré-ajustagem de ferramentas

Porcentagem de empresas que não utilizam aparelho de pré-ajustagem de ferramentas	77,4%
Porcentagem de máquinas não apoiadas por aparelho de pré-ajustagem de ferramentas	47,8%
Quantidade total de máquinas não apoiadas por aparelho de pré-ajustagem de ferramentas	7.667
<ul style="list-style-type: none"> • Centros de usinagem • Tornos CNC • Mandriladoras CNC • Fresadoras CNC 	<p>$v = 1.295$</p> <p>$r = 5.658$</p> <p>$y = 170$</p> <p>$w = 544$</p>

Tabela 4.28: Número médio de preparações executadas e quantidade média de ferramentas utilizadas.

Número médio de preparações por turno de trabalho	• Torno CNC	$N_{p1}=2,58$
	• Centro de usinagem	$N_{p2}=2,69$
	• Mandriladora CNC	$N_{p3}=1,95$
	• Fresadora CNC	$N_{p4}=2,85$
Quantidade média de ferramentas necessárias para usinar uma peça padrão	• Torno CNC	$N_{f1}=4,44$
	• Centro de usinagem	$N_{f2}=10,00$
	• Mandriladora CNC	$N_{f3}=11,76$
	• Fresadora CNC	$N_{f4}=5,96$

Tabela 4.29: Transferência de programas

Distribuição percentual das técnicas de transferência de programas utilizadas pelas empresas	• MDI	62,3%
	• Fita perfurada	2,2%
	• DNC/PC	35,0%
	• Transp.de dados/C.port.	16,8%
Máquinas paradas durante a transferência do programa	• Porcentagem	18,6%
	• Quantidade	2.983

4.3.1 Índice de utilização das máquinas-ferramenta CNC em função da técnica de elaboração do programa CNC - I_{up}

Esse índice é dado pela expressão (5), deduzida em 3.2.1:

$$I_{up} = 1 - \frac{(s \cdot N_{pr} \cdot T_{pr} + u \cdot N_{pp} \cdot T_{pp})}{(s + u) \cdot T_{dp}} \quad (5)$$

A partir dos valores constantes na tabela 4.26 , tem-se :

$s = 681$ - quantidade de máquinas que executam peças rotacionais

$u = 484 + 23 + 111 = 618$ - quantidade de máquinas que executam peças prismáticas

$T_{pr} = 1,60$ horas - tempo médio gasto na elaboração do programa CNC para peças rotacionais:

$T_{pp} = 3,53$ horas - tempo médio gasto na elaboração do programa CNC para peças prismáticas

Com relação ao número médio de programas elaborados para peças rotacionais (N_{pr}) e para peças prismáticas (N_{pp}), propõe-se, para ambos, uma simulação com três valores:

- elaboração de dois programas por semana;
- elaboração de quatro programas por semana, e
- elaboração de oito programas por semana.

Considerando o período de análise de um ano e uma média de 52 semanas por ano tem-se para as situações acima:

$N_{pr2} = N_{pp2} = 104$ programas por ano;

$N_{pr4} = N_{pp4} = 208$ programas por ano, e

$N_{pr8} = N_{pp8} = 416$ programas por ano.

Considerando um turno de trabalho de 8,8 horas em média por dia, um período de análise de um ano e uma média de 252 dias úteis por ano, tem-se:

$T_{dp} = 8,8 \times 252 = 2.217,6$ horas por ano (tempo total disponível de cada máquina no período em estudo).

Substituindo-se os valores na expressão (5), tem-se:

$$I_{up} = 1 - \frac{[(681 \cdot N_{pr} \cdot 1,60) + (618 \cdot N_{pp} \cdot 3,53)]}{(681 + 618) \cdot 2217,6}$$

Portanto, para a simulação proposta anteriormente, em relação ao número de programas elaborados (N_{pr} e N_{pp}), o índice de utilização das máquinas-ferramenta CNC, em função da técnica utilizada para elaboração do programa, é:

$$I_{up2} = 0,882$$

ou seja, considerando-se que são elaborados, em média, dois programas por semana, por máquina, o índice de utilização das máquinas-ferramenta CNC, em função da técnica utilizada para elaboração do programa, é de 88,2 %;

$$I_{up4} = 0,764$$

ou seja, considerando-se que são elaborados, em média, quatro programas por semana, por máquina, o índice de utilização das máquinas-ferramenta CNC, em função da técnica utilizada para elaboração do programa, é de 76,4 %;

$$I_{up8} = 0,528$$

ou seja, considerando-se que são elaborados, em média, quatro programas por semana, por máquina, o índice de utilização das máquinas-ferramenta CNC, em função da técnica utilizada para elaboração do programa, é de 52,8 %.

4.3.2 Índice de utilização das máquinas-ferramenta CNC em função da técnica de transferência do programa - I_{ut}

Esse índice é dado pela expressão (9), deduzida em 3.2.2:

$$I_{ut} = 1 - \frac{N_t \cdot T_t}{T_{dt}} \quad (9)$$

Com relação ao número médio de transferência de programas (N_t), propõe-se uma simulação com três valores:

- transferência de dois programas por semana,
- transferência de quatro programas por semana, e
- transferência de oito programas por semanas.

Considerando o período de análise de um ano e uma média de 52 semanas por ano tem-se:

$N_{t2} = 104$ programas transferidos por ano;
 $N_{t4} = 208$ programas transferidos por ano, e
 $N_{t8} = 416$ programas transferidos por ano;

Considerando-se o tempo de transferência do programa (T_t) igual ao valor sugerido por LYNCH (1994), para a transferência de um programa médio, tem-se:

$$T_t = 0,5 \text{ horas};$$

Considerando-se um turno de trabalho de 8,8 horas em média por dia, um período de análise de um ano e uma média de 252 dias úteis por ano, tem-se:

$T_{dt} = 8,8 \times 252 = 2.217,6$ horas por ano (tempo total disponível de cada máquina no período em estudo).

Então,

$$I_{ut} = 1 - \frac{(N_t \times 0,5)}{2217,6}$$

Portanto, para a simulação proposta anteriormente em relação ao número de programas transferidos (N_t), o índice de utilização das máquinas-ferramenta CNC, em função da técnica utilizada para transferência do programa, é:

$$I_{ut2} = 0,977$$

ou seja, considerando-se que são transferidos, em média, dois programas por semana, por máquina, o índice de utilização das máquinas-ferramenta CNC, em função da técnica utilizada para transferência do programa, é de 97,7 %;

$$I_{ut4} = 0,953$$

ou seja, considerando-se que são transferidos, em média, quatro programas por semana, por máquina, o índice de utilização das máquinas-ferramenta CNC, em função da técnica utilizada para transferência do programa, é de 95,3 %;

$$I_{ut8} = 0,906$$

ou seja, considerando-se que são transferidos, em média, oito programas por semana, por máquina, o índice de utilização das máquinas-ferramenta CNC, em função da técnica utilizada para transferência do programa, é de 90,6 %.

4.3.3 Índice de utilização das máquinas ferramenta CNC em função da técnica de pré-ajustagem de ferramentas - I_{uf}

Esse índice é dado pela expressão (12) deduzida em 3.2.3:

$$I_{uf} = 1 - \frac{[(r \cdot T_{af1} \cdot N_{paf1} \cdot N_{f1}) + (v \cdot T_{af2} \cdot N_{paf2} \cdot N_{f2}) + \dots + (w \cdot T_{afn} \cdot N_{pafn} \cdot N_{fn})]}{(r + v + \dots + w) T_{df}} \quad (12)$$

As quantidades de máquinas, para os grupos específicos em estudo, são obtidas a partir da tabela 4.27. Então,

$r = 5658$ (quantidade de tornos CNC);
 $v = 1295$ (quantidade de centros de usinagem);
 $y = 170$ (quantidade de mandriladoras CNC), e
 $w = 544$ (quantidade de fresadoras CNC).

Para o tempo adicional gasto na atividade de pré-ajustagem de ferramentas (T_{af}), serão adotados os valores fornecidos pelos estudos realizados pela empresa norte-americana Davis Tool, divisão de ferramentas do grupo Gidding Lewis, em conjunto com a empresa alemã Zoller, tradicional fabricante de aparelhos de pré-ajustagem de ferramentas. A tabela 4.30, a seguir, mostra os valores do tempo adicional (T_{af}) para cada tipo de máquina, quando não se utiliza aparelho de pré-ajustagem de ferramenta (*presetter*). Para os grupos de máquinas mandriladora CNC e fresadora CNC, foram adotados os mesmos valores do grupo centros de usinagem por se tratar de máquinas que executam basicamente as mesmas operações. Maiores detalhes sobre esses estudos são apresentados nas tabelas A2.1, A2.2, A2.3, A2.4 e A2.5, no anexo 2.

Tabela 4.30: Tempo adicional gasto na atividade de pré-ajustagem de ferramentas quando não se utiliza *presetter*. (Fonte: ZOLLER & DAVIS TOOL).

Grupo de máquina	Tempo de preparação (minutos)		Tempo adicional (T_{af}) (minutos)
	Ferramenta não pré-ajustada	Ferramenta pré-ajustada	
Torno CNC	5,92	2,58	3,34
Centro de usinagem	3,50	0,83	2,67
Mandriladora CNC	3,50	0,83	2,67
Fresadora CNC	3,50	0,83	2,67

Da tabela 4.30 tem-se:

$T_{af1} = 3,34$ minutos (tornos CNC);

$T_{af2} = 2,67$ minutos (centros de usinagem);

$T_{af3} = 2,67$ minutos (mandriladoras CNC), e

$T_{af4} = 2,67$ minutos (fresadoras CNC).

O número de preparações executadas no período em estudo (N_{pf}), é dado pelo produto entre o número de preparações por turno de trabalho (N_p) e o número de turnos de trabalho no período em estudo:

$$N_{paf} = N_p \cdot \text{turnos de trabalho}$$

N_p é obtido a partir da tabela 4.28.

Considerando-se o período em estudo de um ano, um turno por dia de trabalho e uma média de 252 dias úteis por ano tem-se:

- para os tornos CNC:

$$N_{paf1} = 2,58 \times 252 = 650,16 \text{ preparações executadas por ano};$$

- para os centros de usinagem:

$$N_{paf2} = 2,69 \times 252 = 677,88 \text{ preparações executadas por ano};$$

- para as mandriladoras CNC:

$$N_{paf3} = 1,95 \times 252 = 491,40 \text{ preparações executadas por ano, e}$$

- para as fresadoras CNC:

$$N_{paf4} = 2,85 \times 252 = 718,20 \text{ preparações executadas por ano.}$$

O número de ferramentas necessárias em cada preparação (N_f), é obtido a partir da tabela 4.28.

$N_{f1} = 4,44$ ferramentas por preparação para os tornos CNC;

$N_{f2} = 10,00$ ferramentas por preparação para os centros de usinagem;

$N_{f3} = 11,76$ ferramentas por preparação para as mandriladoras CNC, e

$N_{f4} = 5,96$ ferramentas por preparação para as fresadoras CNC.

Considerando-se um turno de trabalho de 8,8 horas em média por dia, um período de análise de um ano e uma média de 252 dias úteis por ano tem-se:

$T_{df} = 8,8 \times 252 = 2217,6$ horas por ano (tempo total disponível de cada máquina no período em estudo).

Substituindo-se os valores na expressão (12), tem-se:

$$I_{uf} = 1 - \frac{5658.(3,34.650,16.4,44) + 1295.(2,67.677,88.10,00) + 170.(2,67.491,40.11,76) + 544.(2,67.718,20.5,96)}{(5658+1295+170+544).2217,6.60}$$

$$I_{uf} = 0,915,$$

ou seja, o índice de utilização das máquinas-ferramenta CNC em função da técnica utilizada para pré-ajustagem de ferramentas é de **91,5 %**

4.3.4 Relação entre o tempo improdutivo, gerado pelo uso de técnicas inadequadas, e o tempo total disponível dos grupos de máquinas em estudo – R_i

Essa relação é dada pela expressão (14), deduzida em 3.2.4.

$$R_i = \frac{I_p + I_t + I_f}{T_d (m + o + \dots + p)}$$

Onde:

(I_p) é o tempo improdutivo decorrente da elaboração do programa CNC, dado pela expressão (3);

(I_t) é tempo improdutivo decorrente da transferência de programas, dado pela expressão (7);

(I_f) é o tempo improdutivo decorrente da pré-ajustagem de ferramentas, dado pela expressão (10);

$T_d = 2.217,6$ horas por ano (tempo total disponível de cada máquina no período em estudo);

$m, n, u, e p$, são obtidos a partir da tabela 4.8, ou seja:

$m = 8.408$ tornos CNC,

$o = 5.978$ centros de usinagem;

$u = 270$ mandriladoras CNC, e

$p = 1.375$ fresadoras CNC.

- **Determinação de I_p**

$$I_p = \sum_{i=1}^r t_{ipi} = s.N_{pr}.T_{pr} + u.N_{pp}.T_{pp} \quad (3)$$

(s), (u), (T_{pr}) e (T_{pp}) são obtidos na tabela 4.26.

(N_{pr}) e (N_{pp}) = 208, considerando que são elaborados, em média, quatro programas por semana por máquina.

Então

$$I_p = \sum_{i=1}^r T_{ipi} = 681 \times 208 \times 1,6 + 618 \times 208 \times 3,53$$

$$I_p = \sum_{i=1}^r T_{ipi} = \mathbf{680.397 \text{ horas por ano}}$$

ou seja, a utilização de técnicas inadequadas para executar a atividade de elaboração de programas CNC, está gerando um volume de **680.397 horas improdutivas por ano**, no parque industrial brasileiro

- **Determinação de I_t**

$$I_t = \sum_{i=1}^z t_{iti} = z.N_t.T_t \quad (7)$$

(z) é obtido na tabela 4.29,

$N_t = 208$ (considerando que são transferidos, em média quatro programas por semana por máquina)

$T_t = 0,5$ (LYNCH, 1994),

então,

$$I_t = \sum_{i=1}^z t_{iti} = 2983 \times 208 \times 0,5, \text{ então}$$

$$I_t = \sum_{i=1}^z t_{iti} = \mathbf{310.232 \text{ horas por ano}}$$

ou seja, a utilização de técnicas inadequadas para transferência de programas, está gerando um volume de **310.232 horas improdutiva por ano**, no parque industrial brasileiro.

- **Determinação de I_f**

$$I_f = \sum_{i=1}^y T_{ifi} = r.(T_{afi}.N_{pafi}.N_{fi}) + v.(T_{a2i}.N_{pa2i}.N_{2i}) + \dots + w.(T_{afni}.N_{pafni}.N_{fni}) \quad (10),$$

(r), (v), (y) e (w) são obtidos na tabela 4.26, e utilizando-se para T_{af} , N_{paf} e N_f , os mesmos valores obtidos em 4.4.3, tem-se:

$$I_f = \sum_{i=1}^y T_{ifi} = \frac{[5658 \times (3,34 \times 650,16 \times 4,44) + 1295 \times (2,67 \times 677,88 \times 10,00) + 170 \times (2,67 \times 491,40 \times 11,76) + 544 \times (2,67 \times 718,20 \times 5,96)]}{60}$$

$$r.(T_{afi}.N_{pafi}.N_{fi}) = 909.204 \text{ horas por ano};$$

$$v.(T_{a2i}.N_{pa2i}.N_{2i}) = 390.645 \text{ horas por ano};$$

$$y.(T_{af3i}.N_{paf3i}.N_{f3i}) = 43.717 \text{ horas por ano, e}$$

$$w.(T_{afni}.N_{pafni}.N_{fni}) = 103.622 \text{ horas por ano,}$$

então,

$$I_f = \sum_{i=1}^y T_{fi} = 1.447.188 \text{ horas por ano.}$$

ou seja, a utilização de técnicas inadequadas para pré-ajustagem de ferramentas, está gerando um volume de **1.447.188 hora improdutivas por ano**, no parque industrial brasileiro. Estas horas estão distribuídas da seguinte forma:

Tornos CNC – 909.204 horas;

Centros de usinagem – 390.645 horas;

Mandriladoras CNC – 43.717 horas, e

Fresadoras CNC – 103.622 horas.

Portanto,

$$R_i = \frac{680.397 + 310.232 + 1.447.188}{2217,6 \cdot (8408+5978+279+1375)}$$

$$R_i = 0,0685$$

ou, seja, o volume total de horas improdutivas gerado pela utilização de técnicas inadequadas para executar as atividades de programação CNC, transferência de programas e pré-ajustagem de ferramentas representa 6,85 % do total das horas disponíveis de tornos CNC, centros de usinagem, mandriladoras CNC e fresadoras CNC, instaladas no parque industrial brasileiro.

A programação CNC responde por 1,91 % do total de horas improdutivas (680.397 horas), a transferência de programas responde por 0,87 % (310.232 horas), e a pré-ajustagem de ferramentas por 4,07 % (1.447.188 horas)

4.4 Resumo dos principais resultados obtidos

A tabela 4.31 apresenta o resumo dos índices de utilização das máquinas-ferramenta CNC, e as horas improdutivas geradas, em função da técnica utilizada para executar as atividades de suporte.

Tabela 4.31: Índices de utilização das máquinas-ferramenta CNC e horas improdutivas.

Atividade de suporte	Técnica Utilizada	Índice de utilização	Horas improdutivas
Elaboração do programa	Programação MDI	$I_{up} = 76,4 \%$	680.397 h/ano
Transferência do programa	Transferência de dados via MDI	$I_{ut} = 95,3 \%$	310.232 h/ano
Pré-ajustagem de ferramentas	Usinagem Experimental	$I_{uf} = 91,5 \%$	1.447.188 h/ano
Total de horas improdutivas			2.347.817 h/ano
Relação horas improdutivas/horas totais disponíveis			$R_I = 0,0685$

Observa-se, a partir dos dados dessa tabela, que o uso da técnica **programação via MDI**, para executar a atividade elaboração do programa, gera o menor índice de utilização das máquinas-ferramenta CNC: 76,4 %. Em seguida está o uso da técnica **usinagem experimental** para executar a atividade de pré-ajustagem de ferramentas, gerando um índice de utilização de 91,5 % e, por fim, o uso da técnica **transferência de dados via MDI** para executar a atividade de transferência de programa, com um índice de utilização de 95,3 %.

Verifica-se, também que o volume de horas improdutivas representa 6,85 % da capacidade instalada das máquinas-ferramenta CNC em estudo. Observa-se ainda que o uso da técnica de usinagem experimental para executar a pré-ajustagem de ferramentas é o fator que gera o maior volume de horas improdutivas, seguido pelo uso da programação MDI e transferência de dados via MDI.

A seguir são feitas, algumas considerações para se ter uma melhor percepção da abrangência dos resultados obtidos a partir deste trabalho:

- é importante ressaltar que os índices de utilização aqui determinados, levaram em conta exclusivamente as atividades de suporte específicas à operação das máquinas-ferramenta CNC.
- as horas improdutivas geradas pelo uso de técnicas inadequadas para executar as atividades de suporte geralmente não são apontadas pelos métodos tradicionais de apontamento e, talvez, por esse motivo não estejam recebendo a atenção devida;
- o volume total de horas improdutivas geradas representa o equivalente a 1.100 máquinas-ferramenta paradas no parque industrial brasileiro. Considerando um valor médio de US\$ 90.000,00 para cada máquina, isso significa que existe um investimento adicional de cerca de US\$ 99 milhões no parque industrial brasileiro; esse investimento representa o faturamento anual de uma empresa com cerca de 1.500 funcionários
- considerando-se US\$ 20,00 o custo hora médio de uma máquina CNC, o volume de horas improdutivas representa um desperdício anual de cerca de US\$ 47 milhões.

No capítulo seguinte são estabelecidas as principais conclusões do trabalho e sugeridos alguns temas relacionados ao assunto para o desenvolvimento de trabalhos futuros.

Capítulo 5

Conclusões e sugestões para trabalhos futuros

5.1 Conclusões

Considerando os objetivos propostos para este trabalho e os resultados da pesquisa realizada, apresentados e discutidos no capítulo 4, pode-se concluir que:

Com relação às atividades de suporte específicas para a operação de máquinas CNC:

- o estudo e otimização das atividades “elaboração do programa CNC”, “transferência do programa CNC para a máquina” e “pré-ajustagem de ferramentas”, é de fundamental importância para os trabalhos de melhoria de produtividade em ambiente CNC, pois o tempo gasto no seu desenvolvimento tem influência direta no tempo de ciclo dos produtos e não agrega valor aos mesmos.
- para a execução dessas atividades pode-se selecionar, dentre uma variedade de alternativas técnicas disponíveis, uma ou mais opções e, dependendo da alternativa selecionada, pode-se ter um índice de utilização das máquinas, mais alto ou mais baixo.
- em função dos dados levantados através da pesquisa, constata-se que é intensiva a utilização de alternativas técnicas que demandam mais tempo para execução das atividades de suporte específicas nas indústrias do parque industrial brasileiro. Isso significa que as empresas não estão utilizando o potencial total oferecido pela tecnologia CNC. Com relação às 16.040 máquinas-ferramenta CNC instaladas até setembro de

1999, entre centros de usinagem, tornos CNC, mandriladoras CNC e fresadoras CNC, os dados mostram que:

- 8,1 % das máquinas, ou seja, 1299 máquinas, permanecem paradas durante a elaboração do programa CNC. O índice de utilização dessas máquinas, levando-se em conta apenas esse fato, é de 76,4 %;
- 18,6 % das máquinas, ou seja, 2983 máquinas, permanecem paradas durante a transferência de programas. O índice de utilização dessas máquinas, levando-se em conta apenas esse fato, é de 95,3 %;
- 47,8 % das máquinas, ou seja, 7667 máquinas, não são apoiadas por aparelho de pré-ajustagem de ferramentas. O índice de utilização dessas máquinas, levando-se em conta apenas esse fato, é de 91,5 %;
- o uso da técnica de programação MDI é o fator que mais reduz o índice de utilização das máquinas ferramenta CNC. É seguido pelo uso da técnica de usinagem experimental para pré-ajustagem das ferramentas e pelo uso da transferência de dados via MDI;
- considerando o efeito conjunto da utilização de técnicas inadequadas para executar as atividades de suporte, o índice de utilização de algumas máquinas pode chegar a valores tão baixos quanto 67,9%;
- a utilização de técnicas inadequadas para execução das atividades de programação CNC, transferência de programas e pré-ajustagem de ferramentas gera um total de 2.437.817 horas improdutivas por ano, o que significa 6,85 % da capacidade instalada, em relação aos grupos de máquinas em estudo. Destes, 4,07 % são devidos á atividade de pré-ajustagem de ferramentas, 1,91 % são devidos á atividade de elaboração do programa CNC e 0,87 % são devidos á atividade de transferência de programa;
- o índice de horas improdutivas de 6,85 % significa que um crescimento da produção industrial de até 6,85 % num ano, seria suportado sem a necessidade de investimentos em tornos CNC, centros de usinagem, mandriladoras CNC e fresadoras CNC.
- as horas improdutivas mostram que o parque industrial brasileiro arca com um investimento adicional, em máquinas-ferramenta CNC, desnecessário. Isso pode

estar onerando o custo hora máquina e conseqüentemente afetando a competitividade da indústria.

- os índices de utilização das máquinas-ferramenta CNC da indústria brasileira, levando-se em conta as atividades de elaboração do programa CNC, transferência do programa e pré-ajustagem de ferramentas, podem ser melhorados significativamente e aproximarem-se dos 100 %. Em conseqüência, as horas improdutivas, levantadas através da pesquisa de campo, podem ser praticamente eliminadas. As ações para tal são relativamente simples e nem todas demandam investimentos. A melhoria do índice de utilização relativo á atividade de pré-ajustagem de ferramentas é a que pode demandar o investimento mais significativo: aquisição de aparelho de pré-ajustagem e adaptação de sistema de referência para ferramentas na máquina. Para a atividade de transferência do programa o investimento está relacionado á aquisição de um transportador de dados, ou um computador PC e um transportador de dados, ou um computador PC e um sistema para conectá-lo com as máquinas, ou ainda, um computador portátil. Para a atividade de elaboração do programa a contratação de um programador que execute essa atividade fora da máquina pode ser suficiente ou, ainda, investir na atualização do comando NC da máquina para que seja possível elaborar o programa via MDI com a máquina operando.

Com relação ao parque industrial brasileiro pesquisado:

- o ramo de atividade que mais utiliza a tecnologia CNC é o da indústria automobilística com um índice médio de 11,7 máquinas CNC por empresa , seguido pelos ramos dos fabricantes de materiais elétricos e eletro-eletrônicos, com 10,2 e fabricantes de máquinas em geral, com 6,0. Os ramos de atividade que menos utilizam essa tecnologia, dentro do universo pesquisado, são o ramo das ferramentarias, matrizarias e modelações, com 2,8 %, seguido pelo ramo dos prestadores de serviços de usinagem e ramo dos fabricantes de implementos agrícolas, com índice médio de 3,2 máquinas CNC por empresa.

Com relação aos ramos de atividade industrial específicos, destacam-se as seguintes conclusões:

- o ramo das ferramentarias, matrizerias e modelações pode ser considerado o mais evoluído em relação à utilização das técnicas de programação, uma vez que 52,6 % das empresas do ramo utilizam CAD/CAM para esse fim. Em seguida vem os ramos dos fabricantes de materiais elétricos e eletro-eletrônicos, e o ramo dos fabricantes de ferramentas de corte, acessórios e componentes para máquinas-ferramenta, com um índice de 50 %.
- ainda com relação às técnicas de programação, o ramo dos fabricantes de implementos agrícolas pode ser considerado o menos evoluído, pois apresenta um índice de 35,4 % de máquinas paradas durante a elaboração do programa CNC, seguido pelo ramo dos fabricantes de equipamentos e sistemas de movimentação e transporte, com 32,4 % e pelo ramo dos prestadores de serviços de usinagem com 17,6 %.
- o ramo dos fabricantes de materiais elétricos e eletro-eletrônicos pode ser considerado o mais evoluído em relação à utilização das técnicas para transferência de programas para as máquinas CNC. Neste ramo, 66,7% das empresas utilizam sistemas DNC. Em seguida, estão os ramos das ferramentarias, matrizerias e modelações, e dos fabricantes de máquinas em geral, com 50% das empresas utilizando o DNC;
- ainda com relação às técnicas para transferência de programas para as máquinas CNC, o ramo dos fabricantes de equipamentos e sistemas de movimentação e transporte pode ser considerado o menos evoluído, pois apresenta um índice de 50 % de máquinas paradas durante a transferência de programas, seguido pelos ramos dos fabricantes de implementos agrícolas, com 47,9 % e dos prestadores de serviços de usinagem com 40,4 %;
- o ramo da indústria automobilística pode ser considerado o mais evoluído com relação à utilização das técnicas de pré-ajustagem de ferramentas, com 70,6 % das máquinas sendo apoiadas por aparelhos de pré-ajustagem, seguido pelos ramos dos fabricantes de máquinas em geral, com 70,0 % e o ramo dos fabricantes de equipamentos hidráulicos, pneumáticos, bombas e válvulas, com 57,7 %;
- ainda com relação às técnicas de pré-ajustagem de ferramentas, o ramo das ferramentarias, matrizerias e modelações pode ser considerado o menos evoluído, pois apenas 13,9 % das máquinas são apoiadas por aparelhos de pré-ajustagem de ferramentas, seguido pelos ramos dos prestadores de serviços de usinagem com 21,8 % e dos fabricantes de implementos agrícolas com 22,9 %.

5.2 Sugestões para trabalhos futuros

Levando-se em conta que este é um dos primeiros trabalhos que procuram detalhar a situação do uso de tecnologia CNC no Brasil, existe, a partir dele, um leque de possibilidades para trabalhos futuros na área, tais como:-

- estabelecer medidas específicas de avaliação de desempenho para as máquinas ferramenta CNC, levando-se em conta os vários fatores que as diferenciam das convencionais, principalmente no que se refere às atividades de suporte específicas;
- estudar, de maneira mais aprofundada, as condições de utilização da tecnologia CNC para cada ramo de atividade indicado no trabalho;
- estender o estudo e a pesquisa desenvolvidos neste trabalho para outros grupos de máquinas, tais como :- corte e conformação, retificadoras e eletroerosão;
- elaborar um estudo sobre o processo de aquisição de máquinas-ferramenta CNC, utilizado pelas empresas, abrangendo desde a etapa de definição das justificativas técnico-econômicas , passando pela análise do nível de suporte que as empresas recebem do fornecedor, durante esse processo, até a liberação da máquina para produção;
- elaborar um estudo sobre os recursos e ações necessários para aumentar os índices de utilização das máquinas-ferramenta CNC do parque industrial brasileiro, no que se refere às técnicas de programação CNC, transferência de programas e pré-ajustagem de ferramentas.

Referências Bibliográficas

AGOSTINHO, O.L. Os sistemas devem se adaptar ao desejo dos consumidores. *Máquinas e Metais*, São Paulo, v.27, n.317, p.44-51, Jun.1992.

_____. Tópicos em engenharia de fabricação. Notas de aula da disciplina Automação da Manufatura do curso de pós graduação. Campinas - Unicamp, 1998,153p.

ANDERL, R.; CLAASSEN, E. Virtual product development based on product data technology. In: SEMINARIO DE ALTA TECNLOGIA, 3., 1998, Santa Bárbara D'Oeste. Anais ... Santa Bárbara D'Oeste, UNIMEP, 1998. p.19-34.

AYRES, R.U. et al . Computer integrated manufacturing: economic and social impacts. London: Chapman & Hall, 1992, 516 p.

BARYSHNIKOV, A. Ya. Efficient organization fo NC machines in batch production work. *Soviet Engineering Research*, vol.2, n. 9, p.54-56, 1982.

BEARD, T. CNC fundamentals. *Modern Machine Shop*, Cincinnati, vol. 65, n.11A, pp 129-208, April, 1993.

_____. How shops are programming. *Modern Machine Shop*, Cincinnati, vol.66, n.11A, pp21-26, April, 1994.

_____. Setting tools makes smal shop sense. *Modern Machine Shop*, Cincinnati, vol.70, n.8, pp79-83, January 1998.

BLUM. *Laser system for tool setting and breakage detection*: catálogo. Ravensburg. 10p.

_____. *Probe system for tool setting*: catálogo. Ravensburg. 4p.

BROMWICH, M.; BHIMANI, A. Strategic investment appraisal. *Management Accounting*, London, pp45-48, march 1991.

BUGAUD, J.P. Integration von HSC-Bearbeitungszentren. *Werkstatt und Betrieb*, München, vol.5, n.132, p.52-57, jan.1999.

BURCHER,P.; LEE, G.; SOHAL, A. Lessons for implementing AMT. *International Journal of Operations & Production Management*, Vol.19, n.5/6, p.515-526, 1999.

CERVO,A.; BERVIAN,P.A.. Método científico. 3 ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1978.

DEGARMO, E. P.; BLACK, J. J.; KOSHER, R. A. Materials and process in manufacturing. 8th ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1997, 1259 p.

DILLMAN, D.A. Mail and telephone surveys: the total design method. New York: John Wiley & Sons, 1978.

ELBO CONTROLLI. *Calcolo del risparmio del Tempo*: catálogo. Milano. 9p.

GAITHER, N.; FRAZIER, G. Administração da produção e operações. 8ª Ed..São Paulo: Pioneira, 2001. 598p.

GALLOWAY, A. Questionnaire design and analysis. Disponível na Internet em: <<http://www.tardis.ed.ac.uk/~kate/qmcweb/qinto.htm>> Acesso em 25mar.2000.

GERVIN, D.; KOLODNY, H. Management of advanced manufacturing technology: strategy, organization and innovation. New York: John Wiley & Sons, 1992.

- GETTELMAN, K.M. 1992 Survey: numerical control a love/hate relationship. *Modern Machine Shop*, Cincinnati, vol.64, n.10A, p.21-29, March 1992.
- GIBBS, W.F. CAD/CAM integration - what's the right choice for you?. *Modern Machine Shop*, Cincinnati, vol.70, n.11A, p.73-79, April 1998.
- GIBBS, D. CNC part programming: a practical guide. London: Cassell Publishers Limited, 1994. 186p.
- GONÇALVES, A. C. A. Guia prático para o recebimento de tornos convencionais e a comando numérico. São Paulo: Edgard Blücher, 1991, 93 p.
- GONÇALVES, J.R. Há 16.250 máquinas CNC em operação no Brasil, mas logo pode haver mais, *Máquinas e Metais*, São Paulo, n. 383, p. 18-44, dez. 1997.
- _____. Atualização do parque de máquinas segue lentamente. *Máquinas e Metais*, São Paulo, n. 407, p. 84-107, dez.1999.
- GROOVER, M.P. Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1987. vol.1. 357p.
- GUNN, T.G. 21st century manufacturing: creating winning business performance. New York: Harper Collins, 1992. 311p.
- GUNNINK, J.W. Multi-axis high speed milling: how to speed up prototyping & tooling processes by using STL-technology. *TNO-Report - Institute of Industrial Technology*, Oostsingel, January 1999.
- HELLER. *Centros de usinagem horizontais*: Catálogo. 1991. 31p.

HEUCHEMER, B. Toward a truly open manufacturing environment. *Modern Machine Shop*, Cincinnati, vol.72, n.11A, p.23-32, April 2000.

HORATH, L. Computer Numerical Control Programming of Machines. New York: Macmillan, 1993. 268p.

KELLEY, K. Getting beyond G-code. *Modern Machine Shop*, Cincinnati, vol. 66, n.114, p.91-98, April 1994.

JABLONOWSKI, J. The 14th inventory of metalworking equipment. *American Machinist*, vol.133, n11, p.91-110, november 1989.

LAMBERT, A. Lets dispel the myths about CNC. *Modern Machine Shop*, Cincinnati, vol.65, n.2. MMS on Line, Julho, 1992.

LYNCH, M. Computer numerical control for machining. New York: McGraw-Hill, 1992. 422p.

_____. Computer numerical control: advanced techniques. New York: McGraw-Hill, 1993. 314p.

_____. Computer numerical control: accessory devices. New York: McGraw-Hill, 1994. 262p.

_____. The key concepts of Computer Numerical Control. *Modern Machine Shop*, Cincinnati, vol 69, n. 11A, pp 81-144, April 1997.

MARCONI, M.A.; LAKATOS, E. M. Técnicas de pesquisa. 2 ed. São Paulo: Atlas, 1990.

MASON, F. A Ford adota máquinas CNC na produção de eixos. *Máquinas e Metais*, São Paulo, n.296, p.24-28, Set. 1990.

_____. Turn it manually or automatically. *Manufacturing Engineering*, p. 35-38, february 1995.

_____. Tool balancing for high-speed milling. *Machine Shop Guide*, p. 40-52, march 2000.

MCS ENGENHARIA. *Unidade de Transporte de Dados: Catálogo*. São Paulo.2p.

NORTON, J. Tooling is ready for CIM. *Tooling & Production*, August 1990.

OLIVEIRA, S.L. Tratado de metodologia científica. São Paulo: Pioneira, 1998. 320 p.

PIRES, S.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. 1989. 155p. Dissertação (mestrado) Escola de Engenharia de São Carlos/USP, São Carlos, 1989.

PRATES, M. Automação industrial: oportunidades tecnológicas no Estado de São Paulo. São Paulo: Promocet, 1984. 45p.

PWB. *Saving time through tool presetting*: catálogo. 1p.

RENISHAW. *NCI non contact tool setting system*: catálogo. Gloucestershire, 2000. 6p.

ROBB, D. Look what's happened to DNC. *Modern Machine Shop*, Cincinnati, vol.70, n.11A, p.97-101, April 1998.

SCHRODER, R.; SOHAL, A.S. Organizational characteristics associated with AMT adoption. *Journal of Operations & Production Management*, vol 19, pag.1270-1291, 1999.

SCHUETT, T. J. Optimize Your Cutterpath Process. *Manufacturing Engineering*, p.56-62, January 1997.

SHULZ, H.; FECHTER, T.A. Defizite der heutigen werkstück-Programmierung. *Werkstatt und Betrieb*, nr.127, p.18-21,1994.

SHULZ, H. Trends in manufactruing technology at threshold of the millennium. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE ALTA TECNOLOGIA: inovações tecnológicas na manufatura para o ano 2000, 4, 1999, Piracicaba. Anais. Piracicaba: UNIMEP, 1999. p. 1-17.

SHULZ, H. Selection of HSC Machines Concerning Economic Aspects. In: SEMINARIO INTERNACIONAL DE ALTA TECNOLOGIA: inovações tecnológicas na manufatura para o ano 2000, 4, 1999, Piracicaba. Anais. Piracicaba: UNIMEP, 1999. p. 51-56.

SIMON, A.T. Feira de Chicago superou-se em tudo. *Máquinas e Metais*, São Paulo, n.418, p.56-83, nov.2000.

_____. EMO 99 mostrou a evolução. *Máquinas e Metais*, São Paulo, n.402, p.48-77, jul.1999.

_____. Mostra dos novos métodos e sistemas de máquinas-ferramenta. *Máquinas e Metais*, São Paulo, n.394, p.112-129, nov.1998.

_____. Ferramentas com ajuste prévio fazem cair os tempos de produção. *Máquinas e Metais*, São Paulo, n.310, p. 30-31, nov.1991.

_____. Retrofitting e reforma, duas formas de melhorar a produção. *Máquinas e Metais*, São Paulo, n.297, p.38-40, out.1990.

SLACK, N. et al. Administração da produção. São Paulo: Atlas, 1997.

- TAGLIACARNE, G. Pesquisa de mercado: técnica e prática. 2.ed. São Paulo: Atlas, 1989.
- TALLMADGE, P. Today's "low end" machines offer high-end value. *Modern Machine Shop*, Cincinnati, vol.70, n.11A, p.41-46, April 1998.
- TROCHIM, W.M.K. Research methods knowledge base. 2.ed. Edition. Disponível na Internet em: < <http://trochim.human.cornell.edu/kb/index.htm>> Acesso em: 27 Ago. 2000.
- VORNORTAS, S. N.; XUE, L. Process innovation in small firms: case studies on CNC machine tools. *Technovation*, vol. 17, n.8, p.427-438, 1997.
- VOSS,C. Success and failure in advanced manufacturing technology. *International Journal of Technology Management*, vol.3, pag. 285-297. 1988.
- WALTON, R.E.; SUSMAN, G.I. People policies for the new machines. *Harvard Business Review*, p.98-106, March/April, 1987.
- WEATHERALL, A. CIM a total company competitive strategy. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1992.
- WECK, M.; SCHUMACHER, A.; QUEINS, M. Nova geração de máquinas-ferramenta de alta velocidade. *Máquinas e Metais*, São Paulo, v.35, n.401, p.16-39, jun.1999.
- WICK, C.H. Electronic tool gaging increases NC productivity. *Manufacturing Engineering & Management*, March 1995.
- ZELINSKI, P. CNC machining: the next generation. *Modern Machine Shop*, Cincinnati,vo.72, n.11A, p.17-18, April 2000.
- ZOLLER & DAVIS TOOL. *Profitability*: Catálogo. Fond du Lac. 4p.

Bibliografia Adicional Consultada

- AGUIAR, M.W.C. Análise de viabilidade de implantação de DNC. *Máquinas e Metais*, São Paulo, n. 279, p. 90-97, Abr., 1989.
- BONETTO, R. Flexible manufacturing systems. Paris: Hermes Publishing, 1985. 287p.
- BOSNER, J.C. CNC: centro de usinagem. In: SIMPOSIO SOBRE TECNOLOGIA DE USINAGEM E MEDIÇÕES, 5, 1988, São Paulo. Anais... São Paulo, 1988. p.
- BROWN, C.R. Machine and cutting tool automation. In: WESTEC'94 CONFERENCE, 1994, Los Angeles. Annals... Los Angeles, SME, 1994. p.
- CLAUNCH, J.W. Set-up time reduction for machining. In: MANUFACTURING'98 CONFERENCE, 1998, Chicago. Annals...Chicago, SME, 1998. p.
- CONSALTER, L.A.; BOEHS, L.; FERREIRA, A.C. Programação de máquinas apoiada por banco de dados. *Máquinas e Metais*, São Paulo, n. 254, p. 37-43, mar. 1987.
- EADE, R. Staying competitive in the 1990's. *Cutting Tool Engineering*, August 1990, pp18-21.
- FRANZ, J. et all. Comando numérico CNC - técnica operacional. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária, 1984, 176p.
- HATNA, A., GRIEVE, R.J., BROOMHEAD, A. Automatic CNC milling of pockets: geometric and technological issues. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, Vol. 11, nr. 4, p.309-330, 1998.

- KURANZ, K.A., "New techniques in design and programming", *The Cutting Edge*, Rockford, n. 1, pp.6-7, 1995.
- LUCKMANN, C.L.; LENSCH, V. Pesquisa mostra qual é a atual base instalada brasileira. *Máquinas e Metais*, São Paulo, n. 313, p. , Fev. 1992.
- MICHEL, J.J. A automação e a integração da Produção na pequena indústria. *Máquinas e Metais*, São Paulo, n. 315, p.18-27, Abr. 1992.
- NEIGOOT, R. How to select a modular cutting tool system. *Modern Machine Shop*, Cincinnati, v. , n. , p. 90-97, January 1991.
- NEVES, M.; PROENÇA, H. Evolução dos perfis de automação no Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 17, 1997, Piracicaba. Anais... Piracicaba, UNIMEP, 1997. p.
- NOAKER, P.M. Can you justify change?. *Manufacturing Engineering*, Miami, v. 113, n.6, p.30-35, Dec. 1994.
- NOAKER, P.M. The PC's CNC transformation. *Manufacturing Engineering*, Miami, v.115, n.2, p.49-50, Aug. 1995.
- NORDSTEN, G. A Volvo implanta FMS e obtém menos custos e mais qualidade. *Máquinas e Metais*, São Paulo, n. 302, p.14-18, Mar. 1991.
- OLSON, L. CNC programming boosts productivity by eight times. *Modern Applications News*, vol.30, nr.8, pp.56-57, August 1996.
- OWEN, J.V., Flexible cells & machining centers. *Manufacturing Engineering*, Miami, v.105, n.2, p.24-28, August 1990.

- OWEN, J.V. Justifying manufacturing flexibility. *Manufacturing Engineering*, Miami, v.106, n.3, p.65-71, March 1991.
- PADILLA, P. Amélioration de la productivité d'exploitation des centres d'usinage et de tournage. *Cetim Informations*, Senlis, n.108, p.41-46, Décembre 1988.
- PERRELLI, P.T. Programação de máquinas CN com o auxílio do computador. *Boletim Sobracom*, Ano III, n.24/25/26, p.29-36, 1986.
- PORT, O.; ARMSTRONG, L.; GROSS, N. U.S. manufactures learn the hard lesson of simplicity. *Business Week*, p.50-51, February29, 1988.
- PORT, O.; KING, R.; HAMPTON, W.J. The productivity paradox. *Business Week*, p.46-56, June06, 1988.
- NATIONAL CONFERENCE OF PRODUCTION RESEARCH, 5, 1989. London. Proceedings... London: Kogan, 1989.
- QUEIROZ, A.A., KOTUSANSKY, S. Programação assistida por microcomputador, *Máquinas e Metais*, São Paulo, n.258, p.54-58, Jul.1987.
- RUNKLE, B. Using the hidden value in your capital equipment. *Modern Machine Shop*, Cincinnati, v.17, n.5, p.108-113, October 1998.
- SAYETTAT, C.; DELAVAN, P.; BELOT, J.M. La demande et l'offre de technologie. *Cetim Informations*, Senlis, nr.147, p.17-22, Février 1996.
- SCHMID, K. Reduce setting times and down times!. *Swiss Quality Production*, v., n., p76-80, 1990.

- SEQUEIRA, J.H. Manufatura de classe mundial no Brasil: um estudo da posição competitiva. São Paulo: Câmara Americana de Comércio para o Brasil, 1990. 101p.
- SIEBEL, S.D. Trends in CAD/CAM that will shape the future. *Modern Machine Shop*, Cincinnati, v.64, n.2, p.85-93, July 1991.
- SONAGLIO, J.L. Relato de um usuário de máquinas CNC. *Mineração & Metalurgia*, São Paulo, n.493, p.55-58, Abr.1988.
- SUH, N.P. A CIM e outras inovações podem levar a mais competitividade. *Máquinas e Metais*, São Paulo, n. 313, p.74-80, Fev.1992.
- TARAMAN, S.S. Manufacturing productivity challenges. In: INOTEC CONFERENCE: Congresso Internacional sobre Novas Tecnologias em Máquinas, Equipamentos e Manufatura, 1992, São Paulo. *Anais...*São Paulo, 1992. p.
- TUFFENTSAMMER, K., ARNDT, G. The influence of NC flexibility on the concept of group technology. *Annals of the CIRP*, p.411-415, vol.32/1/1993.
- VONDERMBSE, M.A.; WOBSER, G.S. Steps for implementing a flexible manufacturing system. *Industrial Engineering*, p.38-48, April 1987.
- ZELINSKI, P. The practically dedicated flexible cell. *Modern Machine Shop*, Cincinnati, v.71, n.5, October 1998.
- ZELINSKI, P. Own no tool before its time. *Modern Machine Shop*, Cincinnati., v.71, n.8, p.66-74, January 1998.

Anexos

ANEXO I

Questionário Utilizado na Pesquisa de Campo

Parte 1

Dados gerais da empresa

Razão Social
Endereço/localização
Responsável pelo preenchimento
Principais produtos/serviços
Número de funcionários

Parte 2

Dados sobre investimentos em máquinas-ferramenta realizados nos últimos doze meses e a realizar nos doze meses subsequentes.

- Quantidade de máquinas-ferramenta adquiridas nos últimos 12 meses _____
 - nacionais _____
 - importadas _____
 - convencionais _____
 - CNC _____

- recursos próprios Finame Leasing outros

- Previsão de aquisição de novas máquinas nos próximos 12 meses
 sim quantidade ____ não

Parte 3

Dados sobre utilização da tecnologia CNC

QUESTIONÁRIO

- Quantas preparações (setup) de máquinas são feitas em média por turma de trabalho?
 - nos centros de usinagem ____
 - nos tornos CNC ____
 - nas fresadoras CNC ____
 - nas mandriladoras CNC ____

- Quantas ferramentas são necessárias em média para usinar uma peça padrão.
 - nos centros de usinagem ____
 - nos tornos CNC ____
 - nas fresadoras CNC ____
 - nas mandriladoras CNC ____

- Quantos aparelhos de pré-ajustagem de ferramenta (*presettters*) existem na empresa? ____

- A pré-ajustagem das ferramentas é feita:
 - a) na máquina usinando a 1ª peça ()
 - b) na sala de pré-ajustagem ()
 - c) na máquina usando recursos específicos de pré-ajustagem ()

- A elaboração dos programas CNC é:
 - manual ()
 - auxiliada por computador c/ entrada manual de dados ()
 - auxiliada por computador c/dados vindos do CAD ()
 - na máquina com entrada manual de dados e máquina em operação ()
 - na máquina com entrada manual de dados e máquina parada ()
 - feita por terceiros ()

- Como é feita a introdução do programa CNC na máquina?
 - MDI com a máquina em operação ()
 - MDI com a máquina parada ()
 - Fita perfurada ()
 - Transportador de dados/computador portátil/disquete ()
 - DNC/via microcomputador PC ()
 - Fita magnética ()

- O tempo meio para elaboração dos programas CNC é de:
 - _____ horas para peças fresadas (prismáticas)
 - _____ horas para peças torneadas (rotacionais)

Parte 4

Quadro A – Relação de máquinas-ferramenta convencionais e CNC: quantidades e idade média por tipo de máquina.

Quadro B – Relação das máquinas CNC: quantidade, tipo, modelo e país de origem.

ANEXO II

Tempos de pré-ajustagem de ferramentas

Tabela AII.1: Redução do tempo de preparação em torno CNC através da pré-ajustagem de ferramentas (ZOLLER & DAVIS TOOL).

Operação	Ferramenta pré-ajustada	Ferramenta não pré-ajustada
Remover o porta-ferramentas	25 s	---
Retirar o inserto	---	25 s
Fixar novo porta-ferramentas	20 s	---
Limpar assento do inserto	---	15 s
Colocar e fixar o inserto	---	15 s
Tornear o 1º diâmetro	---	30 s
Medir o diâmetro e calcular correção	---	60 s
Entrar com correção X	10 s	15 s
Tornear peça na direção Z	---	20 s
Medir Z e calcular correção	---	60s
Entrar com correção Z	10 s	15 s
Tornear	igual	igual
Medir diâmetro/comprimento	20 s	20 s
Calcular e entrar com correção X/Z	70 s	70 s
Tempo necessário para a preparação de uma ferramenta	155 s	355 s
Redução de tempo através de pré-ajustagem	200 s = 3,33 min	

Tabela A.II.2: Redução do tempo de preparação em centro de usinagem através da pré-ajustagem de ferramentas (ZOLLER & DAVIS TOOL).

Operação	Ferramenta pré-ajustada	Ferramenta não pré-ajustada
Colocar a ferramenta no magazine	20 s	20 s
Mover até a superfície da peça, calcular a correção, mover a ferramenta de volta para a posição anterior	---	120 s
Entrar com a correção da ferramenta	30 s	30 s
Executar a usinagem	igual	igual
Verificar dimensão	---	30 s
Tempo necessário para preparação de uma ferramenta	50 s	210 s
Redução de tempo através da pré-ajustagem	160 s = 2,66 min	

Tabela AII.3: Redução do tempo de preparação em centro de usinagem através da pré-ajustagem de ferramentas – ferramenta de mandrilar (ZOLLER & DAVIS TOOL).

Operação	Ferramenta pré-ajustada	Ferramenta não pré-ajustada
Colocar a ferramenta no magazine	20s	20s
Encostar ferramenta no furo (no diâmetro e comprimento) deslocar ferramenta	---	120 s
Medir furo e profundidade, calcular correção e deslocar ferramenta	---	120 s
Entrar com correção	30 s	30 s
Usinar o furo	igual	igual
Medir o furo	30 s	30s
Tempo necessário para preparação de uma ferramenta	80 s	320 s
Redução de tempo através da pré-ajustagem	240 s = 4 min	

Tabela A.II.4: Redução do tempo de preparação em fresadora CNC/mandriladora CNC através da pré-ajustagem de ferramentas (PWB).

Operação	Ferramenta pré-ajustada (1)	Ferramenta não pré-ajustada (2)
Colocar manualmente a ferramenta no fuso	20 s	20 s
Usinagem de teste ('trial')	---	60 s
Medição do diâmetro do furo e comprimento da ferramenta	---	120 s
Entrar valor da correção	20 s	20 s
Usinagem de teste	30 s	30 s
Tempo total de preparação por ferramenta	70 s	250 s
Redução do tempo de preparação através da pré-ajustagem	180 s = 3 min	

Tabela A.2.5: Redução do tempo de preparação em centro de usinagem através da pré-ajustagem de ferramentas (ELBO CONTROLLI).

Operação	Ferramenta pré-ajustada	Ferramenta não pré-ajustada
Colocar ferramenta no magazine	20 s	20 s
Posicionar ferramenta na árvore	10 s	10 s
Avançar ferramenta até a peça	---	40 s
Posicionar ferramenta tangenciando a face da peça	---	50 s
Colocar em MDI e digitar códigos para apurar dimensão	---	20 s
Registrar a dimensão no corretor	---	40 s
Afastar ferramenta	10 s	10 s
Retornar ferramenta no magazine	10 s	10 s
Tempo necessário para a preparação de uma ferramenta	50 s	200 s
Redução de tempo através de pré-ajustagem	200 - 50 = 150 s	