

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

" Efeito da variação da microestrutura dos aços nos
parâmetros de corte "

Lamartine Bezerra da Cunha

Opção: Fabricação

Agosto - 1976

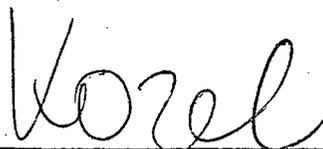
Esta tese foi julgada adequada para a obtenção do título de

" MESTRE EM CIÊNCIAS "

Especialidade Engenharia Mecânica e aprovada em sua forma fi
nal pelo Programa de pós-Graduação.

"Efeito da variação da microestrutura dos aços nos
parâmetros de corte"

Lamartine Bezerra da Cunha



Prof. Jaroslav Kozel, Ph.D.



Prof. Arno Blass, Ph.D.

Coordenador dos Cursos de Pós-Graduação
em Engenharia Mecânica

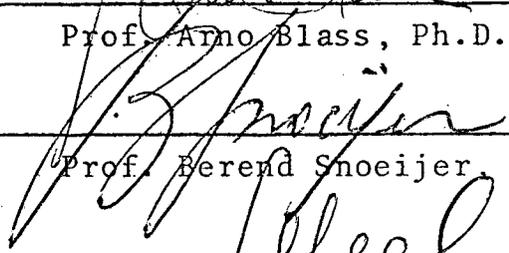
BANCA EXAMINADORA:



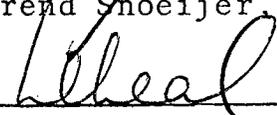
Prof. Jaroslav Kozel, Ph.D.



Prof. Arno Blass, Ph.D.



Prof. Berend Snoeijer, Ph.D.



Prof. Longuinho da Costa M. Leal, M.Sc.

À minha mãe

À memória de meu pai

À minha noiva

AGRADECIMENTOS

O autor deseja expressar seus agradecimentos à CAPES, ao B.N.D.E., ao FINEPE, à U.F.S.C., à U.F.Pe., pelo apoio financeiro recebido.

Ao Kozel, pela orientação, incentivo, prestatividade.

A Escola Técnica da Fundação Tupy, pela colaboração e ajuda.

Com intuito de deixar gravada sua gratidão pelo apoio e colaboração, sem os quais não seria possível a realização deste trabalho, o autor deseja expressar seu reconhecimento aos laboratoristas: Roberto, Cesar e Lídio; aos acadêmicos: Vitor, Cesar e Joatan; aos colegas: Abelardo, Elizabeth, Oswaldo e Brazzalle; e a todos que de uma maneira ou de outra, contribuíram na execução deste trabalho.

ABSTRACT

A study of the influence of the microstructure of steels upon the cutting parameters is presented, in order to establish the one which is more sensitive to changes in the microstructure. Such a study is relevant in the design of an adaptative control for cutting conditions.

Three commonly used varieties of steel, with three different microstructures, were machined, under conditions of constant depth of cut, but varying cutting speed and feed.

The analysed cutting parameters were the machining force components and temperature in the cutting zone. Forces were measured by means of a piezo-electric dynamometer, and temperatures were estimated by the piece-tool thermocouple method. All measuring systems were adequately calibrated.

Results were given as through statistical analysis, batch sizes being defined in terms of pre-established significance levels. Dispersion coefficients were also calculated for relevant parameters.

It is concluded that the principal cutting force and temperature are more sensitive to changes in the microstructure. Temperature however, behaves more satisfactorily from the measuring, point of view.

SUMÁRIO

A determinação da variação dos parâmetros de corte, em função da microestrutura dos aços, visou verificar qual parâmetro era mais sensível a variação da microestrutura.

A finalidade seria propiciar a construção futura de um controle adaptativo das condições de usinagem.

Com este fim, usinou-se tres aços de uso mais frequente, com tres microestruturas diferentes. Usando-se uma profundidade de corte constante, variou-se a velocidade de corte e o avanço.

Os parâmetros de corte pesquisados foram: componentes da força de usinagem e temperatura de corte. Usou-se um dinamômetro piezoelétrico, nas medições das forças de corte. A temperatura de corte foi medida pelo método do termopar peça-ferramenta.

Todos os sistemas de medição foram aferidos.

Procedeu-se uma acurada análise estatística dos resultados, determinando-se os tamanhos de amostras, dentro de níveis de significancia pré-fixados. Calculou-se também os coeficientes de dispersões dos diversos parâmetros medidos.

Concluiu-se que a força principal de corte e a temperatura de corte, são mais sensíveis as variações da microestrutura. Por outro lado, a temperatura apresentou um melhor comportamento nas medições.

<u>INDICE</u>	<u>PÁGINA</u>
1.	- Introdução.....1
2.	- Objetivos.....4
3.	- Fundamentos Teóricos.....5
3.1	- Fatores relacionados com o material.....5
3.1.1	- Dureza.....5
3.1.2	- Microestrutura.....6
3.1.2.1	- Efeito da microestrutura na usinabilidade.....8
3.1.3	- Composição química.....9
3.2	- Fatores relacionados com o processo mecânico e condições de usinagem.....10
4.	- Generalidades sobre o Procedimento Experimental.....11
4.1	- Considerações gerais.....11
4.2	- Projeto do Experimento.....12
4.3	- Projeto dos corpos de prova e mandris suporte.....14
4.3.1	- Projeto dos corpos de prova.....14
4.3.2	- Projeto dos mandris suportes dos corpos de prova.....14
4.4	- Características dos aços ensaiados.....18
4.4.1	- Identificação dos aços.....18
4.4.2	- Tratamentos térmicos.....18
4.4.3	- Ensaios de tração.....20
4.4.4	- Medições de dureza.....27
4.4.5	- Testes micrográficos.....41
4.5	- Montagem na máquina.....60
4.5.1	- Detalhes da montagem.....60
4.5.2	- Identificação da máquina.....63
4.5.3	- Características dos Equipamentos de medição.....63
4.6	- Ferramenta de corte.....64
4.7	- Metodologia do ensaios.....69
4.7.1	- Variáveis medidas.....69
4.7.2	- Métodos utilizados.....69
4.7.3	- Variáveis calculadas.....69
4.7.4	- Condições de corte fixadas.....69

ÍNDICEPÁGINA

4.7.4.1	- Velocidade de corte.....	69
4.7.4.2	- Avanços.....	70
4.7.4.3	- Profundidade de corte.....	70
4.7.5	- VARIÁVEIS referentes aos materiais.....	70
4.7.5.1	- Tipos de aços.....	70
4.7.5.2	- Tipos de microestruturas.....	70
4.7.6	- Planejamento dos ensaios.....	71
4.7.6.1	- Dimensionamento do número de ensaios.....	71
4.7.6.2	- Aferições dos equipamentos.....	73
4.8	- Aferição do sistema de medição das rota ções.....	74
4.8.1	- Esquema da aferição.....	74
4.8.2	- Equipamentos usados na aferição.....	75
4.8.3	- Características da aferição.....	76
4.8.4	- Resultados da aferição.....	78
5.	- Medição das forças de corte.....	84
5.1	- Considerações sobre as forças de corte.....	84
5.2	- Descrição do sistema de medição.....	85
5.3	- Características dos equipamentos.....	85
5.4	- Aferição do dinamômetro Kistler.....	92
5.4.1	- Descrição da aferição.....	92
5.4.2	- Equipamentos auxiliares usados na aferição.....	94
5.4.3	- Resultados da aferição.....	95
5.5	- Aferição do sistema: Amplificador de Sinais- filtros-galvanômetros do oscilografo.....	99
5.5.1	- Aferição da componente Pc.....	99
5.5.2	- Aferição da componente Pa.....	100
5.5.3	- Aferição da componente Pp.....	100
5.5.4	- Equipamentos usados na aferição.....	101
6.	- Medição da temperatura de corte.....	102
6.1	- Considerações sobre o termopar peça-ferra menta.....	102
6.2	- Descrição do sistema de medição.....	103
6.2.1	- Características dos equipamentos.....	104
6.2.2	- Adaptações feitas no suporte da ferramenta.....	105
6.3	- Aferição do termppar peça-ferramenta.....	106

<u>ÍNDICE</u>	<u>PÁGINA</u>
6.3.1	- Considerações sobre o sistema de aferição106
6.3.2	- Descrição do sistema de aferição107
6.3.3	- Descrição do conjunto de medição usado na aferição109
6.3.4	- Características dos equipamentos utiliza- dos112
6.3.5	- Resultados da aferição113
6.3.6	- Comentários sobre os resultados das aferi- ções.....121
6.3.7	- Aferição do sistema filtro-galvanômetro.....124
7.	- Tratamento e apresentação dos resultados125
7.1	- Tratamento dos resultados125
7.1.1	- Leitura dos registros do oscilografo125
7.1.1.1	- Detalhes do método de leitura dos regis- tros127
7.1.1.2	- Conversão das ordenadas para as unidades requeridas127
7.1.1.2.1	- Pc127
7.1.1.2.2	- Pa129
7.1.1.2.3	- Pp129
7.1.1.2.4	- θ129
7.1.1.3	- Precisão do método de leitura129
7.1.2	- Tratamento estatístico dos resultados130
7.1.2.1	- Valor médio.....130
7.1.2.2	- Desvio padrão130
7.1.2.3	- Coeficiente de Dispersão130
7.1.2.4	- Amplitude do intervalo de confiança da média131
7.1.2.5	- Amplitude do intervalo de confiança da média em % da média131
7.1.2.6	- Tamanho da amostra131
7.1.2.7	- Considerações sobre o tratamento estatístico ..133
7.2	- Apresentação dos resultados134
8.	- Comentários e interpretação dos resultados158
8.1	- Comentários sobre as características mecâ- nicas e microestruturais dos aços158
8.1.1	- Aço 1158

ÍNDICEPÁGINA

8.1.1.1	- Características dos ensaios de tração	158
8.1.1.2	- Dureza	158
8.1.1.3	- Microestrutura	158
8.1.2	- Aço 2	159
8.1.2.1	- Características dos ensaios de tração.....	159
8.1.2.2	- Dureza	159
8.1.2.3	- Microestrutura	159
8.1.3	- Aço 3	160
8.1.3.1	- Características dos ensaios de tração	160
8.1.3.2	- Dureza	160
8.1.3.3	- Microestrutura	160
8.2	- Interpretação dos resultados	160
8.2.1	- Aço 1	160
8.2.1.1	- Força principal de corte, P_c	161
8.2.1.2	- Força passiva, P_p	161
8.2.1.3	- Força de avanço, P_a	161
8.2.1.4	- Temperatura de corte, θ	162
8.2.2	- Aço 2	162
8.2.2.1	- Força principal de corte, P_c	162
8.2.2.2	- Força passiva, P_p	162
8.2.2.3	- Força de avanço, P_a	162
8.2.2.4	- Temperatura de corte, θ	162
8.2.3	- Aço 3	163
8.2.3.1	- Força principal de corte, P_c	163
8.2.3.2	- Força passiva, P_p	163
8.2.3.3	- Força de avanço, P_a	163
8.2.3.4	- Temperatura de corte, θ	164
8.3	- Análise dos resultados em função das ca racterísticas mecânicas	164
8.3.1	- Aço 1	164
8.3.2	- Aço 2	164
8.3.3	- Aço 3	165
8.4	- Análise das medições efetuadas	165
9.	- Avarias das ferramentas na usinagem da mi croestrutura normalizada do Aço 3	169
10.	- Conclusões e Sugestões	177

	<u>ÍNDICE</u>	<u>PÁGINA</u>
10.1	- Conclusões	177
10.2	- Sugestões.....	178
	- Referências bibliográficas.....	179
	- Apêndices	183
	- Apêndice I - Curvas de Aferições de termo pares peça-ferramenta com influencia de diversos fatores.....	183
	- Apêndice II - Cálculos auxiliares e pro gramas de computação	188
	- Apêndice III - Tabelas com resultados dos ensaios	199

1. INTRODUÇÃO

A evolução alcançada nos projetos das máquinas operatrizes foi extraordinário. Foram desenvolvidos vários tipos de comandos: pneumáticos, elétricos e eletrônicos. A diversificação dos tipos de materiais e ferramentas utilizadas crescem, com isto surgiu a necessidade de máquinas mais versáteis.

As máquinas operatrizes com controle numérico foram desenvolvidas para atender a esta necessidade. Os dados que antes eram fornecidos pelo operador, são agora armazenados em unidades de memória do controle da máquina. Antes de iniciar-se uma operação, os dados requeridos são fornecidos ao controle e assim a programação é ditada diretamente sem intervenção do operador.

Capazes de executarem trabalhos com precisão inigualável, no entanto, estas máquinas carecem de um melhor aproveitamento dos recursos que seus controles são capazes de fornecer. Ao executar um programa de operação, na usinagem de um dado lote de peças, foi suposto que o material usinado apresentaria uma certa homogeneidade.

Nem sempre o material apresenta uma estrutura homogênea, ao longo de um lote de barras. Até a composição química pode variar em pequenas proporções. Estas variações serão refletidas diretamente na vida da ferramenta. Como consequência, o acabamento superficial das peças usinadas mostrará os desgastes sofridos pela ferramenta. Certamente a ferramenta poderá ser substituída, porém, trata-se de algo não previsto.

Isto como um fato isolado, quase nada altera as condições econômicas da operação, todavia sua repetibilidade causará sérios prejuízos. Para contornar o problema duas soluções são possíveis.

A primeira seria reprogramar as operações com condições de corte tais que a vida da ferramenta atingisse o tempo desejado inicialmente. Isto só seria possível após a constatação das irregularidades, ou seja, após o prejuízo causado.

A segunda solução seria corrigir instantaneamente , as condições de corte em função da dificuldade encontrada pela ferramenta na usinagem do material. Em outras palavras, corrigir as condições de corte em função da variação da estrutura do material.

A teoria da usinagem diz que o desgaste sofrido pela ferramenta é função de vários parâmetros, entre eles: força e temperatura de corte.

Medi-los seria uma maneira de avaliar o desgaste da ferramenta; ainda mais prático seria relacionar tais parâmetros com a variação da estrutura do material. Usar os sinais correspondentes aos valores de temperatura ou força de corte, como informações auxiliares no controle das máquinas, seria ideal.

Apenas um destes sinais já seria suficiente como informação adicional, ao fazê-lo introduzir-se-ia um "controle adaptativo das condições de corte".

Um controle adaptativo consta de um transdutor para medir força ou temperatura de corte e uma unidade de processamento, capaz de enviar ao controle da máquina sinais interpretáveis, de acordo com a programação existente.

Algumas pesquisas foram desenvolvidas nesta área e mesmo alguns controles adaptativos construídos. Entre eles: Giusti ¹ no Instituto de Tecnologia da Universidade de Pisa , Jaeschke - Zimmerly e Wu ² na Universidade de Wiscosin.

Ambos desenvolvidos para operações de torneamento e usando como sinal padrão, aquele referente à temperatura de corte.

Outros controles ainda merecem citação. Shillan³ da Royal Aircraft Establishment Farnborough, fez testes utilizando controles adaptativos em operações de torneamento e furação, o sinal padrão utilizado foi da temperatura de corte.

Ledergerber ⁴ testou um controle adaptativo em operações de torneamento, usando como sinal padrão, aquele referente às componentes da força de usinagem.

Todos estes controles adaptativos foram construídos

e usados com sucesso, e isto após o desenvolvimento das máquinas com controle numérico. Industrialmente não se tem notícia ainda da utilização de tais controles adaptativos; justifica-se pelo fato de ser pequena a utilização das máquinas de controle numérico nas indústrias.

As pesquisas realizadas foram dentro das universidades, não se conhece nada a respeito da industrialização de controles adaptativos, todavia sua construção não é tão difícil e requer técnicos em eletrônica e controle.

Torna-se conveniente ressaltar que na maioria dos controles adaptativos construídos, o sinal padrão utilizado foi aquele da temperatura de corte. Isto leva a supor que existe uma maior facilidade de medição e processamento deste sinal.

O método de medição da temperatura de corte empregado em todos os controles citados foi o do termopar peça - ferramenta.

2. OBJETIVOS

Este trabalho tem por objetivo verificar entre os parâmetros de corte, componentes da força de usinagem e temperatura de corte, qual é mais sensível à variação da microestrutura de um determinado material.

Por outro lado, tentar-se-á estabelecer uma relação entre a microestrutura e um destes parâmetros.

A determinação do parâmetro mais sensível possibilitará a construção futura de um controle adaptativo das condições de corte.

3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Este trabalho visou verificar a influencia da varia_ção da microestrutura nos parâmetros de corte, e não um estudo da usinabilidade. Todavia os fundamentos teóricos da usinagem, relaciona-os intimamente.

Dentre os fatores que influem na usinabilidade de um material, os que apresentam importancia relacionada com o ob_{je}tivo deste trabalho são os seguintes:

- Material da peça
- Processo mecânico e condições de usinagem, Ferraresi⁵

Com relação ao material da peça os fato_{res} que influem são:

- Dureza
- Microestrutura
- Composição química

Dentre os processos mecânicos e condições de usina_{gem} os que mais influem são:

- Material da ferramenta
- Condições de usinagem
 - Velocidade de corte
 - Avanço
 - Profundidade de corte
 - Geometria da ferramenta

3.1 Fatores relacionados com o material

3.1.1 Dureza

Altas durezas implicam em dificuldades de usinagem, enquanto valores médios e baixos significam boas propriedades de usinabilidade. Apesar disto, as medidas de durezas isoladas não servem como guia de usinabilidade, visto que o material en

crua durante a usinagem.

Durante a usinagem, o cavaco retirado é formado de partículas arrancadas do metal. No caso da ferrita n^o aço, em vez do material ser arrancado, tende a aderir à ferramenta, segundo Chiaverini⁶.

A relação existente entre a dureza e a tensão final, levou a pensar que a dureza era um índice de usinabilidade. Tempos depois, esta hipótese foi abandonada, pois não era uma regra geral. Para alguns materiais a dureza pode servir como índice de usinabilidade, para outros não.

Como consequência, é necessário considerar outros fatores tais como, plasticidade e microestrutura, Micheletti⁷. A plasticidade tem um efeito negativo na usinabilidade, devido ao grande valor da deformação do material por ocasião do aparecimento da aresta postiça de corte; o baixo valor do ângulo de cisalhamento é também responsável, Micheletti⁷.

3.1.2 Microestrutura

A microestrutura caracteriza melhor a usinabilidade. Sem alterar a composição química do material pode-se modificar sua microestrutura

No caso do aço, segundo Chiaverini⁶ e Colpaert⁸, a microestrutura deve ser analisada considerando seus microconstituintes, quais sejam:

Ferrita: trata-se do Ferro no estado alotrópico α, contendo em solução traços de carbono. Apresenta uma estrutura de grãos poligonais irregulares.

Propriedades: possui baixa dureza e uma baixa resistência à tração, cerca de 28,0 kgf/mm², porém tem excelente

resiliência e elevado alongamento. Tem um efeito positivo na vida da ferramenta.

Cementita: Carboneto de Ferro, Fe_3C , contendo 6,67% de C.

Propriedades: muito dura (lugar do feldspato na escala de Mohr), quebradiça e é responsável pela elevada dureza dos aços de alto teor de carbono, assim como pela sua menor ductilidade.

Perlita: é caracterizada pela mistura dos constituintes anteriores, Ferrita e Cementita na proporção de 88% e 12% respectivamente

Suas propriedades mecânicas são intermediárias entre Ferrita e Cementita, dependendo, entretanto do tamanho das partículas de Cementita. O aspecto da Perlita é de finas lâminas, sua resistência à tração é em média 75 kg/mm^2 .

A proporção de Perlita num aço cresce de 0 (zero) para o ferro até 100% para aços eutetóides de (0,8% de C), de modo que um aço com 0,5% de C apresenta ~ 62,5% de Perlita.

Austenita: consta de uma solução sólida de carbono do ferro gama, estável apenas acima de 723°C , para aços com 0,8% de carbono. Apresenta uma estrutura de grãos poligonais irregulares, possui boa tenacidade e resistência mecânica.

Bainita: estrutura resultante da transformação da austenita no resfriamento isotérmico, entre 550°C e 250°C , seu aspecto varia desde um agregado fino em torno de 450°C até um constituinte em forma de agulhas com coloração escura em torno dos 200°C . Sua dureza varia de 40 a 60 Rc.

Martensita: forma-se através de um resfriamento brusco, passando a curva de resfriamento a esquerda do cotovelo do diagrama TTT, sua constituição é completamente diferente dos anteriores e depende da temperatura. Sua aparência e forma são semelhantes as da bainita, isto é, apresenta-se em agulhas, porém, com coloração mais clara. É bastante dura e quebradiça.

3.1.2.1 Efeito da microestrutura na usinabilidade

Segundo Chiaverini ⁶, o efeito da microestrutura na usinabilidade, resume-se assim:

- a.) Os aços com até 0,20% C são mais economicamente usinados no estado simplesmente laminado contudo, melhores resultados são conseguidos se é feito um recozimento para aliviar as tensões do material. Além da dureza maior, devida ao encruamento provocado pela laminação, um tamanho de grão ferrítico pequeno, conseguido pelo recozimento melhora a usinabilidade;
- b.) aços com teor de carbono entre 0,20 e 0,30% são mais bem usinados por sua estrutura perlítica, quando são obtidos por laminação e de diâmetros superiores a 75,0 mm.
Para diâmetros menores é preferível uma estrutura normalizada;
- c.) aços de médio teor de carbono (0,30 a 0,40% C) são mais bem usinados por sua estrutura perlítica grosseira, conseguida com um recozimento;
- d.) aços de médio e alto carbono (0,40 a 0,60% C) apresentam melhor usinabilidade quando possuem estrutura de perlita lamelar ou esferoidita grosseira;

e.) aços de alto carbono (acima de 0,6% C) apresentam melhor usinabilidade quando apresentam a estrutura esferoidita, de grosseira a fina.

3.1.3 Composição química

A influência da composição química faz-se sentir não só pela variação possível no teor de carbono; a presença dos elementos de liga na composição do aço exercem também notável influência.

A composição química pode ser alterada como se desejar, a introdução controlada de alguns elementos de liga pode melhorar ou dificultar a usinabilidade.

Segundo Micheletti ⁷ e Field ⁹, as influências dos principais elementos de liga na usinabilidade são as seguintes:

Enxofre: o enxofre, combinado com o manganês do aço, pode formar inclusões de sulfeto de manganês que ajuda a reduzir o atrito entre cavaco e ferramenta e, geralmente dota a peça usinada de um melhor acabamento superficial, além de dar uma maior vida à ferramenta.

A inclusão de sulfeto de manganês é importante porque quebra a continuidade da Ferrita, além do efeito citado anteriormente;

Chumbo: o chumbo é adicionado ao aço para melhorar sua usinabilidade; atua como lubrificante interno, reduzindo a temperatura de corte, aumentando a vida da ferramenta e melhorando o acabamento superficial.

Aparece na estrutura do aço como uma dispersão de chumbo metálico;

Selênio e Bismuto: causam efeitos similares ao enxofre;

Alumínios e Silicatos: são usados normalmente no processo de Produção dos Aços na desoxidação e causam efeitos adversos à usinabilidade. O alumínio em especial provoca a produção de Al_2O_3 (uma inclusão angular dura) que causa redução na vida da ferramenta.

Resumindo-se, pode-se dizer que, com excessão dos dois últimos, que todos provocam:

- a.) aumento da vida da ferramenta;
- b.) redução do atrito entre cavaco e ferramenta, melhorando o acabamento superficial;
- c.) redução das forças e potências de corte.

3.2 Fatores relacionados com o processo mecânico e condições de usinagem

A influência destes fatores na usinabilidade, já foi um assunto amplamente exposto e discutido na literatura, de modo que resumi-los seria desnecessário. No entanto cite-se que Ferraresi ⁵, Queiroz ¹⁴, Shaw ¹⁸, Boothroyd ²⁰ e outros, são autores que tecem bastante comentários nesta parte.

4. GENERALIDADES SOBRE O PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

4.1 Considerações gerais

Conforme as necessidades do objetivo exposto, selecionaram-se 3 tipos de aços de uso mais frequente na indústria da construção mecânica. Em cada aço variou-se sua microestrutura, através de tratamentos térmicos.

Para caracterizar especificamente cada aço utilizado foram analisadas as seguintes características:

- Composição química
- Tensão de ruptura por tração
- Dureza
- Microestrutura
- Tamanho de grão

A fim de obter diferentes microestruturas, efetuaram-se os tratamentos térmicos de recozimento e normalização. As microestruturas utilizadas foram:

- Simplesmente laminada
- Recozida
- Normalizada

Quanto aos parâmetros de corte, mediu-se:

- Componentes da força de usinagem
- Temperatura de corte

Estas medições foram efetuadas segundo diferentes condições de corte. Variaram-se:

- Velocidade de corte
- Avanços

Usaram-se 4 valores distintos de velocidade de corte e para cada um, usinou-se com 3 valores de avanço.

As demais condições de corte permaneceram constantes, tais como:

- Profundidade de corte
- Material da ferramenta
- Geometria da ferramenta

A operação de corte utilizada foi torneamento com corte oblíquo. Justifica-se o corte oblíquo porque é mais utilizado na prática.

Com isto pensou-se na aplicação prática do trabalho e devido a isto, os cortes foram realizados com ferramenta de metal duro.

4.2 Projeto do experimento

A figura 4.1 apresenta um esquema do referido projeto.

As componentes da força de usinagem foram medidas com um dinamômetro de plataforma de medição piezoelétrica.

A temperatura de corte foi medida pelo método do termopar peça-ferramenta. O uso de tal método é justificado devido a sua larga utilização nas recentes pesquisas desenvolvidas.

Fixadas as condições de corte, os avanços foram selecionados diretamente na máquina. A velocidade de corte, porém, seria fixada indiretamente. Através da expressão 4.1, vê-se como foi calculado a rotação da máquina, para um valor desejado da velocidade de corte.

$$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1\ 000} \quad (4.1)$$

onde:

- V_c = velocidade de corte (m/min)
- D = diâmetro médio usinado (mm)
- n = rotações (rpm)

O valor do diâmetro usinado seria conhecido na ocasião do ensaio, medido com um paquímetro. A rotação "n" foi calculada através de (4.1) e seria fixada na máquina.

Surgiu então a necessidade de medir rotações da máquina e que esta fosse dotada de um sistema capaz de variar continuamente as rotações. Esta necessidade é justificada porque as velocidades de corte, deveriam ser obtidas com razoável precisão.

Para medir rotações usou-se um taco-gerador.

Projetaram-se os corpos de prova em forma de anéis, montados sobre um mandril. Montaram-se combinações diferentes de microestruturas, de anel para anel, para cada aço.

Devido à necessidade de leitura simultânea dos sinais de forças e temperaturas de corte, usou-se um oscilógrafo com galvanômetros adequados para registrar simultaneamente tais sinais.

A profundidade de corte foi fixado diretamente na máquina, no carro transversal do torno. Para testar a exatidão da medida usou-se um relógio comparador. Procedimento análogo foi usado na verificação do avanço.

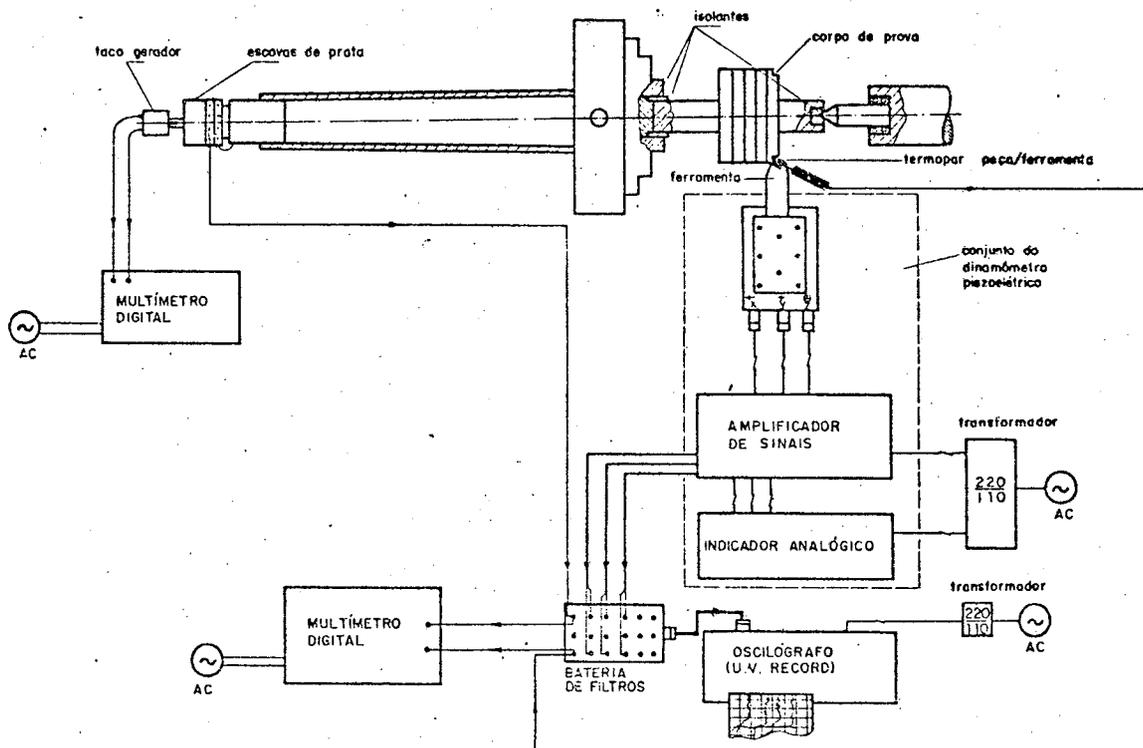


FIGURA 4.1 - ESQUEMA DAS MEDICÕES DE ROTAÇÕES, FORÇAS E TEMPERATURA DE CORTE

4.3 Projeto dos Corpos de Prova e Mandris de suporte

4.3.1 Projeto dos Corpos de Prova

Foi dito que os corpos de prova teriam a forma de anéis, assim dimensionaram-se anéis para usar em ensaios prévios e caso estes mostrassem aceitabilidade seriam usados nos testes definitivos.

Levou-se em conta que, em vista do número de ensaios necessários, as dimensões não deveriam ser muito grandes pois acarretariam gasto excessivo de material. Adotaram-se as seguintes dimensões para o anel, de acordo com a figura 4.2

Diâmetro externo	72,0 mm
Diâmetro interno	40,0 mm
Largura	10,0 mm

A dimensão interna estaria sujeita à verificação em função da dimensão externa do mandril.

Como se optou pela fixação dos anéis no mandril por interferência, calculou-se a interferência necessária para resistir a uma força principal de corte (P_c) de 500,0 kgf. Tomou-se este valor como limite máximo a que se poderia chegar e, posteriormente, verificou-se que tal valor nunca seria atingido nos testes, estando assim o dimensionamento com excelente confiabilidade.

O cálculo da interferência levou à fixação das tolerâncias indicadas no desenho da figura 4.2 e 4.3 para o anel e mandril respectivamente.

Após os ensaios prévios as dimensões dos anéis mostraram-se satisfatórias, sendo as mesmas adotadas para os demais.

4.3.2 Projeto dos Mandris suportes dos Corpos de Prova

Para a montagem em apreço, os mandris deveriam ser construídos com um aço de boas qualidades e propriedades após a têmpera. Isto porque os esforços da usinagem poderiam mascarar as medidas da profundidade de corte, a qual deveria permanecer constante durante o corte.

Com isto selecionou-se o aço STORA 433, com as seguintes características, fornecidas pelo fabricante:

Tipo: aço rápido a base de molibdênio

Propriedades: alta resistência ao desgaste, boa tenacidade, alta dureza a quente e boa resistência ao revenido.

Condições para Têmpera: 1180 a 1210°C em óleo ou ar.

Dimensionamento:

Como ponto de partida, fixou-se o valor da flecha máxima sob carga = 0,004 mm, com isto os erros causados na profundidade de corte seriam desprezáveis. Tomou-se um comprimento de 190,0 mm, suficiente para a montagem na máquina.

Considerou-se o mandril como uma viga engastada nos extremos, com uma carga concentrada, aplicada no meio. A partir destes dados calculou-se o diâmetro necessário. O valor da carga foi tomado igual ao máximo valor da força principal de corte, no caso 280,0 kgf.

Resultou o mandril com um diâmetro de 39,0 mm adotou-se 40,0 mm e, em seguida passou-se ao cálculo da interferência para a montagem dos anéis.

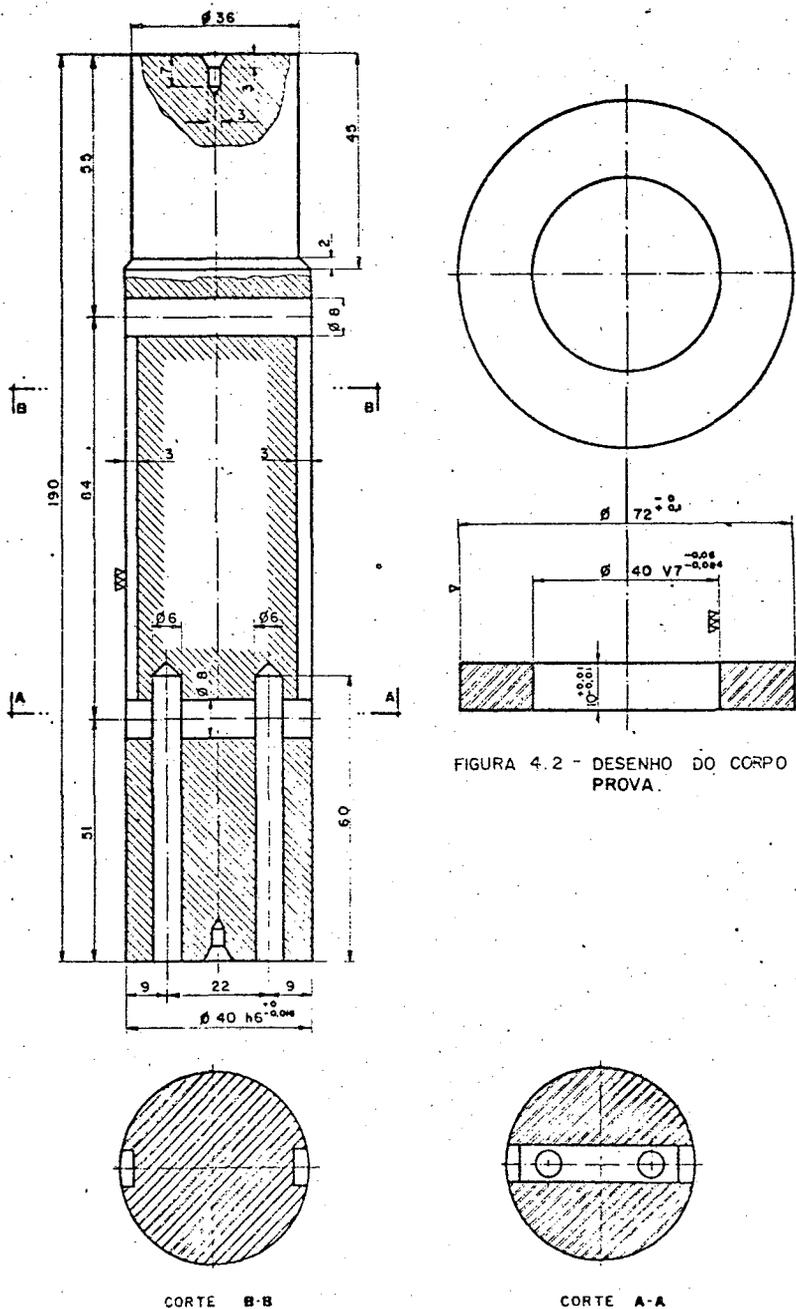
A forma externa mostrada pela figura 4.3, resultou de cuidados prévios. Os rasgos laterais foram construídos prevendo-se a necessidade de colocarem-se chavetas para fixação dos anéis, caso não fosse possível fabricar os anéis com as tolerâncias especificadas. Os furos, que aparecem no corte da figura 4.3, foram feitos para colocação dos fios de conexão da junta para medição da temperatura de corte, embora por ocasião

dos testes mostrou-se mais prático fazer a junta de modo diferente.

Os mandris foram usinados, temperados, revenidos e posteriormente retificados até a obtenção das dimensões especificadas na figura 4.3. A dureza superficial resultou igual a 65 Rc.

A figura 4.4 mostra a foto dos anéis fabricados com as dimensões especificadas e o mandril, prontos para a montagem por interferência.

A figura 4.5 mostra a foto dos anéis em número de cinco, montados no mandril e aptos a montagem na máquina para execução dos ensaios.



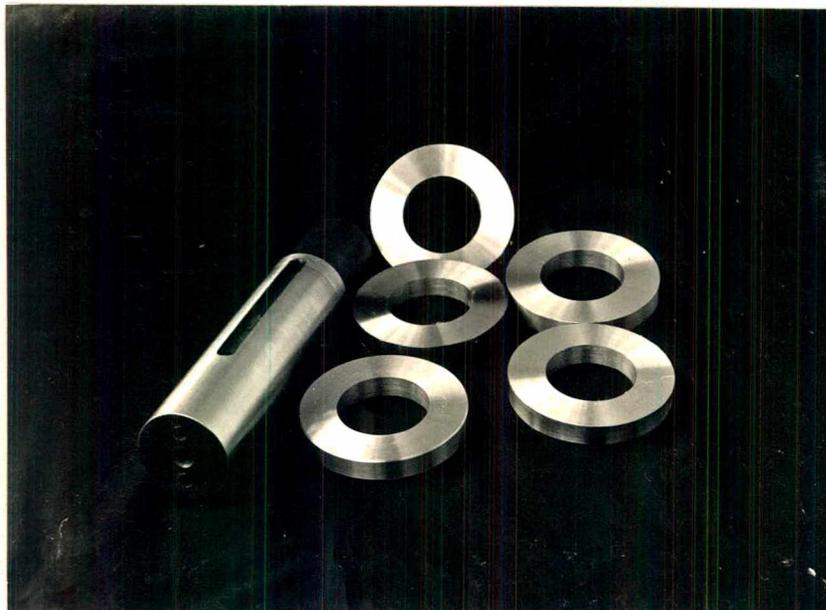


FIGURA 4.4 - Corpos de Prova e mandril aptos para a montagem.

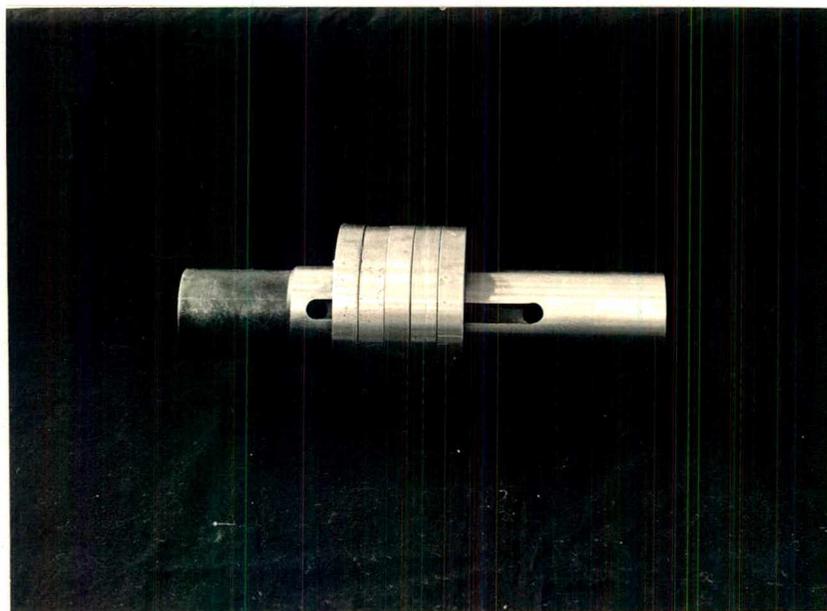


FIGURA 4.5 - Corpos de Prova montados por interferência no mandril, aptos à montagem na máquina.

4.4 Características dos Aços Ensaiaados

4.4.1 Identificação dos aços

Usaram-se três tipos de aços e após a análise química dos mesmos procedida no laboratório da Escola Técnica da Fundação Tupy em Joinville, obtiveram-se as seguintes composições conforme a tabela 1 que segue:

Aços	Constituintes em %							
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo
Aço 1	0,14	0,1	0,51	0,013	0,010	--	--	--
Aço 2	0,54	0,22	0,87	0,018	0,020	--	--	--
Aço 3	0,42	0,21	--	0,015	0,030	0,94	1,67	0,21

Tabela 1 - Composição química dos aços

De acordo com a A.S.M.E. Handbook, Metals properties ¹⁰, em função das composições dadas pela Tabela 1 identificou-se os aços da seguinte maneira:

- Aço 1 - SAE ou ABNT 1015
- Aço 2 - SAE ou ABNT 1050
- Aço 3 - SAE ou ABNT 4340

4.4.2 Tratamentos térmicos

Com o fim de obterem-se variações nas microestruturas dos aços foram procedidos para cada um deles os tratamentos térmicos de Recozimento e Normalização. Estes tratamentos foram efetuados segundo a recomendação da A.S.M.E. Handbook ¹⁰, conforme especifica a tabela 2 que segue:

AÇOS	TRATAMENTO	TEMPERATURA °C	TEMPO DE PERMANENCIA (min)
1	RECOZIMENTO	860°	18,0
1015	NORMALIZAÇÃO	927°	15,0
2	RECOZIMENTO	827°	18,0
1050	NORMALIZAÇÃO	885°	15,0
3	RECOZIMENTO	900°	18,0
4340	NORMALIZAÇÃO	920°	15,0

Tabela 2 - Características dos tratamentos térmicos

Na realização dos Tratamentos Térmicos foi utilizado um forno Brasimet com as seguintes características:

Forno Brasimet

Tipo KS 25/15/35 Nº 20LA

Temperatura máxima 1350°C

Tensão de Alimentação 220 V

Frequência 60 Hz

Potência 14 Kw

Fabricação Brasimet, São Paulo

Para utilização do referido forno os corpos de prova foram dispostos em prateleiras de aço inoxidável, conforme mostra o desenho da figura 4.6.

Esta disposição foi adotada para evitar o contato direto de um anel com o outro e que problemas maiores com a descarbonetação superficial, fossem evitados.

Para verificar a uniformidade da temperatura nas prateleiras foi procedida um ensaio prévio, colocando-se um anel em cada prateleira com um termopar colocado em seu interior através de um furo e com isto constatou-se ser uniforme a distribuição de temperatura nas prateleiras colocadas no interior do forno.

Verificou-se também o tempo que o aço levava para atingir a temperatura especificada pela tabela 2, com o fim de estabelecer, por ocasião do tratamento térmico em questão, o tempo correto de permanência do material à temperatura especificada para cada caso.

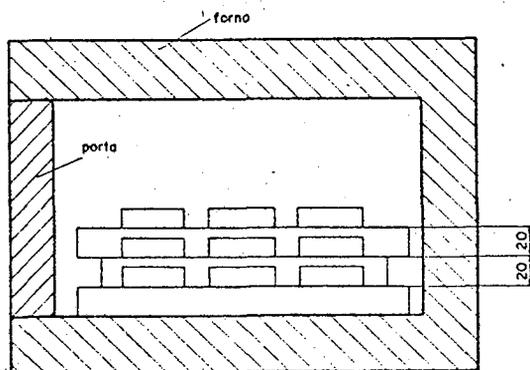


FIGURA 4.6 - ESQUEMA DA DISPOSIÇÃO DOS ANEIS NO FORNO PARA REALIZAÇÃO DOS TRATAMENTOS TÉRMICOS.

Os corpos de prova para coleta de amostras para medição de dureza e micrografias foram colocados no forno simultaneamente com os outros corpos de prova, para garantir que as propriedades das amostras representassem realmente a população.

As microestruturas resultantes passaram a ser denominadas como segue:

- MIC 1 - MICROESTRUTURA SIMPLEMENTE LAMINADA
- MIC 2 - MICROESTRUTURA RECOZIDA
- MIC 3 - MICROESTRUTURA NORMALIZADA

4.4.3 Ensaio de Tração

Com o fim de se obter a tensão de ruptura por tração foram realizados ensaios de tração para as diversas microes

trutura em cada tipo de aço. Com este fim foi utilizado o corpo de prova tamanho A₆ segundo a A.B.N.T.¹¹ com as dimensões especificadas na figura 4.7.

Para cada microestrutura foram ensaiados tres corpos de prova, e de posse do diâmetro e consequentemente a área, calculados os diversos valores da tensão de ruptura (σ_r).

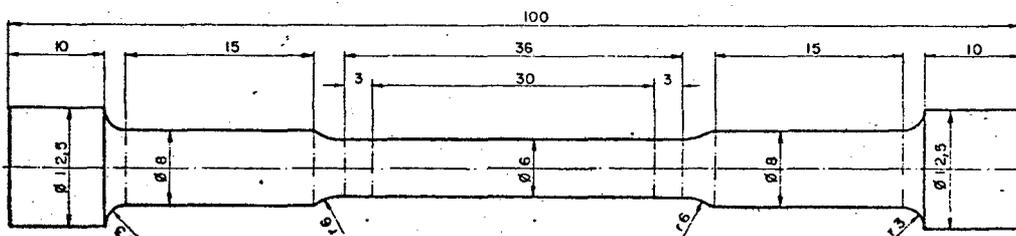


FIGURA 4.7 - CORPO DE PROVA PARA ENSAIO DE TRAÇÃO TIPO A6 - ABNT II.

Características do corpo de prova:

$$\phi = 6,0 \text{ mm}, \quad \text{Área}, \quad A = 28,27 \text{ mm}^2$$

Características da máquina utilizada para os Ensaios de Tração:

Marca: W.P.M. - Rauenstein

Tipo: 7DM W 191

Nº: 2214/59

Velocidade constante

Fabricação W.P.M. - Alemanha

Simbologia utilizada nas Tabelas dos resultados dos ensaios de tração:

C.P. - Corpo de Prova

\bar{x} - Valor médio

S - Desvio padrão

- X - Dispersão = S/\bar{x}
- K - Amplitude do Intervalo de Confiança da média.
- K% - Intervalo de Confiança da média em %

No capítulo referente a Apresentação e Discussão dos resultados serão definidos os parâmetros estatísticos aqui utilizados.

As tabelas 3 a 11, que se seguem mostram os resultados obtidos nos ensaios de tração.

A figura 4.8 mostra um gráfico composto com σ_r x microestrutura para os aços 1, 2 e 3 respectivamente.

A máquina de ensaios de tração fornece o valor da força de ruptura em kgf, logo a tensão de ruptura calculada será dada por:

$$\sigma_r = \frac{P}{A} \quad (4.2)$$

onde:

- σ_r = tensão de ruptura (kgf/mm²)
- P = força de ruptura (kgf)
- A = área do corpo de prova = 28,27 mm²

N	Força de ruptura medida (kgf)	Tensão de ruptura calculada (σ_r) (kgf/mm ²)
C.P. 1	1070,0	37,84
C.P. 2	1075,0	38,02
C.P. 3	1070,0	37,84
\bar{x}		37,90
S		0,10
X		0,27
K		0,21
K%		0,56

Tabela 3 - Resultados dos ensaios de tração
Aço 1 - Microestrutura Simplesmente Laminada

N	Força de ruptura medida (kgf)	Tensão de ruptura calculada (σ_r) (kgf/mm ²)
C.P. 1	840,0	29,71
C.P. 2	835,0	29,53
C.P. 3	800,0	28,29
\bar{x}		29,18
S		0,77
X		2,64
K		1,59
K%		5,45

Tabela 4 - Resultados dos ensaios de tração.
Aço 1 - Microestrutura Recozida

N	Força de ruptura medida (kgf)	Tensão de ruptura calculada (σ_r) (kgf/mm ²)
C.P. 1	(840,0)	(29,71) *
C.P. 2	920,0	32,54
C.P. 3	945,0	33,42
\bar{x}		32,98
S		0,62
X		1,89
K		3,93
K%		11,91

Tabela 5 - Resultados dos ensaios de tração.
Aço 1 - Microestrutura Normalizada

(*) valor abandonado para fins do cálculo da média

N	Força de ruptura medida (kgf)	Tensão de ruptura calculada (σ_r) (kgf/mm ²)
C.P. 1	2235,0	79,05
C.P. 2	2230,0	78,87
C.P. 3	2220,0	78,52
\bar{x}		78,81
S		0,27
X		0,34
K		0,56
K%		0,71

Tabela 6 - Resultados dos ensaios de tração
Aço 2 - Microestrutura Simplesmente Laminada

N	Força de ruptura medida (kgf)	Tensão de ruptura calculada (σ_r) (kgf/mm ²)
C.P. 1	1935,0	68,44
C.P. 2	2025,0	71,62
C.P. 3	2020,0	71,44
\bar{x}		70,50
S		1,79
X		2,54
K		3,69
K%		5,24

Tabela 7 - Resultados dos ensaios de tração.
Aço 2 - Microestrutura Recozida

N	Força de ruptura medida (kgf)	Tensão de ruptura calculada (σ_r) (kgf/mm ²)
C.P. 1	2220,0	78,52
C.P. 2	2275,0	80,46
C.P. 3	2135,0	75,51
\bar{x}		78,16
S		2,49
X		3,19
K		5,15
K%		6,59

Tabela 8 - Resultados dos ensaios de tração.
Aço 2 - Microestrutura Normalizada

N	Força de ruptura medida (kgf)	Tensão de ruptura calculada (σ_r) (kgf/mm ²)
C.P. 1	2947,0	104,23
C.P. 2	2988,0	105,68
C.P. 3	2900,0	102,57
\bar{x}		104,16
S		1,56
X		1,50
K		3,22
K%		3,09

Tabela 9 - Resultados dos ensaios de tração.

Aço 3 - Microestrutura Simplesmente Laminada

N	Força de ruptura medida (kgf)	Tensão de ruptura calculada (σ_r) (kgf/mm ²)
C.P. 1	2520,0	89,13
C.P. 2	2530,0	89,48
C.P. 3	2645,0	93,55
\bar{x}		90,72
S		2,46
X		2,71
K		5,07
K%		5,59

Tabela 10 - Resultados dos ensaios de tração

Aço 3 - Microestrutura Recozida

N	Força de ruptura medida (kgf)	Tensão de ruptura calculada (σ_r) (kgf/mm ²)
C.P. 1	4830,0	170,83
C.P. 2	4765,0	168,53
C.P. 3	4335,0	153,32
\bar{x}		164,22
S		9,51
X		5,79
K		19,64
K%		11,96

Tabela 11 - Resultados dos ensaios de tração.

Aço 3 - Microestrutura Normalizada

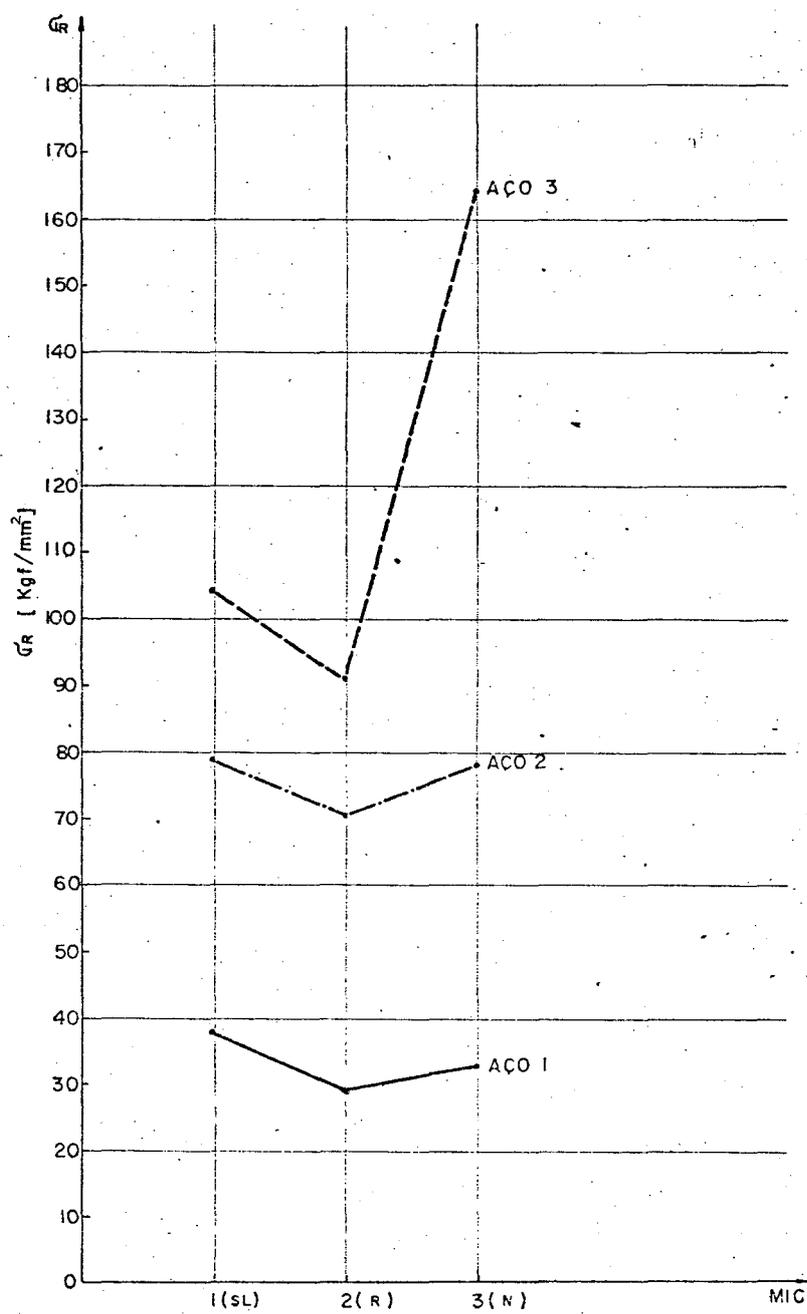


FIGURA 4.8 - RESULTADOS DOS ENSAIOS DE TRAÇÃO

4.4.4 Medições de dureza

As medições de dureza foram efetuadas nas secções longitudinal e transversal do corpo de prova tomado como amostra. Tomou-se um corpo de prova de cada microestrutura e de cada aço.

Denominou-se de dureza superficial aquela correspondente a superfície transversal e foram efetuados dois conjuntos de medida, correspondentes aos dois lados do anel.

A dureza do núcleo corresponde a dureza da secção longitudinal e foram efetuadas medida em duas secções, 1 e 2 de cada amostra colhida do corpo de prova, conforme esquema da figura 4.9.

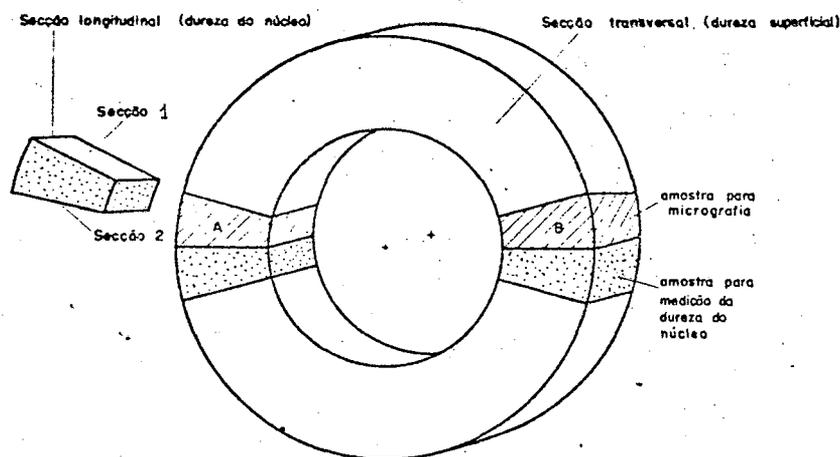


FIGURA 4.9-ESQUEMA DO CORTE DOS ANEIS COM COLETA DE AMOSTRA PARA MICROGRAFIAS E DUREZA DO NÚCLEO.

A máquina utilizada para os ensaios de dureza foi:

Durômetro, marca: Testor Wolpert

Tipo: HT 1a

Alemanha Ocidental

As tabelas 12 a 30 apresentam os resultados das medições de dureza.

A figura 4.10 apresenta graficamente os resultados das medições de dureza da secção longitudinal e transversal.

A figura 4.11 apresenta os resultados das medições para a secção longitudinal, por ser mais significativa neste caso

RESULTADO DAS MEDIÇÕES DE DUREZA: AÇO 1 - MIC 1 (SL)

a.) DUREZA SUPERFICIAL - Rockwell b - esfera 1/16 carga 100 kgf

(TABELA 12)

	(LADO A) AMOSTRA 1	(LADO B) AMOSTRA 2	média das 2 amostras	composição das 2 amostras
N	LEITURA (Rb)	LEITURA (Rb)		
1	70,5	73,5		
2	73,0	74,5		
3	70,0	72,5		
4	71,5	72,7		
5	72,7	75,0		
\bar{x}	71,54	73,64	72,59	72,59
S	1,32	1,09	1,48	1,59
X	1,84	1,49		2,19
K	1,40	1,17		1,50
K%	1,96	1,58		2,07

$$\bar{x} = 72,59 \text{ Rb} \approx 127 \text{ HB} \quad (3000 \text{ kgf} \quad \phi \text{ } 10,0 \text{ mm})$$

$$\phi_{\text{impressão}} = 5,275 \text{ mm}$$

b.) DUREZA DO NÚCLEO

(TABELA 13)

	AMOSTRA 1	AMOSTRA 2	média das 2 amostras	composição das 2 amostras
N	LEITURA (Rb)	LEITURA (Rb)		
1	69,0	75,0		
2	71,5	74,5		
3	73,5	73,0		
4	71,0	71,0		
5	69,5	73,0		
6	68,5	65,0		
\bar{x}	70,50	71,92	71,21	71,21
S	1,87	3,67	1,00	2,87
X	2,65	5,10		4,03
K	1,69	3,31		1,56
K%	2,40	4,61		2,19

$$\bar{x} = 71,21 \text{ Rb} \approx 124,6 \text{ HB} \quad (\text{mesmas condições})$$

RESULTADOS DAS MEDIÇÕES DE DUREZA: AÇO 1 - MIC 2 (R)

a.) DUREZA SUPERFICIAL - Rb

(TABELA 14)

	(LADO A) AMOSTRA 1	(LADO B) AMOSTRA 2	média das 2 amostras	composição das 2 amostras
N	LEITURA (Rb)	LEITURA (Rb)		
1	58,0	55,5		
2	64,0	60,2		
3	65,0	55,5		
4	59,0	51,5		
5	58,0	52,0		
\bar{x}	60,80	54,94	57,87	57,87
S	3,42	3,49	4,14	4,49
X	5,63	6,36		7,76
K	3,64	3,72		2,74
K%	5,99	6,77		4,73

$$\bar{x} = 57,87 \text{ Rb} \approx 98,0 \text{ HB} \quad (\text{mesmas condições})$$

b.) DUREZA DO NÚCLEO (Rb)

(TABELA 15)

	AMOSTRA 1	AMOSTRA 2	média das 2 amostras	composição das 2 amostras
N	LEITURA (Rb)	LEITURA (Rb)		
1	54,0	54,0		
2	55,0	56,5		
3	55,5	54,0		
4	55,0	49,0		
5	56,0	55,5		
6	55,0	50,0		
\bar{x}	55,08	53,17	54,13	54,13
S	0,66	3,01	1,35	2,13
X	1,21	5,66		4,26
K	0,60	2,72		1,25
K%	1,09	5,12		2,31

$$\bar{x} = 54,13 \text{ Rb} \approx 92,0 \text{ HB}$$

RESULTADO DAS MEDIÇÕES DE DUREZA: AÇO 1 - MIC 3 (N)

a.) DUREZA SUPERFICIAL - (Rb)

(TABELA 16)

	(LADO A) AMOSTRA 1	(LADO B) AMOSTRA 2	média das 2 amostras	composição das 2 amostras
N	LEITURA (Rb)	LEITURA (Rb)		
1	50,0	48,0		
2	57,5	60,0		
3	55,0	58,0		
4	59,0	57,5		
5	56,0	55,5		
\bar{x}	55,50	55,80	55,65	55,65
S	3,43	4,64	0,21	3,85
X	6,18	8,32		6,92
K	3,65	4,95		2,35
K%	6,58	8,87		4,22

$\bar{x} = 55,65 \text{ Rb} \approx 95 \text{ HB}$ (mesmas condições anteriores)

$\phi_{\text{esf.}} = 10,0 \text{ mm}$ $P = 3000 \text{ kgf}$

b.) DUREZA DO NÚCLEO (Rb)

(TABELA 17)

	AMOSTRA 1	AMOSTRA 2	média das 2 amostras	composição das 2 amostras
N	LEITURA (Rb)	LEITURA (Rb)		
1	61,0	61,0		
2	61,0	64,5		
3	59,5	55,0		
4	60,5	59,5		
5	59,5	60,0		
6	59,5	61,0		
\bar{x}	60,17	60,17	60,17	60,17
S	0,75	3,08	0,00	2,14
X	1,25	5,11		3,55
K	0,68	2,78		1,16
K%	1,13	4,62		1,93

$\bar{x} = 60,17 \text{ Rb} \approx 101,4 \text{ HB}$

RESULTADO DAS MEDIÇÕES DE DUREZA: AÇO 2 - MIC 1 (SL)

a.) DUREZA SUPERFICIAL (Rb)

(TABELA 18)

	(LADO A) AMOSTRA 1		(LADO B) AMOSTRA 2		média das 2 amostras	composição das 2 amostras
N	LEITURA (Rb)		LEITURA (Rb)			
1/2	86,5	89,3	91,0	93,2		
3/4	89,0	89,3	90,0	92,0		
5/6	86,5	90,7	88,8	89,2		
7/8	90,7	91,5	91,0	89,7		
9/10	91,5		89,0			
\bar{x}	89,44		90,43		89,94	89,94
S	1,91		1,49		0,70	1,74
X	2,14		1,65			1,93
K	1,26		0,98			0,73
K%	1,40		1,08			0,82

$$\bar{x} = 89,94 \text{ Rb} \approx 183 \text{ HB}$$

b.) DUREZA DO NÚCLEO (Rb)

(TABELA 19)

	AMOSTRA 1		AMOSTRA 2		média das 2 amostras	composição das 2 amostras
N	LEITURA (Rb)		LEITURA (Rb)			
1/2	61,0	57,0	56,0	60,0		
3/4	64,5	62,5	58,0	67,8		
5/6	51,5	61,5	64,0	59,5		
7/8	65,0	67,0	58,0	60,0		
9/10	65,5		64,5	62,5		
\bar{x}	61,72		61,03		61,38	61,36
S	4,85		3,61		0,49	4,14
X	7,87		5,91			6,74
K	3,19		2,20			1,69
K%	5,17		3,60			2,75

$$\bar{x} = 61,37 \text{ Rb} \approx 103,7 \text{ HB}$$

RESULTADOS DAS MEDIÇÕES DE DUREZA: AÇO 2 - MIC 2 (R)

a.) DUREZA SUPERFICIAL - (Rb)

(TABELA 20)

N	(LADO A) AMOSTRA 1		(LADO B) AMOSTRA 2		Média das 2 amostras	Composição das 2 amostras
	LEITURA (Rb)		LEITURA (Rb)			
1	87,5	--	87,0	--		
2	91,8	--	85,3	--		
3	90,2	--	88,7	--		
4	88,8	--	89,8	--		
5/6	92,0	89,2	89,2	88,3		
\bar{x}	89,92		88,05			
S	1,76		1,65		1,32	1,90
X	1,96		1,87			2,13
K	1,59		1,49			1,03
K%	1,77		1,69			1,16

$$\bar{x} = 88,98 \text{ Rb} = 179 \text{ HB}$$

b.) DUREZA DO NÚCLEO (Rb)

(TABELA 21)

N	AMOSTRA 1		AMOSTRA 2		média das 2 amostras	composição das 2 amostras
	LEITURA (Rb)		LEITURA (Rb)			
1/2	59,0	60,0	58,0	54,9		
3/4	60,0	61,5	54,6	61,5		
5/6	59,5	60,0	59,0	61,6		
7/8	61,8	58,5	60,0	61,9		
9/10	61,2	64,5	61,2	--		
\bar{x}	60,60		59,19			
S	1,73		2,83		1,00	2,36
X	2,86		4,78			3,95
K	1,06		1,86			0,96
K%	1,75		3,15			1,61

$$\bar{x} = 59,93 \text{ Rb} \approx 101 \text{ HB}$$

RESULTADO DAS MEDIÇÕES DE DUREZA: AÇO 2 - MIC 3 (N)

a.) DUREZA SUPERFICIAL (Rb)

(TABELA 22)

N	AMOSTRA 1 (LADO A)		AMOSTRA 2 (LADO B)		média das 2 amostras	composição das 2 amostras
	LEITURA (Rb)		LEITURA (Rb)			
1	92,8	--	94,2	--		
2	92,6	--	93,3	--		
3	91,8	--	94,0	--		
4	91,8	--	94,6	--		
5/6	92,9	94,5	93,5	95,8		
\bar{x}	92,73		94,23		93,48	93,48
S	0,99		0,90		1,06	1,20
X	1,07		0,96			1,28
K	0,90		0,81			0,65
K%	0,97		0,86			0,69

$$\bar{x} = 93,48 \text{ Rb} \approx 199,4 \text{ HB}$$

b.) DUREZA DO NÚCLEO (Rb)

(TABELA 23)

N	AMOSTRA 1		AMOSTRA 2		média das 2 amostras	composição das 2 amostras
	LEITURA (Rb)		LEITURA (Rb)			
1/2	66,9	67,6	58,6	67,0		
3/4	66,0	66,0	63,5	66,9		
5/6	65,0	65,0	64,5	66,0		
7/8	69,0	69,0	69,0	69,0		
9/10	66,1	67,5	67,0	61,5		
\bar{x}	66,81		65,30		66,06	66,06
S	1,46		3,32		1,07	2,61
X	2,18		5,09			3,96
K	0,89		2,03			1,04
K%	1,33		3,10			1,57

$$\bar{x} = 66,06 \text{ Rb} \approx 112 \text{ HB}$$

RESULTADO DAS MEDIÇÕES DE DUREZA: AÇO 3 - MIC 1 (SL)

a.) DUREZA SUPERFICIAL - (Rc)

(TABELA 24)

	(LADO A) AMOSTRA 1	(LADO B) AMOSTRA 2	média das 2 amostras	composição das 2 amostras
N	LEITURA (Rc)	LEITURA (Rc)		
1	22,5	25,5		
2	22,5	20,5		
3	21,7	22,0		
4	23,0	26,5		
\bar{x}	22,43	23,63	23,03	23,03
S	0,54	2,84	0,85	2,00
X	2,40	12,02		8,68
K	0,73	3,85		1,43
K%	3,25	16,31		6,23

$$\bar{x} = 23,03 \quad Rc = 241 \text{ HB}$$

b.) DUREZA DO NÚCLEO (Rc)

(TABELA 25)

	AMOSTRA 1	AMOSTRA 2	Média das 2 amostras	Composição das 2 amostras
N	LEITURA (Rc)	LEITURA (Rc)		
1	31,0	30,5		
2	31,0	27,0		
3	29,5	27,0		
4	27,5	22,5		
5	29,7	24,0		
6	28,3	23,5		
\bar{x}	29,50	25,75	27,63	27,63
S	1,41	2,98	2,65	2,96
X	4,79	11,57		10,72
K	1,28	2,69		1,61
K%	4,33	10,45		5,82

$$\bar{x} = 27,63 \quad Rc \approx 267,7 \text{ HB}$$

RESULTADOS DAS MEDIÇÕES DE DUREZA: AÇO 3 - MIC 2 (R)

a.) DUREZA SUPERFICIAL - (Rc)

(TABELA 26)

	(LADO A) AMOSTRA 1	(LADO B) AMOSTRA 2	média das 2 amostras	composição das 2 amostras
N	LEITURA (Rc)	LEITURA (Rc)		
1	27,0	28,0		
2	30,0	27,0		
3	25,0	30,0		
4	26,0	28,5		
5	25,0	28,0		
\bar{x}	26,60	28,30	27,45	27,45
S	2,07	1,10	1,20	1,80
X	7,80	3,87		6,56
K	2,21	1,17		1,10
K%	8,30	4,12		4,00

$$\bar{x} = 27,45 \text{ Rc} \approx 267 \text{ HB}$$

b.) DUREZA DO NÚCLEO (Rc)

(TABELA 27)

	AMOSTRA 1	AMOSTRA 2	média das 2 amostras	composição das 2 amostras
N	LEITURA (Rc)	LEITURA (Rc)		
1	26,5	23,5		
2	25,5	24,0		
3	26,0	27,5		
4	30,0	23,0		
5	30,0	27,0		
6	26,0	30,0		
\bar{x}	27,33	25,83	26,58	26,58
S	2,09	2,77	1,06	2,47
X	7,65	10,72		9,28
K	1,89	2,50		1,34
k%	6,91	9,68		5,04

$$\bar{x} = 26,58 \text{ Rc} \approx 264 \text{ HB}$$

RESULTADO DAS MEDIÇÕES DE DUREZA: AÇO 3 - MIC 3 (N)

a.) DUREZA SUPERFICIAL - (Rc)

(TABELA 28)

	(LADO A) AMOSTRA 1	(LADO B) AMOSTRA 2	média das 2 amostras	composição das 2 amostras
N	LEITURA (Rc)	LEITURA (Rc)		
1	26,5	32,7		
2	31,0	38,0		
3	30,5	42,0		
4	31,5	32,0		
5	39,0	37,5		
\bar{x}	31,70	36,44	34,07	34,07
S	4,54	4,13	3,35	4,79
X	14,31	11,33		14,06
K	4,83	4,40		2,92
K%	15,24	12,07		8,58

$$\bar{x} = 34,07 \text{ Rc} \approx 321 \text{ HB}$$

b.) DUREZA DO NÚCLEO (Rc)

(TABELA 29)

	AMOSTRA 1	AMOSTRA 2	média das 2 amostras	composição das 2 amostras
N	LEITURA (Rc)	LEITURA (Rc)		
1	43,5	44,0		
2	45,5	43,0		
3	43,5	45,0		
4	41,5	42,2		
5	41,0	42,5		
6	39,7	41,0		
\bar{x}	42,45	42,95	42,70	42,70
S	2,10	1,41	0,35	1,72
X	4,95	3,27		4,04
K	1,90	1,27		1,05
K%	4,47	2,96		2,46

$$\bar{x} = 42,70 \text{ Rc} \approx 405,90 \text{ HB}$$

RESUMO DAS MEDIÇÕES DE DUREZA:

TABELA 30

AÇO	TRATAMENTO ou MICROESTR.	DUREZA SUPERFICIAL		DUREZA DO NÚCLEO	
		Vlr médio Rb ou Rc	"HB" BRINELL	Vlr médio Rb ou Rc	"HB" BRINELL
		LEITURA	EQUIVALENTE	LEITURA	EQUIVALENTE
1	SL	72,59 Rb	127 HB	71,21 Rb	125 HB
	R	57,87 Rb	98 HB	54,13 Rb	92 HB
	N	55,65 Rb	95 HB	60,17 Rb	101 HB
2	SL	89,94 Rb	183 HB	61,37 Rb	104 HB
	R	88,98 Rb	179 HB	59,93 Rb	101 HB
	N	93,48 Rb	199 HB	66,06 Rb	112 HB
3	SL	23,03 Rc	241 HB	27,63 Rc	268 HB
	R	27,45 Rc	267 HB	26,58 Rc	264 HB
	N	34,07 Rc	321 HB	42,70 Rc	406 HB

Dureza superficial corresponde à superfície transversal
Dureza do núcleo corresponde à secção longitudinal
Vlr médio = Valor médio.

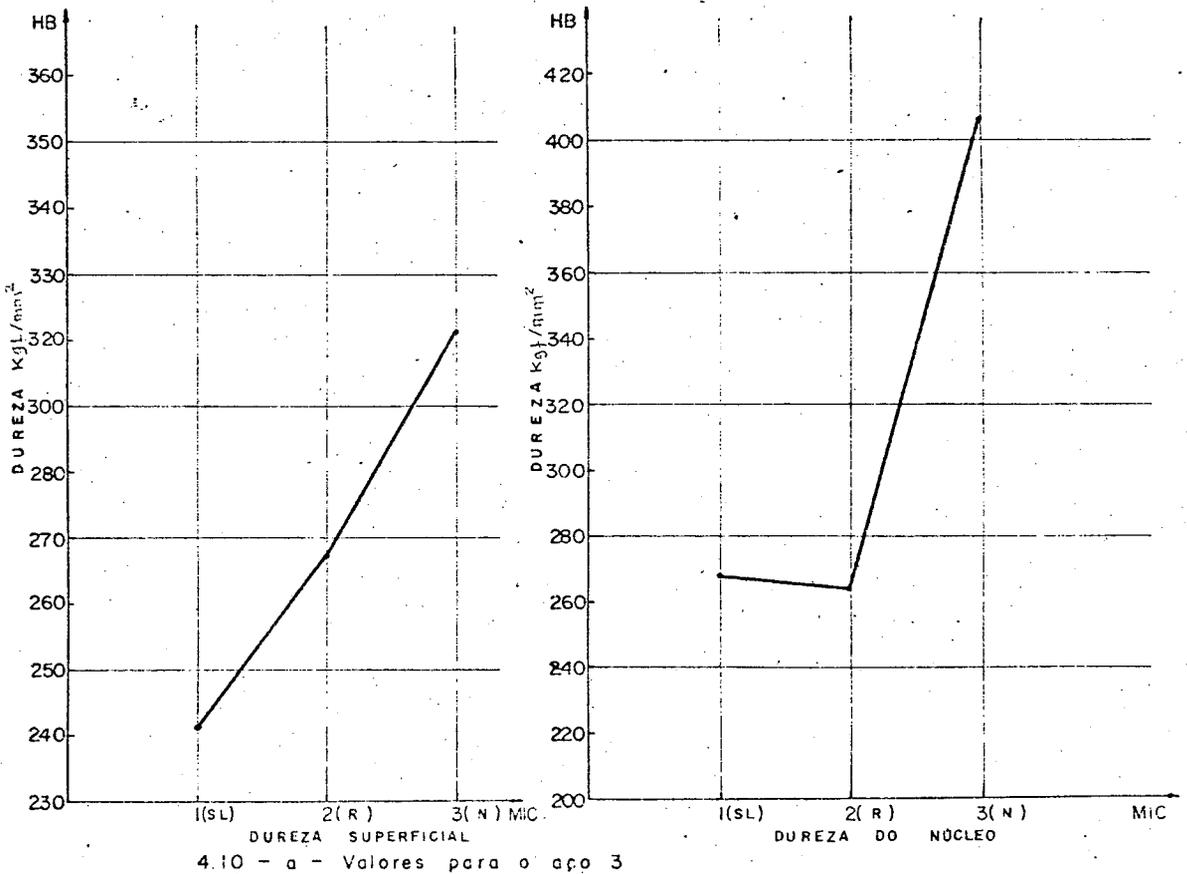
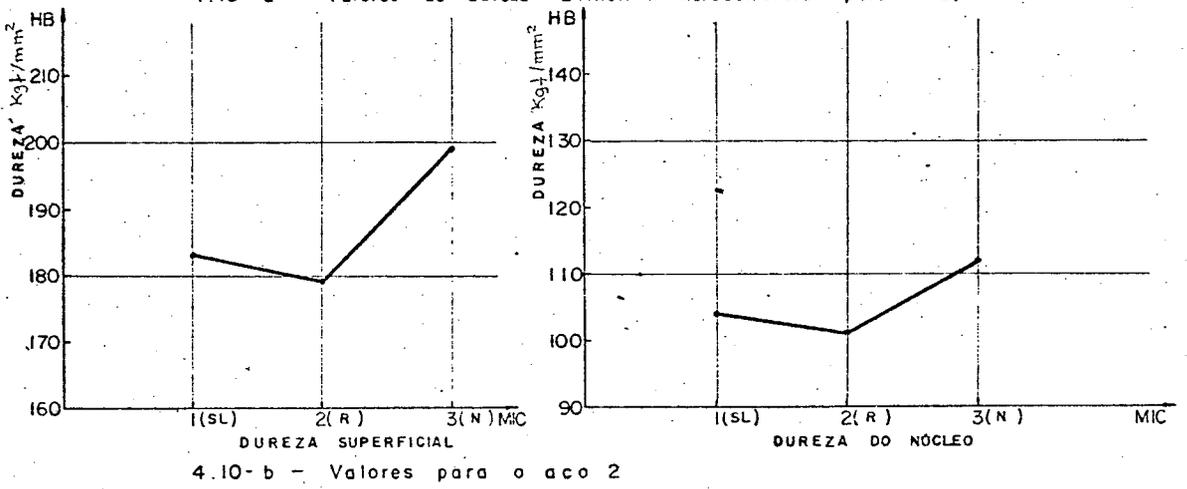
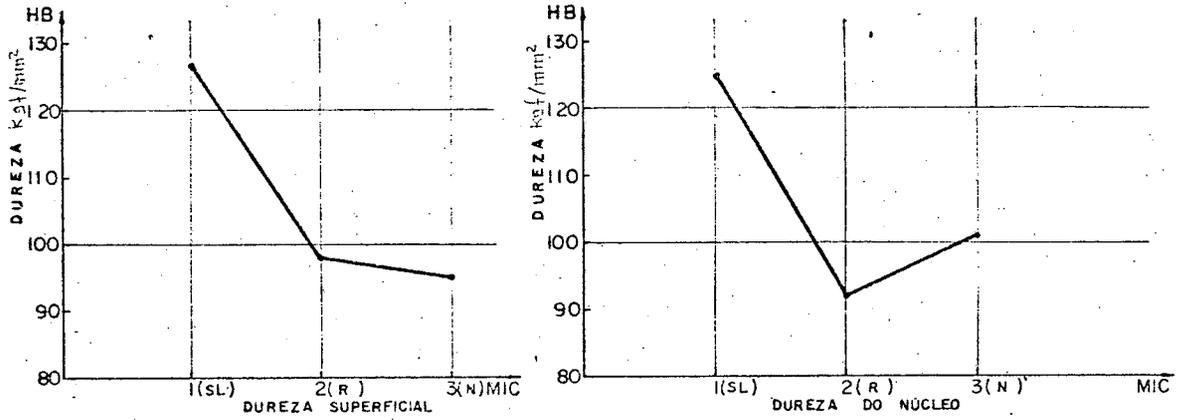


FIGURA - 4.10 - RESULTADOS DAS MEDIÇÕES DE DUREZA.

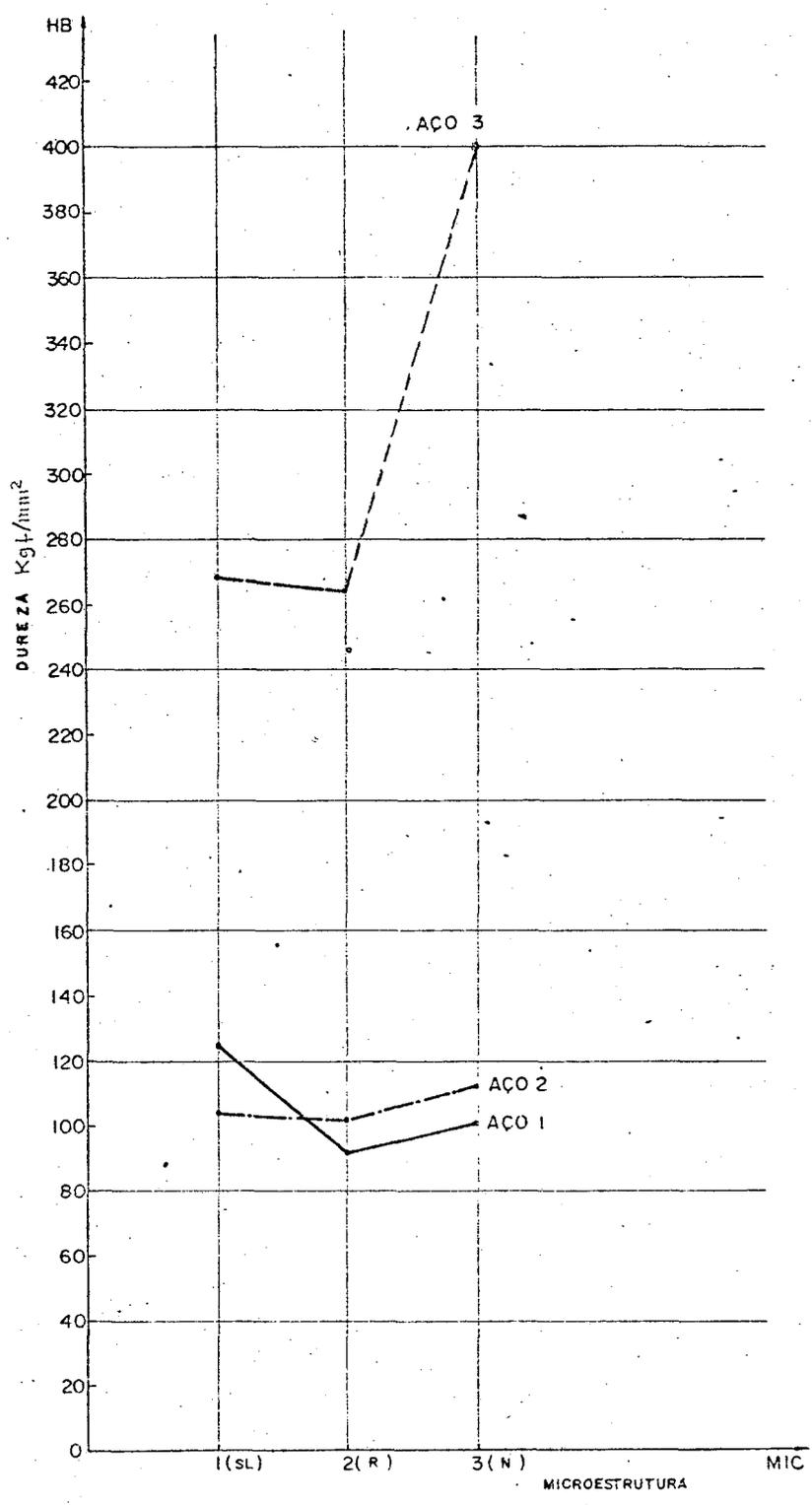


FIGURA 4.11 - DUREZA (HB) DA SEÇÃO LONGITUDINAL X MICROESTRUTURA

4.4.5 Testes micrográficos

Para verificar a homogeneidade das microestruturas dos aços tratados termicamente foram colhidas duas amostras de cada corpo de prova conforme o esquema da figura 4.9, estas 2 (duas) amostras foram designadas de A e B.

Foram obtidas fotos com dois aumentos, 320X e 800X para cada amostra de microestrutura e os resultados são apresentados nas figuras 4.12 a 4.47.

Equipamentos usados nas micrografias:

Prensa metalográfica

- Corpos de prova de 25,4 mm e 31,6 mm

Fabricante: EISA

São Paulo - Brasil

Microscópio metalográfico

Modelo Epity P2, com dispositivo microfotográfico,
ref.: 453159

Fabricante: Alemanha Ocid.

As figuras que se seguem apresentam os resultados das micrografias.

Comentários sobre as micrografias:

No aço 1, o recozimento praticamente não alterou o tamanho de grão enquanto que a normalização refinou o grão reduzindo consideravelmente seu tamanho em comparação com os dois anteriores. Ressalte-se também a homogeneidade na microestrutura do corpo de prova pois as amostras A e B são praticamente idênticas.

No aço 2, a homogeneidade da microestrutura foi também comprovada, podendo-se dizer que houve um refino do grão no recozimento, reduzindo seu tamanho o que praticamente não se alterou na normalização.

No aço 3, nada se pode dizer a respeito do tamanho do grão, a homogeneidade da microestrutura, no entanto, foi comprovada.

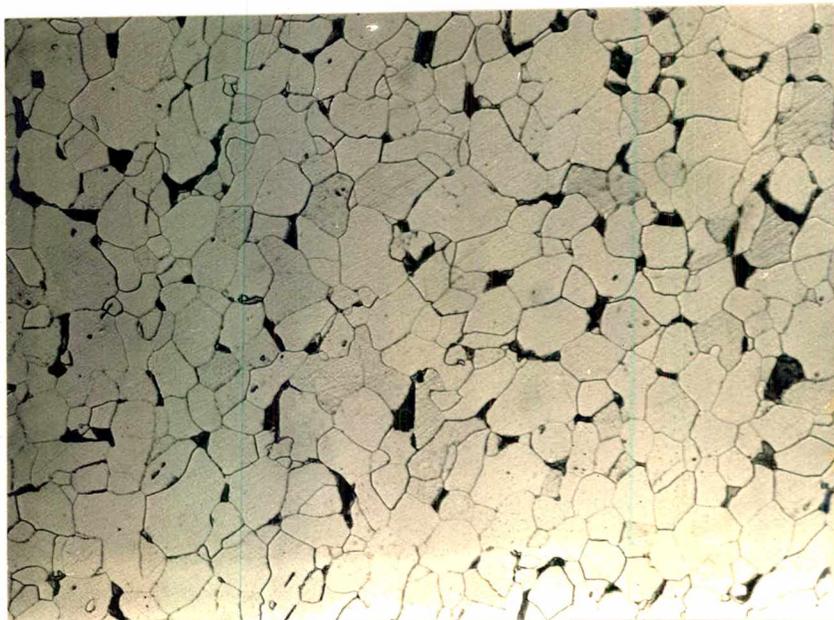
MICROESTRUTURAS

FIGURA 4.12 - Microestrutura do aço 1
Corpo de Prova A - Tratamento térmico: SL
Ataque: Nital - Aumento: 320X
Estrutura: ferrítica.

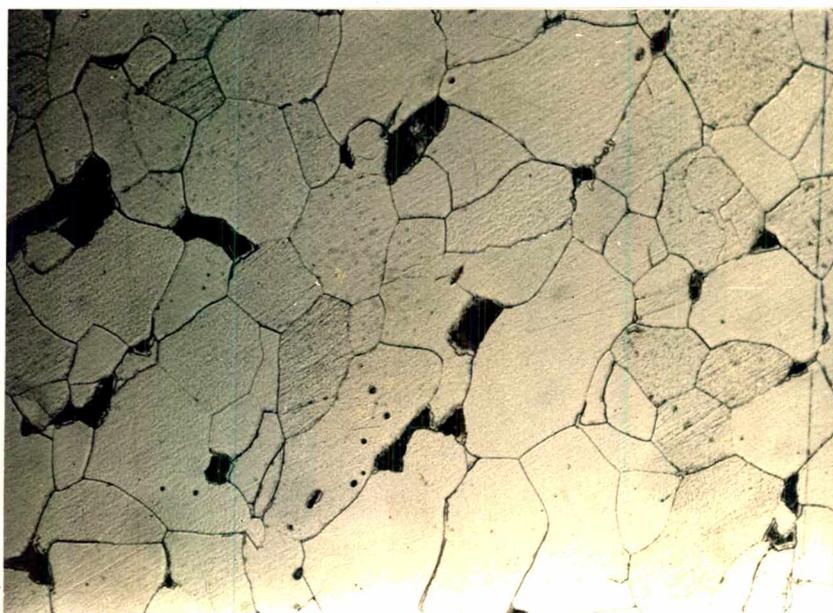


FIGURA 4.13 - Microestrutura do aço 1.
Corpo de Prova A - Tratamento térmico: SL
Ataque: Nital - Aumento 800X
Estrutura: ferrítica.

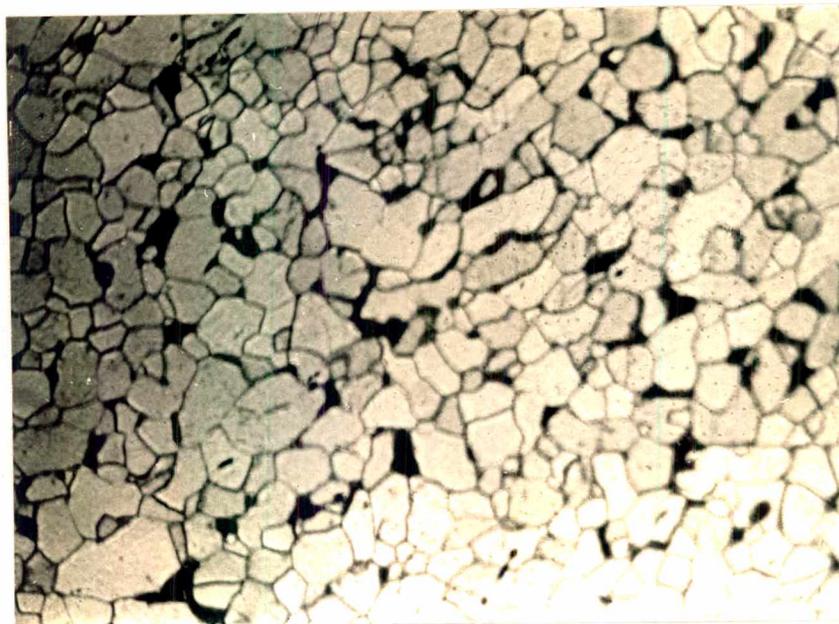


FIGURA 4.14 - Microestrutura do aço 1.
Corpo de Prova B - Tratamento térmico: SL
Ataque: Nital - Aumento: 320X
Estrutura: ferrítica.

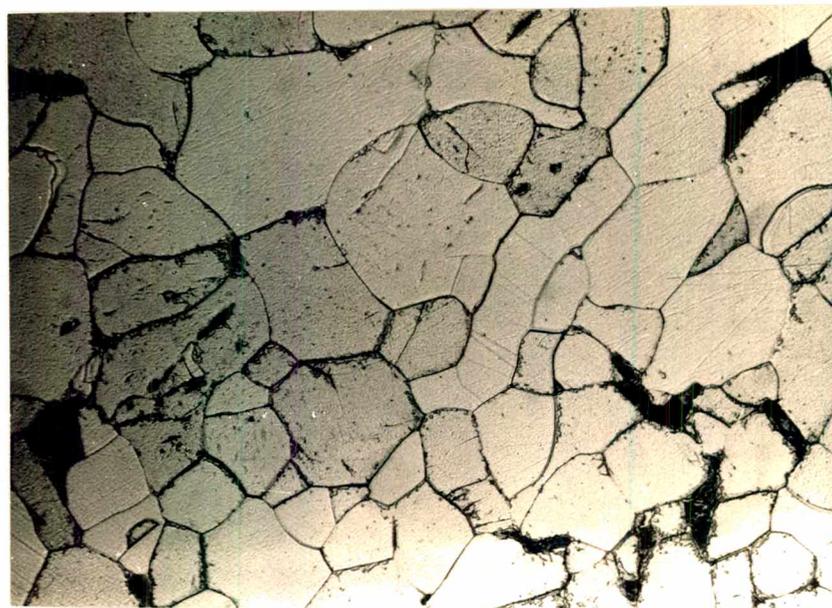


FIGURA 4.15 - Microestrutura do aço 1.
Corpo de Prova B - Tratamento térmico: SL
Ataque: Nital - Aumento: 800X
Estrutura: ferrítica.

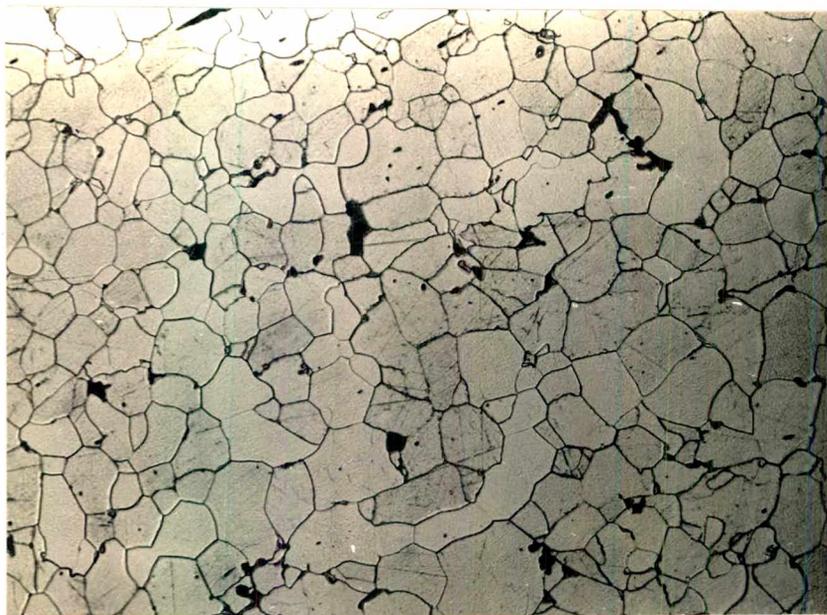


FIGURA 4.16 - Microestrutura do aço 1.
Corpo de Prova A - Tratamento térmico: R
Ataque: Nital - Aumento: 320X
Estrutura: ferrítica

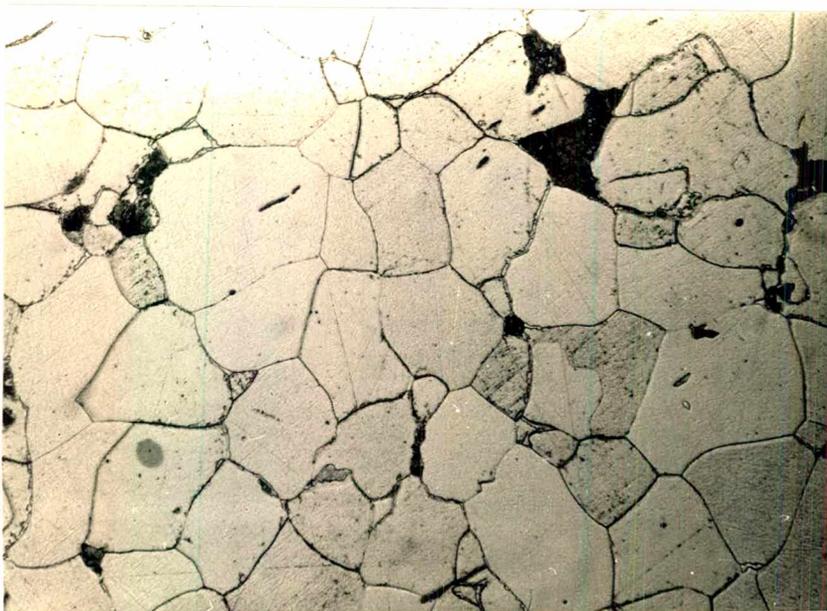


FIGURA 4.17 - Microestrutura do aço 1.
Corpo de Prova B - Tratamento térmico: R
Ataque: Nital - Aumento: 800X
Estrutura: ferrítica

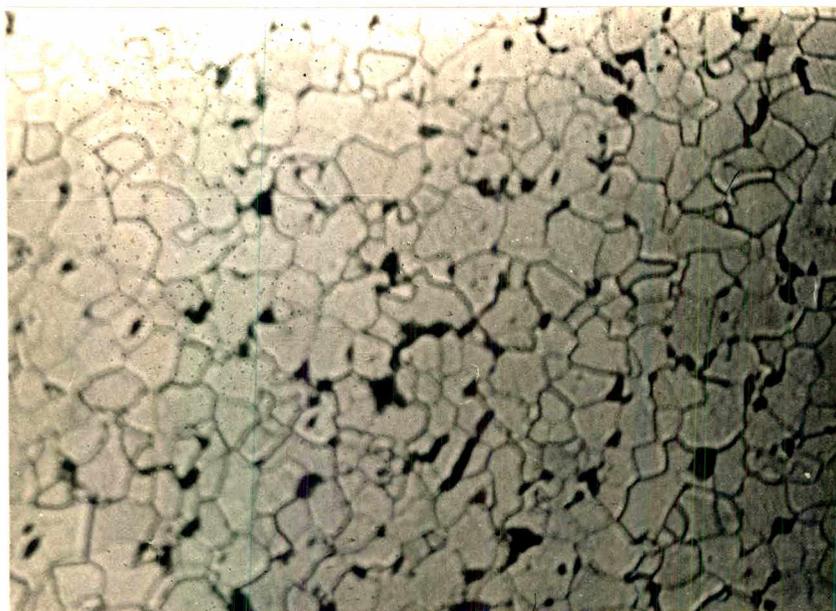


FIGURA 4.18 - Microestrutura do aço 1.
Corpo de Prova B - Tratamento térmico: R
Ataque: Nital - Aumento: 320X
Estrutura: ferrítica.

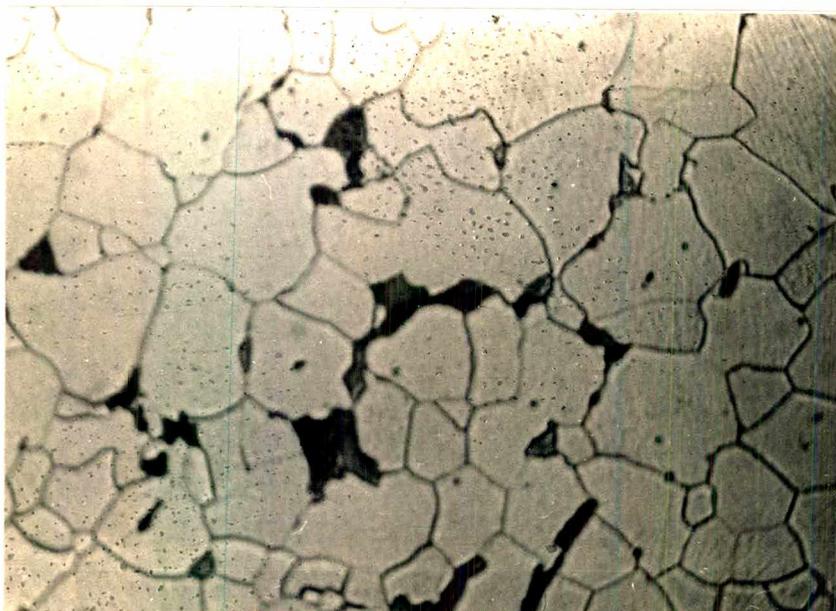


FIGURA 4.19 - Microestrutura do aço 1.
Corpo de Prova B - Tratamento térmico: R
Ataque: Nital - Aumento 850X
Estrutura: ferrítica.



FIGURA 4.20 - Microestrutura do aço 1.
Corpo de Prova A - Tratamento térmico: N
Ataque: Nital - Aumento: 320X
Estrutura: ferrítica.

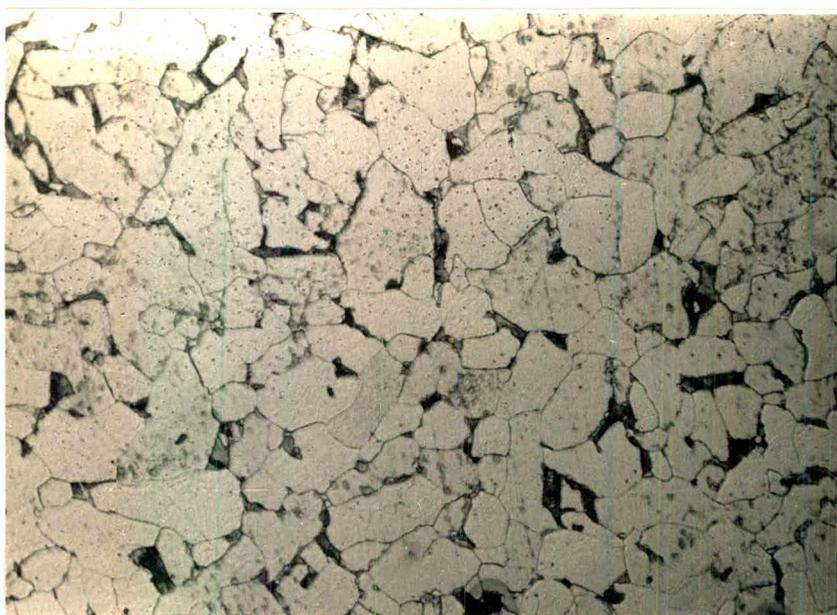


FIGURA 4.21 - Microestrutura do aço 1.
Corpo de Prova A - Tratamento térmico: N
Ataque: Nital - Aumento: 800X
Estrutura: ferrítica.

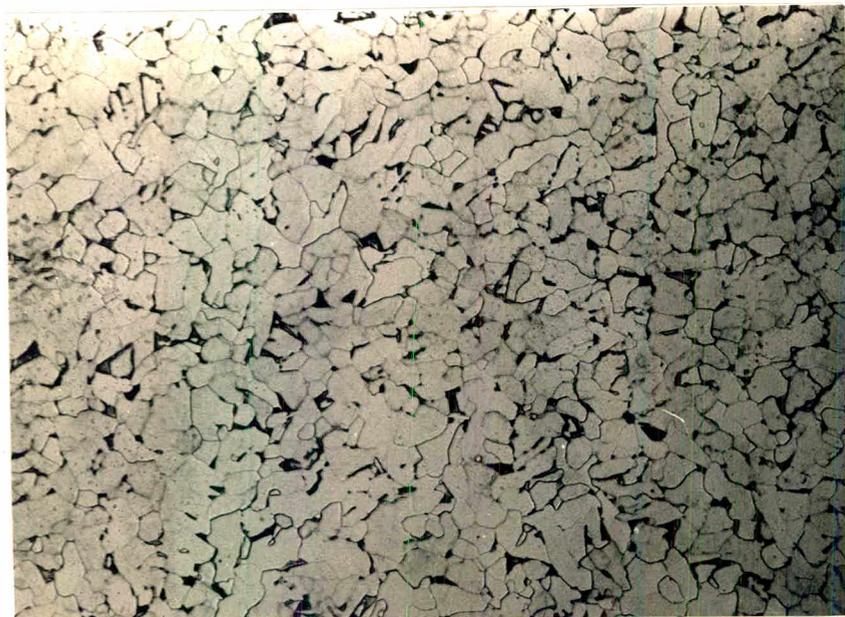


FIGURA 4.22 - Microestrutura do aço 1.
Corpo de Prova B - Tratamento térmico: N
Ataque: Nital - Aumento: 320X
Estrutura: ferrítica.

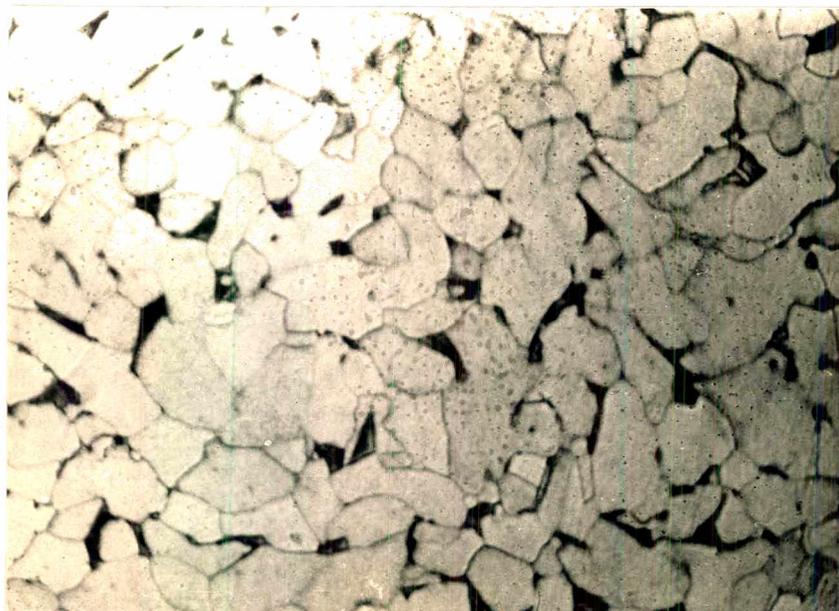


FIGURA 4.23 - Microestrutura do aço 1.
Corpo de Prova B - Tratamento térmico: N
Ataque: Nital - Aumento: 800X
Estrutura: ferrítica.

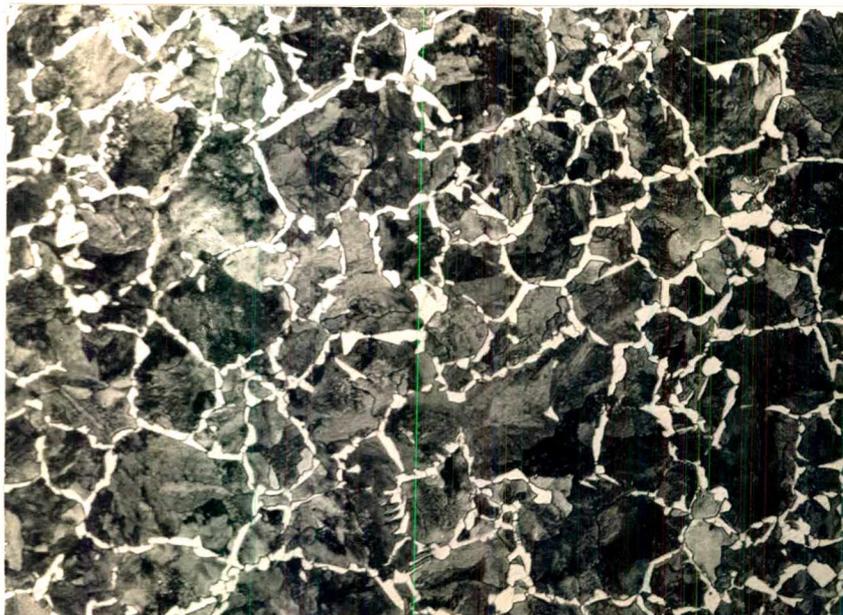


FIGURA 4.24 - Microestrutura do aço 2.
Corpo de Prova A - Tratamento térmico: SL
Ataque: Nital - Aumento: 320X
Estrutura: perlítica.



FIGURA 4.25 - Microestrutura do aço 2.
Corpo de Prova: A - Tratamento térmico: SL
Ataque: Nital - Aumento: 800X
Estrutura: perlítica.

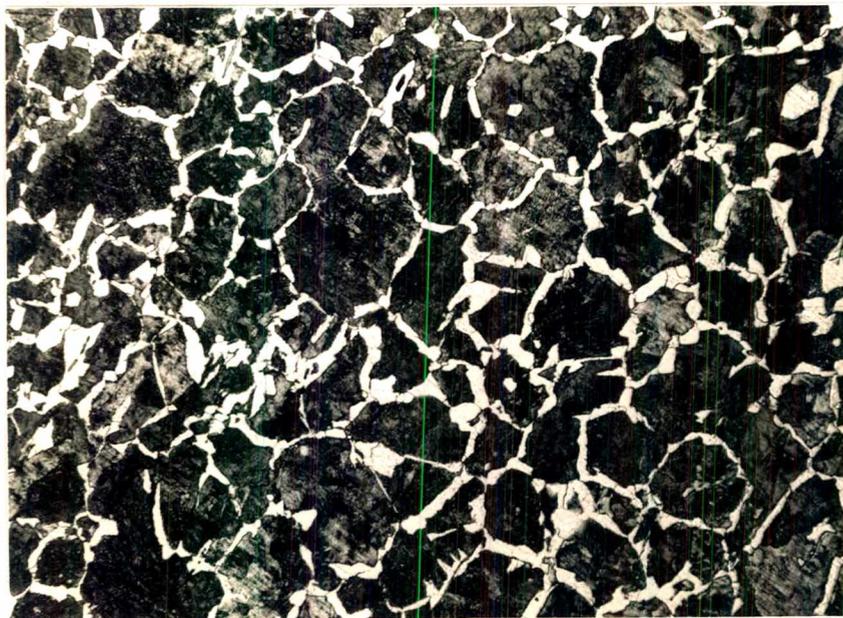


FIGURA 4.26 - Microestrutura do aço 2.
Corpo de Prova: B - Tratamento térmico: SL
Ataque: Nital - Aumento: 320X
Estrutura: perlítica.

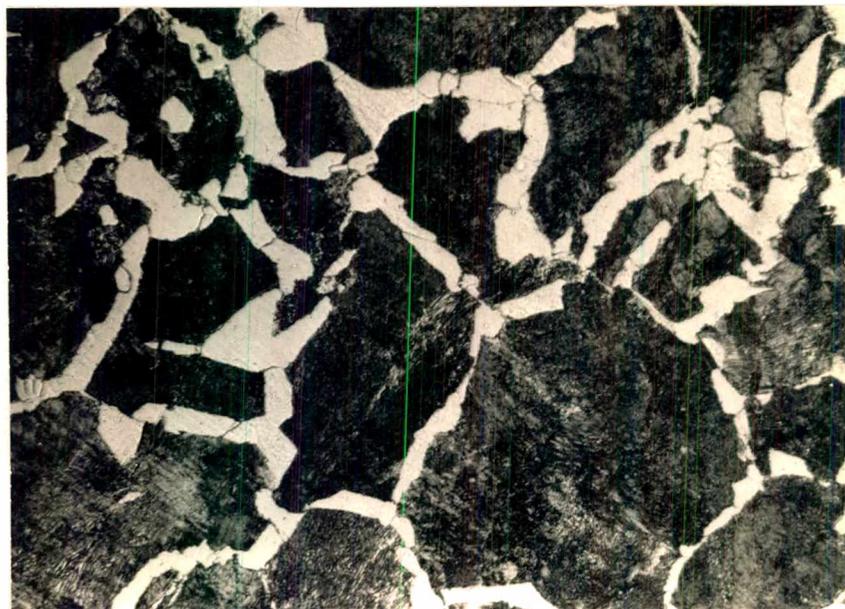


FIGURA 4.27 - Microestrutura do aço 2.
Corpo de Prova B - Tratamento térmico: SL
Ataque: Nital - Aumento: 800X
Estrutura: perlítica.

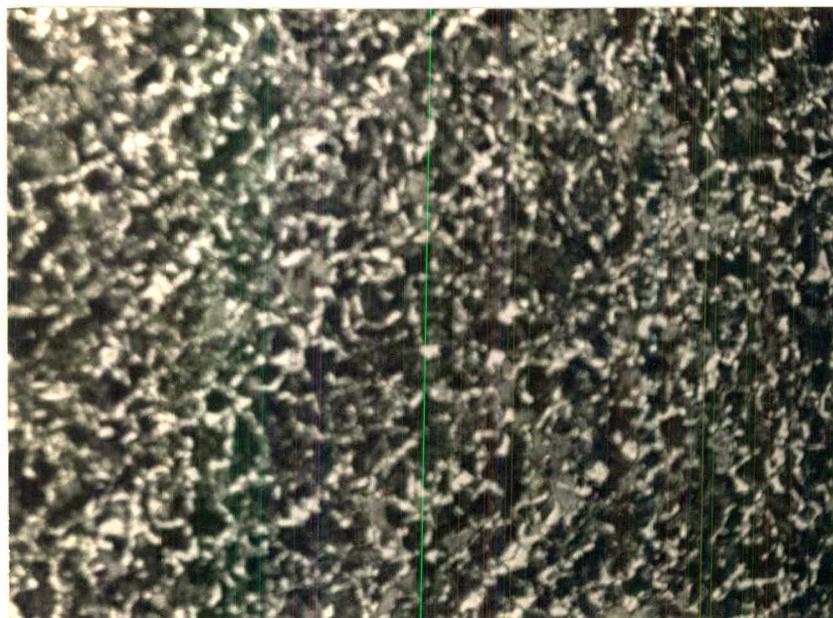


FIGURA 4.28 - Microestrutura do aço 2.
Corpo de Prova A - Tratamento térmico: R
Ataque: Nital - Aumento: 320X
Estrutura: perlítica.

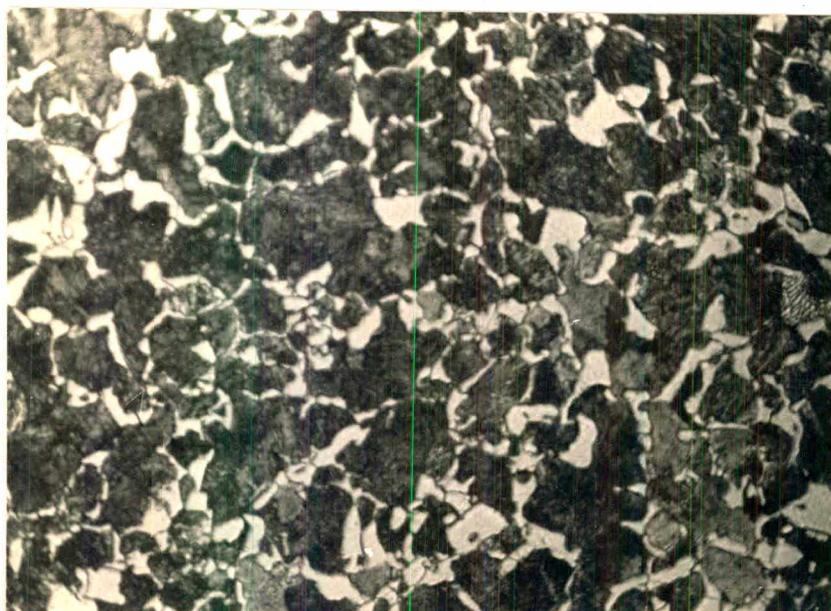


FIGURA 4.29 - Microestrutura do aço 2.
Corpo de Prova A - Tratamento térmico: R
Ataque: Nital - Aumento: 800X
Estrutura: perlítica.

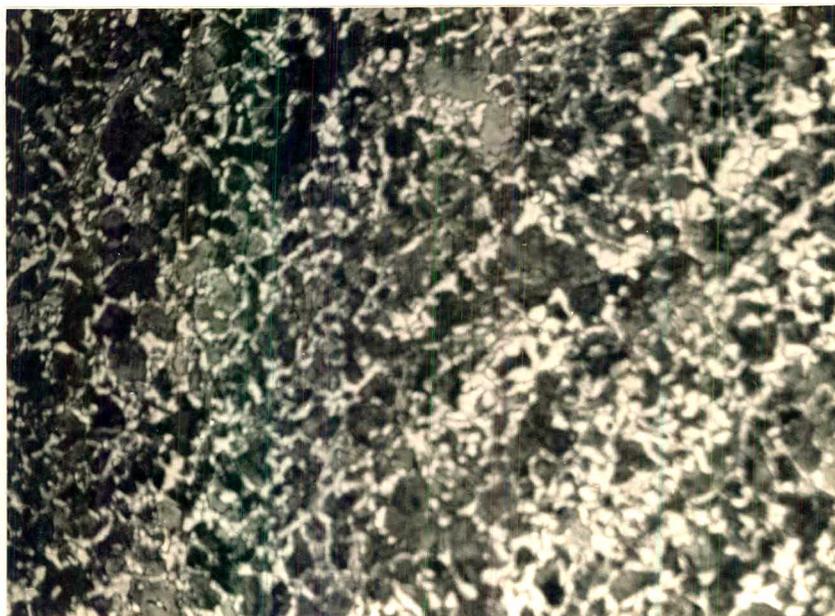


FIGURA 4.30 - Microestrutura do aço 2.
Corpo de Prova B - Tratamento térmico: R
Ataque: Nital - Aumento: 320X
Estrutura: perlítica.

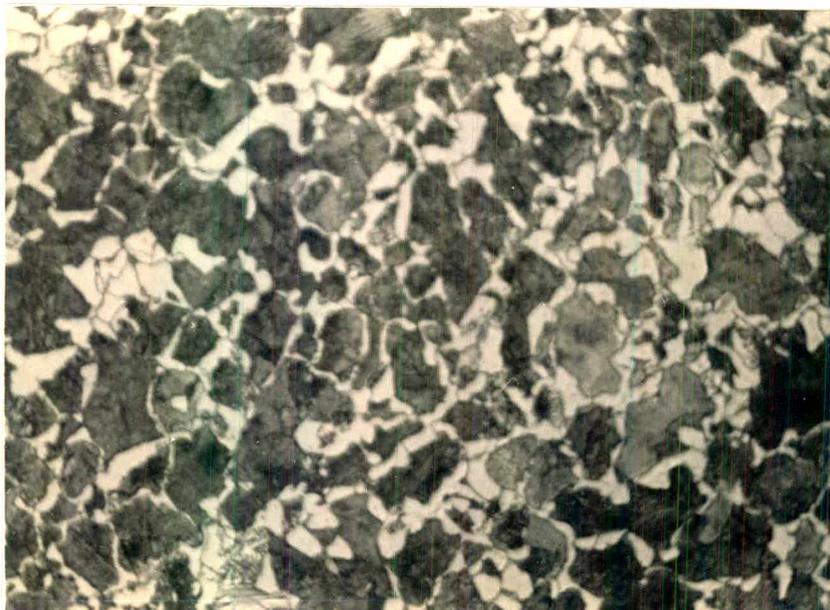


FIGURA 4.31 - Microestrutura do aço 2.
Corpo de prova B - Tratamento térmico: R
Ataque: Nital - Aumento: 800X
Estrutura: perlítica.

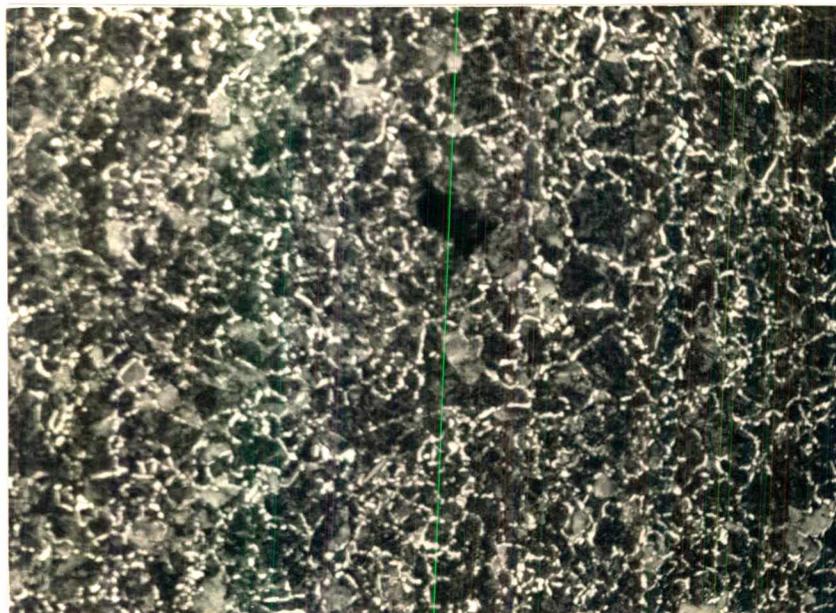


FIGURA 4.32 - Microestrutura do aço 2.
Corpo de Prova A - Tratamento térmico: N
Ataque: Nital - Aumento: 320X
Estrutura: perlítica.

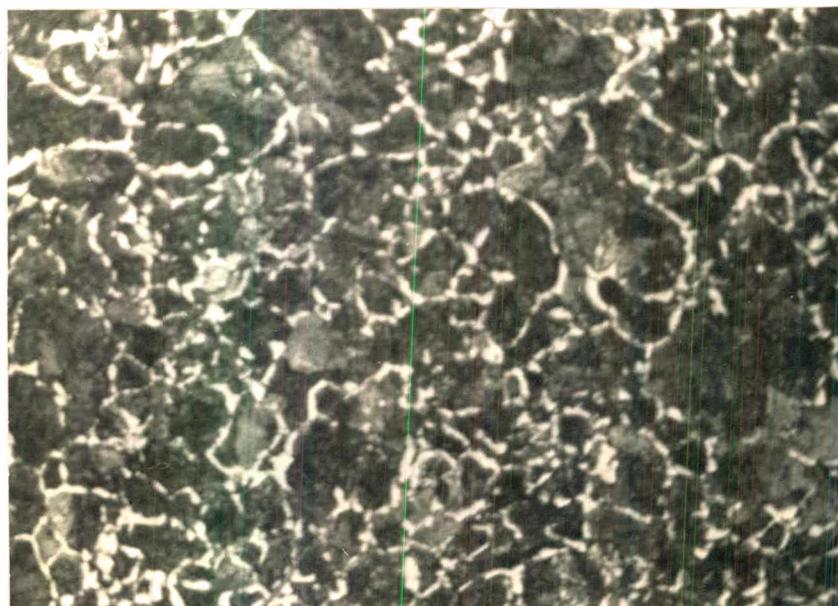


FIGURA 4.33 - Microestrutura do aço 2.
Corpo de Prova A - Tratamento térmico: N
Ataque: Nital - Aumento: 800X
Estrutura: perlítica.

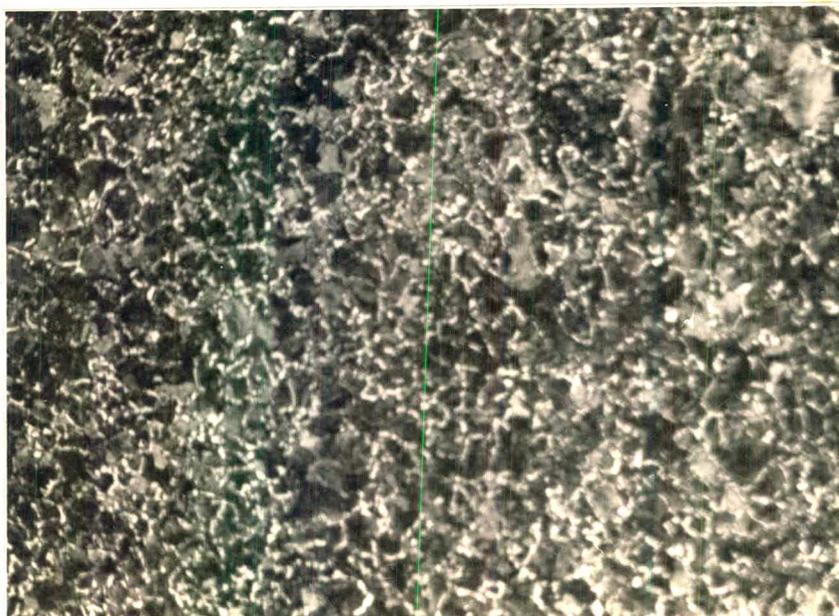


FIGURA 4.34 - Microestrutura do aço 2.
Corpo de Prova B - Tratamento térmico: N
Ataque: Nital - Aumento: 320X
Estrutura: perlítica.

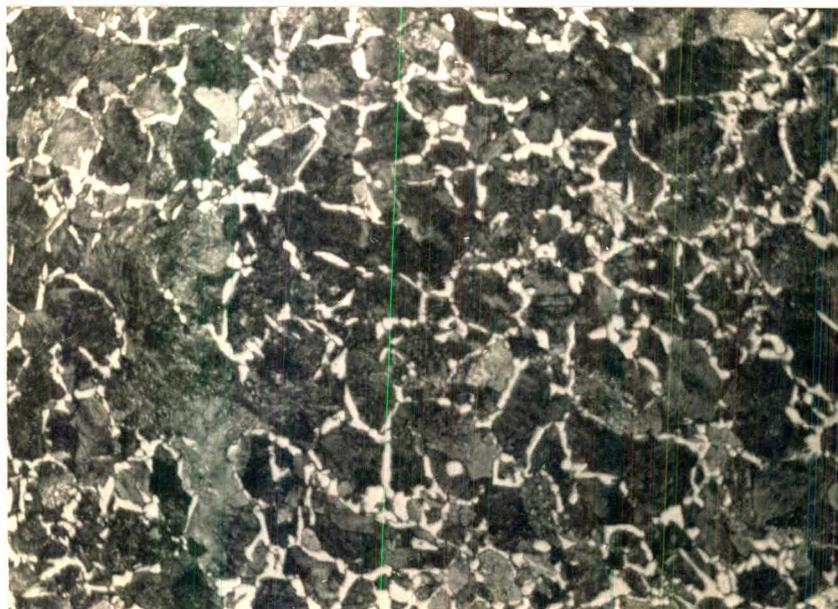


FIGURA 4.35 - Microestrutura do aço 2.
Corpo de Prova: B - Tratamento térmico: N
Ataque: Nital - Aumento: 800X
Estrutura: perlítica.



FIGURA 4.36 - Microestrutura do aço 3.
Corpo de Prova A - Tratamento térmico: SL
Ataque: Nital - Aumento: 320X
Estrutura: Bainita e martensita



FIGURA 4.37 - Microestrutura do aço 3.
Corpo de Prova A - Tratamento térmico: SL
Ataque: Nital - Aumento: 800X
Estrutura: bainita e martensita



FIGURA 4.38 - Microestrutura do aço 3
Corpo de Prova B - Tratamento térmico: SL
Ataque: Nital - Aumento: 320X
Estrutura: bainita e martensita



FIGURA 4.39 - Microestrutura do aço 3
Corpo de Prova B - Tratamento térmico: SL
Ataque: Nital - Aumento: 800X
Estrutura: bainita e martensita

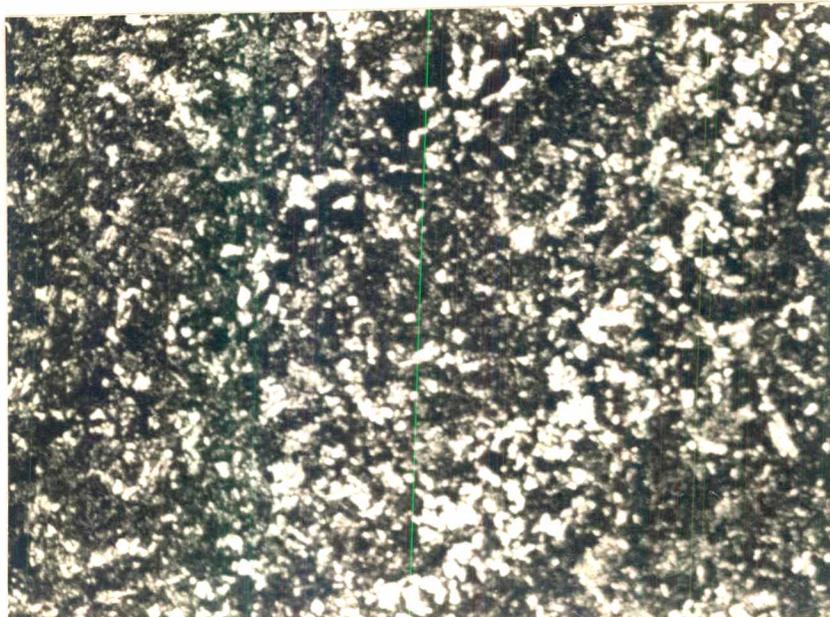


FIGURA 4.40 - Microestrutura do aço 3.
Corpo de Prova A - Tratamento térmico: R
Ataque: Nital - Aumento: 320X
Estrutura: ferrita e perlita

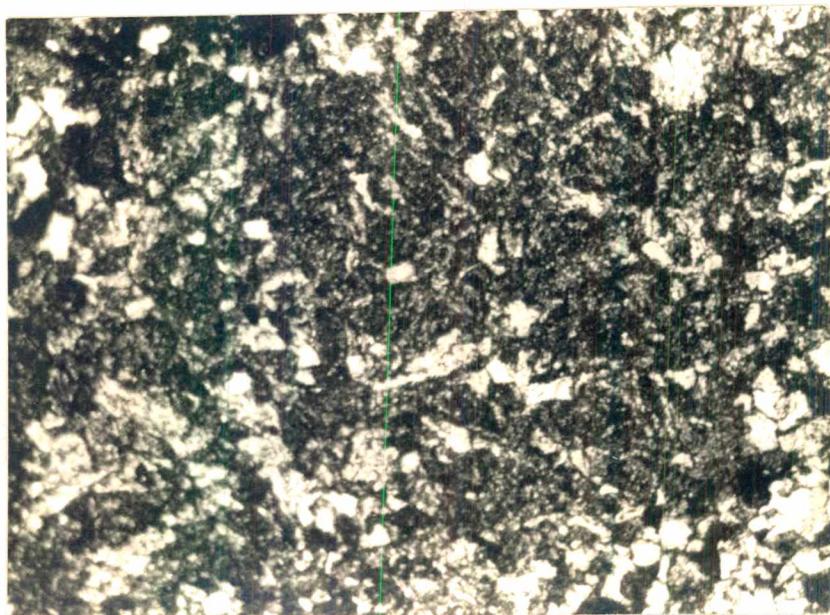


FIGURA 4.41 - Microestrutura do aço 3.
Corpo de Prova A - Tratamento térmico: R
Ataque: Nital - Aumento: 800X
Estrutura: ferrita e perlita

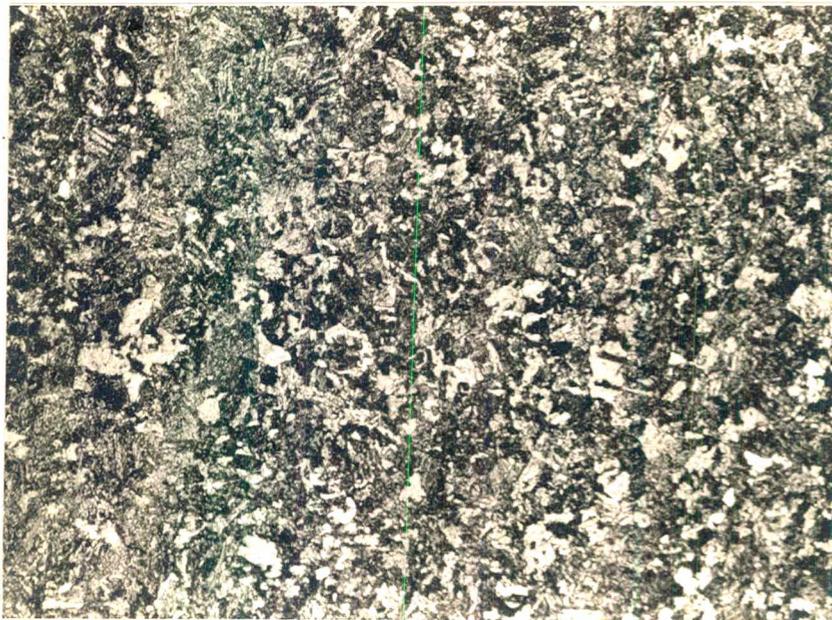


FIGURA 4.42 - Microestrutura do aço 3.
Corpo de Prova B - Tratamento térmico: R
Ataque: Nital - Aumento: 320X
Estrutura: ferrita e perlita

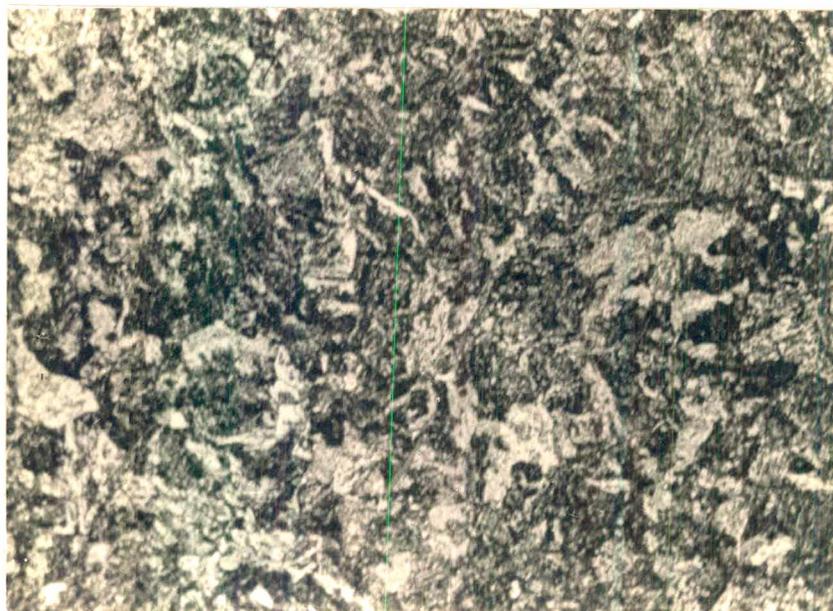


FIGURA 4.43 - Microestrutura do aço 3.
Corpo de Prova B - Tratamento térmico: R
Ataque: Nital - Aumento: 800X
Estrutura: ferrita e perlita

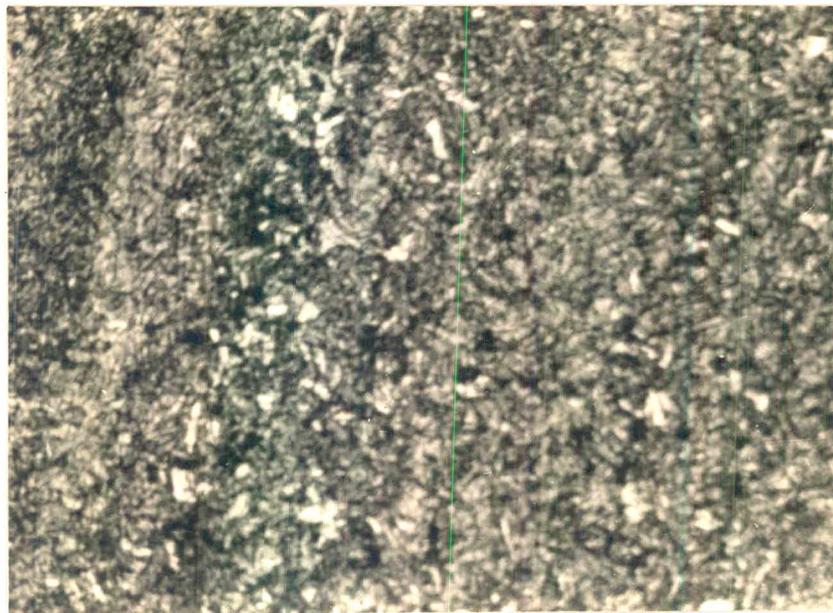


FIGURA 4.44 - Microestrutura do aço 3.
Corpo de Prova A - Tratamento térmico: N
Ataque: Nital - Aumento: 320X
Estrutura: ferrita e martensita

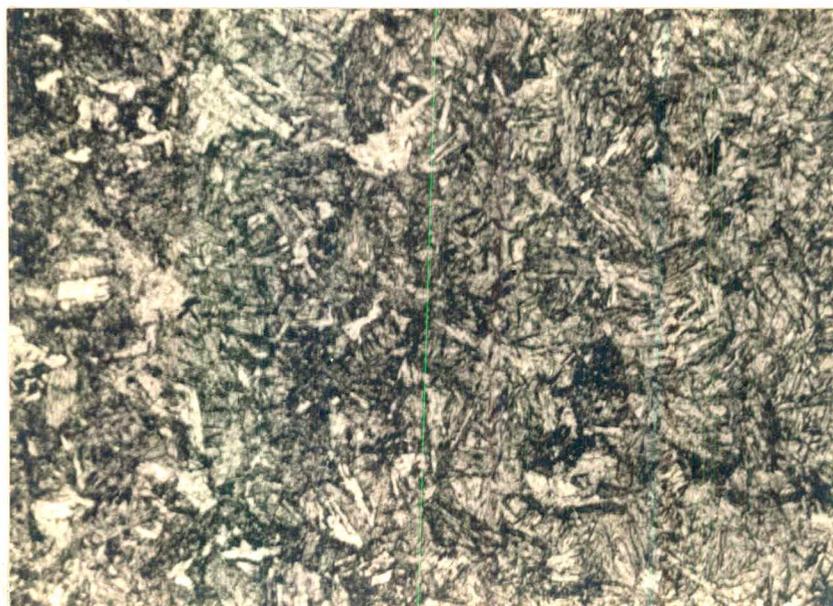


FIGURA 4.45 - Microestrutura do aço 3.
Corpo de Prova: A - Tratamento térmico: N
Ataque: Nital - Aumento: 800X
Estrutura: ferrita e martensita

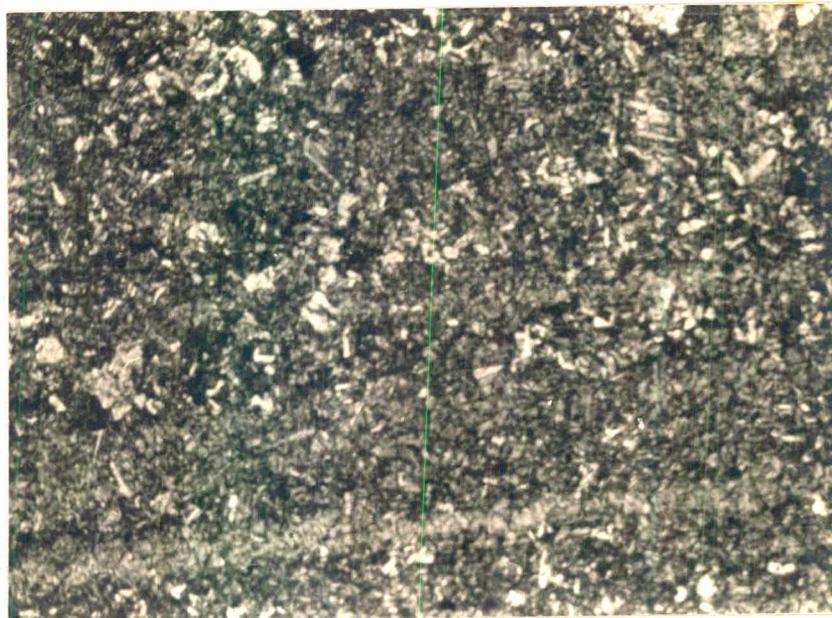


FIGURA 4.46 - Microestrutura do aço 3.
Corpo de Prova B - Tratamento térmico: N
Ataque: Nital - Aumento: 320X
Estrutura: ferrita e martensita



FIGURA 4.47 - Microestrutura do aço 3.
Corpo de Prova B - Tratamento térmico: N
Ataque: Nital - Aumento: 800X
Estrutura: ferrita e martensita

4.5 Montagem na máquina

4.5.1 Detalhes da montagem

A montagem no torno foi realizada segundo o esquema da figura 4.48.

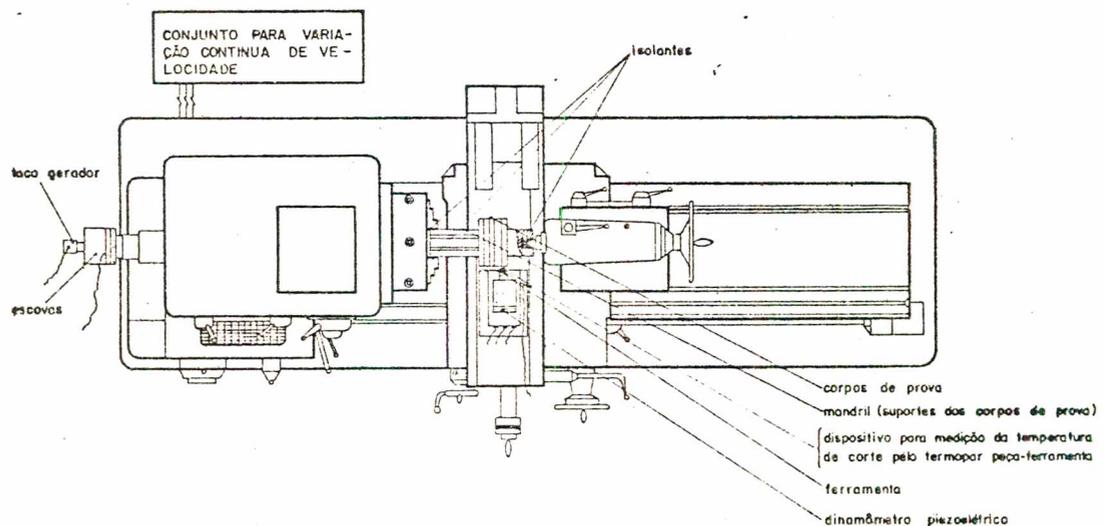


FIGURA 4.48-VISTA GERAL DA MONTAGEM NO TORNO (VISTA SUPERIOR).

O mandril com os corpos de prova foi preso na placa de tres castanhas e fixado na outra extremidade pela ponta rotativa. O mandril foi isolado com Ambatex, tanto na placa como no furo de centro para apoio da ponta, a finalidade do isolamento foi permitir que o sinal do termopar peça-ferramenta não escoasse através do torno e sim através das juntas de referência.

Como mostra a figura 4.48, na extremidade posterior da árvore do torno, foi montado um conjunto de escovas de prata, de modo a permitir a conexão de saída do sinal da temperatura de corte.

No extremo do dispositivo com escova um pequeno eixo passando pelo seu interior e fixado internamente à árvore do torno, foi conectado a um taco-gerador, que serviu para medir rotações.

O torno era dotado de um sistema de variação contínua de velocidades constituído de um grupo gerador Ward-Leonard, permitindo a obtenção de todas as velocidades sem escalonamento.

A plataforma do dinamômetro foi montada retirando-se o carro porta ferramentas do torno, de acordo com a figura 4.48. Sobre a plataforma foi fixada a ferramenta com o dispositivo especial para medição da temperatura de corte.

A figura 4.49 mostra uma fotografia do conjunto da figura 4.48, visto de outro ângulo.

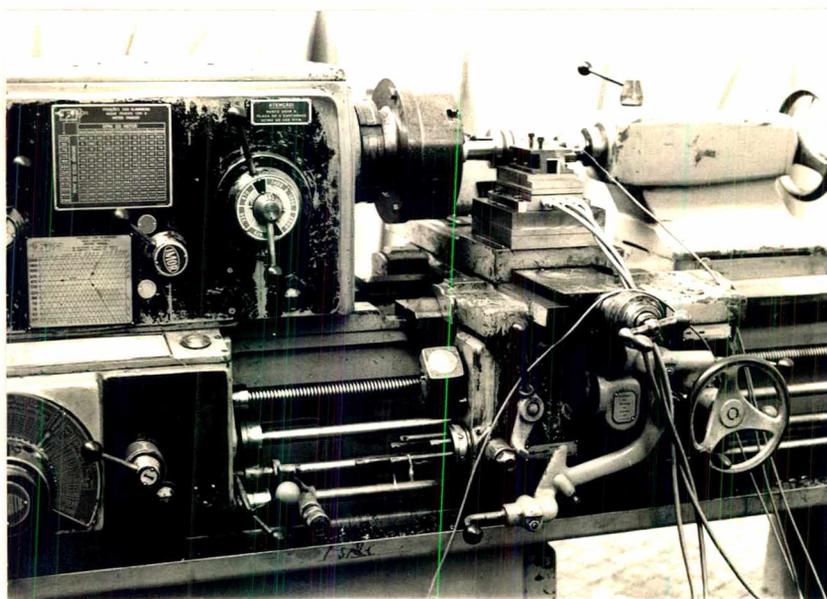


FIGURA 4.49 - Vista de um outro ângulo da montagem no torno.

A figura 4.50, mostra uma vista geral dos equipamentos de medição, montados ao lado do torno, para realização dos ensaios de usinagem.

A figura 4.51, mostra uma vista da parte posterior da árvore do torno com o detalhe da escova de prata e o taco-gerador, utilizados com os fins expostos.

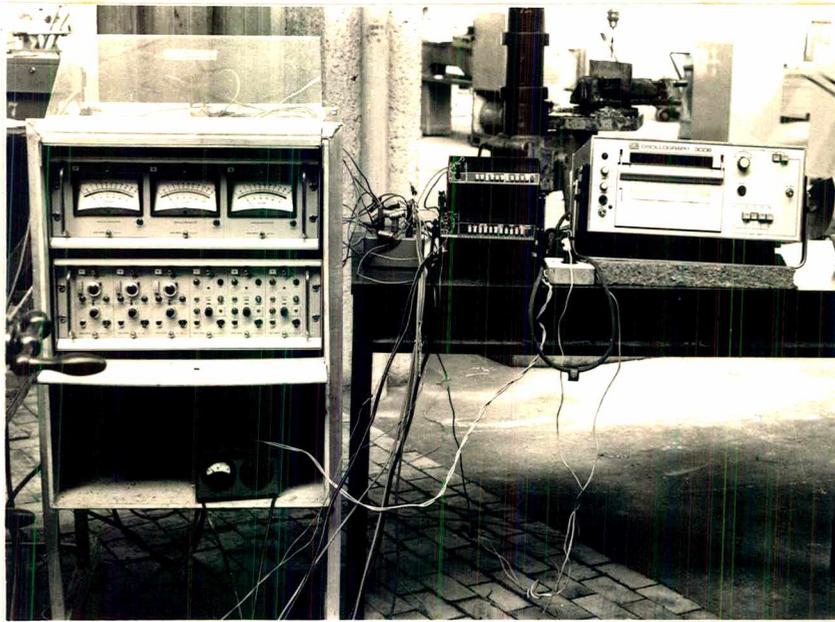


FIGURA 4.50 - Conjunto de equipamentos de medição usados nos ensaios de usinagem.

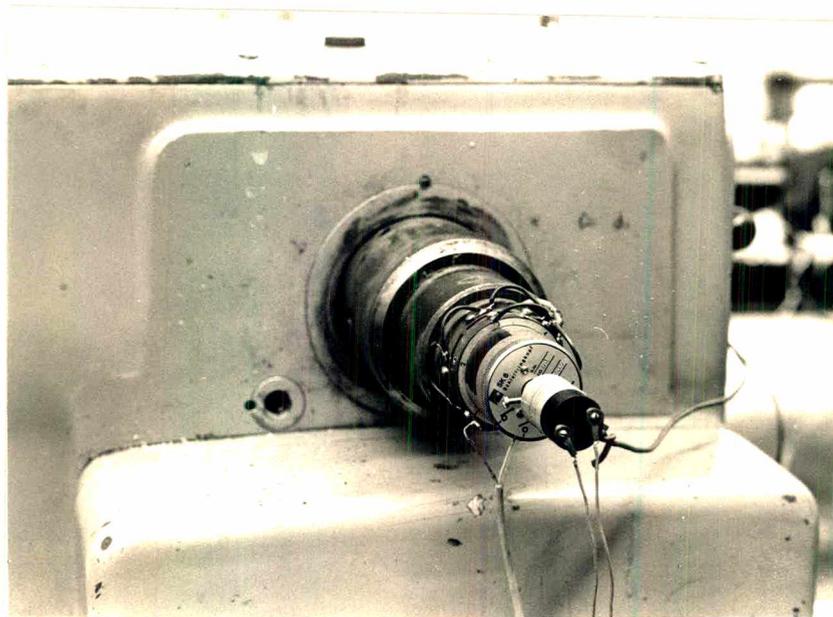


FIGURA 4.51 - Detalhe da parte posterior da árvore do torno, mostrando as escovas de prata e o taco-gerador.

4.5.2 Identificação da máquina

- Características principais:
 - Torno Imor, modelo MVN V, adaptado.
 - Distância entre pontos: 1000,0 mm
 - Altura dos pontos: 250,0 mm
 - Diâmetro torneável sobre o carro: 430,0 mm
 - Velocidades da árvore principal: 0 a 2000 rpm
 - Potência de acionamento: 22,0 KW a 1800 rpm
 - Fabricante: Indústria Romi S.A. - Sta Bárbara D'oeste - São Paulo.
- Acionamento: Grupo Ward Leonard
 - Potência do gerador: 0 a 25 KVA
 - Fabricante: Eletro Máquinas Anel S.A.

4.5.3 Características dos equipamentos de medição

- Escovas
 - Contatos de prata SK6 - GR. N° 410-01
 - Referência: FNR 2236
 - Fabricação: Hottinger Baldwin Messtechnik
- Taco gerador
 - DC Tachometer
 - Modelo 9150
 - Fabricação: Beckman - Helipot DIV
- Voltímetros Digitais
 - Modelo 8000A
 - Fabricação: John Fluke, MFC CO INC
- Oscilógrafo (U V Recorder)
 - Registro a base de luz ultra violeta
 - Modelo 3006, N° série 2529
 - Tipo N° 300615
 - Fabricação: SE Laboratories (Eng) LTD
 - Doação do governo britânico

- Paquímetro
Resolução 0,01 mm
Fabricação: CSE, Suécia
- Relógio comparador
Resolução 0,001 mm
Fabricante: Peacock, Japão



FIGURA 4.52 - Vista do oscilógrafo (U.V Recorder)

4.6 Ferramenta de corte

A ferramenta de corte usada foi de metal duro e escolheu-se o tipo em função dos cortes que seriam efetuados.

- Características principais da ferramenta de corte
Material: metal duro
Classe ISO: P30
Classe Coromant: S4
Fabricação: "Coromant" Sandvik - São Paulo

Tipo: inserto reversível

Referência: SPUN 120308

- Recomendações para uso do fabricante

Usinagem de aços carbono: Velocidade de corte, até
200,0 m/min.

Avanços, até 2,0 mm/rev.

Usinagem de aços liga: mesmos avanços.

Velocidade de corte, até
100,0 m/min.

Como se escolheu ferramentas do tipo de insertos reversíveis foi necessário usar um porta ferramenta adequado ao inserto, com este fim usou-se um porta ferramenta do mesmo fabricante do inserto, com as seguintes características:

Tipo: ferramenta direita

Modelo 174.2 saída positiva

Referência 174.2 - 2525 - 12

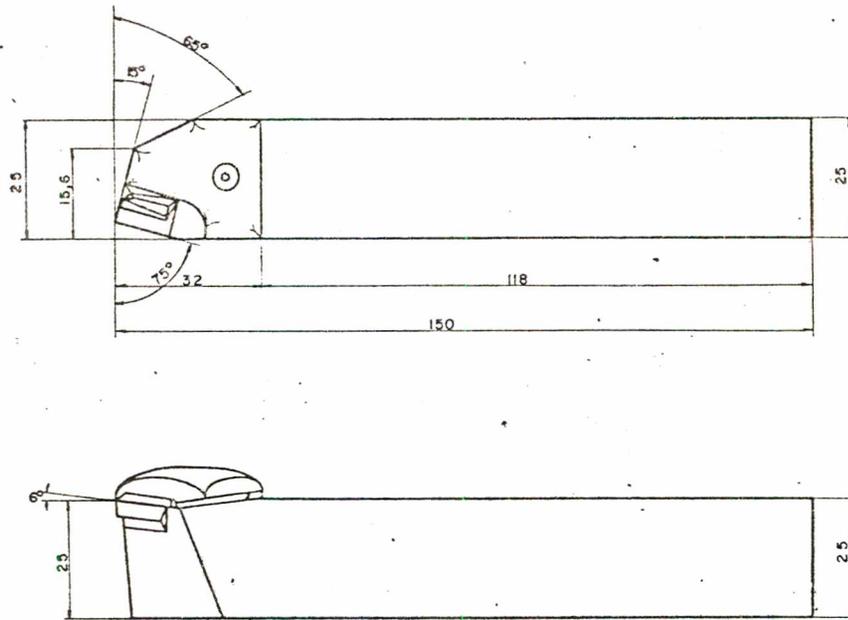
Dotado de quebra cavaco

Fabricação: Sandvik - São Paulo

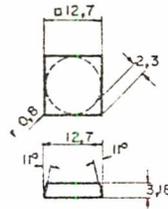
O desenho da figura 4.53, mostra os detalhes e dimensões do porta ferramenta e inserto, respectivamente

Com o inserto montado no respectivo suporte, obteve-se a seguinte geometria da ferramenta de corte, segundo a figura 4.54:

$$\begin{aligned} \chi &= \hat{\text{ângulo de posição}} = 75^{\circ} \\ \epsilon &= \hat{\text{ângulo de ponto}} = 90^{\circ} \\ r &= \text{raio de ponta} = 0,8 \text{ mm} \\ \gamma &= \hat{\text{ângulo principal de saída}} = 6^{\circ} \\ \beta &= \hat{\text{ângulo principal de cunha}} = 79^{\circ} \\ \alpha &= \hat{\text{ângulo principal de folga}} = 5^{\circ} \\ \gamma_1 &= \hat{\text{ângulo secundário de saída}} = 0^{\circ} \\ \beta_1 &= \hat{\text{ângulo secundário de cunha}} = 79^{\circ} \\ \alpha_1 &= \hat{\text{ângulo secundário de folga}} = 11^{\circ} \end{aligned}$$



a) VISTAS DO PORTA FERRAMENTA COM O INSERTO MONTADO



b) VISTAS DA FERRAMENTA TIPO INSERTO

FIGURA 4.53 - DETALHES DO PORTA FERRAMENTA E INSERTO.

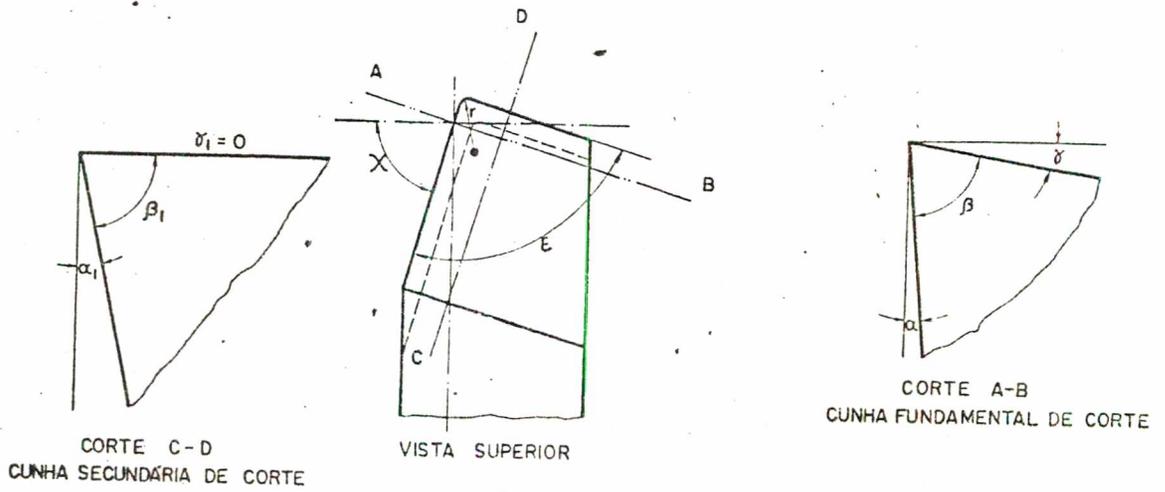


FIGURA 4.54-GEOMETRIA DA FERRAMENTA DE CORTE

Para tornar possível a utilização do método de medição da temperatura de corte, através do termopar peça-ferramenta, tornou-se necessário fazer modificações no suporte porta-ferramenta.

Um dispositivo auxiliar foi construído para apoiar um bastão, de mesmo material do inserto e fornecido pelo mesmo fabricante, que tinha a finalidade de deslocar a junta fria das proximidades da zona de corte. Havia necessidade que o bastão fosse isolado de qualquer contato, tanto com o suporte como do dispositivo de apoio, para que não ocorresse fuga do sinal gerado.

Devido a problemas com isolamento no suporte foi necessário usiná-lo e revesti-lo com verniz isolante, além de outra camada isolante colocada por ocasião da inserção do suporte na plataforma do dinamômetro. Deste modo todo o suporte e dispositivo auxiliar ficaria isolado.

Na ocasião da usinagem foi testado o isolamento para garantir uma medição real do sinal do termopar peça-ferramenta.

O desenho da figura 4.55 mostra as modificações feitas no suporte da ferramenta, as fotos das figuras 4.56 e 4.57 mostram com mais clareza tais detalhes.

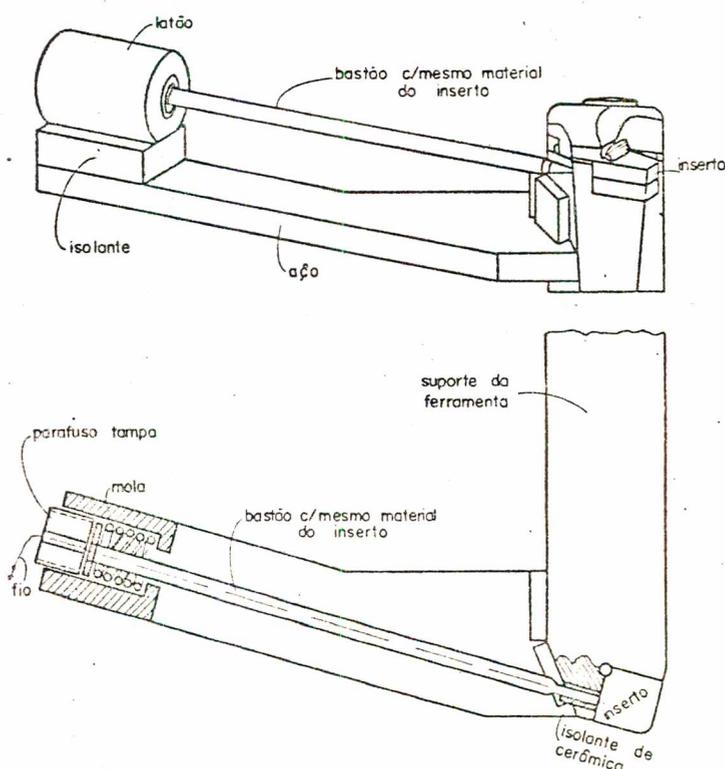


FIGURA 455 - DISPOSITIVO ACOPLADO AO SUPORTE DA FERRAMENTA PARA MEDIÇÃO DA TEMPERATURA DE CORTE.

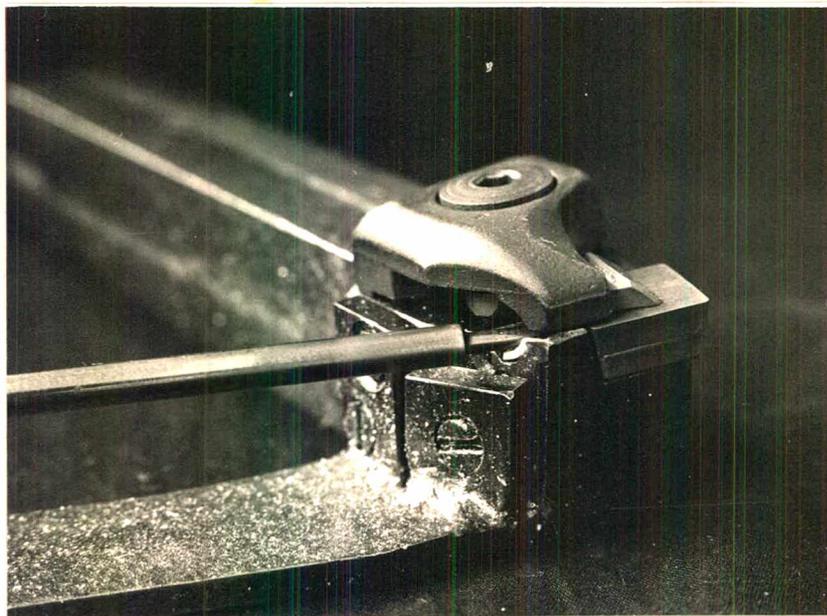


FIGURA 4.56 - Detalhe do Dispositivo acoplado ao suporte da ferramenta, mostrando o isolamento do bastão em relação ao suporte.

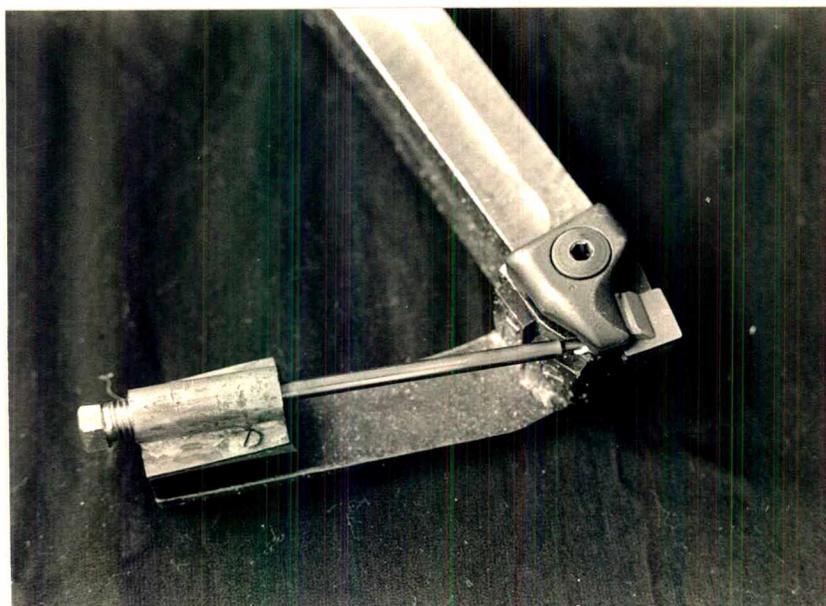


FIGURA 4.57 - Vista geral do Dispositivo acoplado ao suporte da Ferramenta para medição da Temperatura de Corte.

4.7 Metodologia dos Ensaios

4.7.1 Variáveis medidas

- Força de Corte
 - Força principal de corte, P_c
 - Força principal de avanço, P_a
 - Força de apoio ou penetração, P_p
- Temperatura de Corte, (θ)
- Rotações, (n)

4.7.2 Métodos utilizados

- Forças de Corte; método dinamométrico.
 - Foi usado um dinamômetro para medição das tres componentes da Força de Corte.
- Temperatura de Corte; método do Termopar peça-fer_ramenta.
- Rotações; com auxílio de um Taco-gerador.

4.7.3 Variável calculada

- Velocidade de Corte.

4.7.4 Condições de corte fixadas

4.7.4.1 Velocidade de corte, (v)

Escolheu-se uma faixa de valores médios para a velocidade de corte, sendo usados quatro valores, respectivamente:

60,0 ; 75,0 ; 90,0 e 105,0 (m/min)

4.7.4.2 Avanços, (a)

Três valores distintos de avanços foram utilizados, todos relativamente baixos:

0,10 ; 0,20 e 0,28 (mm/rev)

4.7.4.3 Profundidade de Corte, (p)

A profundidade de corte foi mantida constante para todos os ensaios e igual a 1,0 mm.

4.7.5 Variáveis referentes aos materiais

4.7.5.1 Tipos de Aços

Foram tres os tipos de aços ensaiados :

AÇO 1 : ABNT 1015

AÇO 2 : ABNT 1050

AÇO 3 : ABNT 4340

4.7.5.2 Tipos de microestruturas

Para cada tipo de aço tinham-se três microestruturas distintas:

- MIC 1 - Microestrutura Simplesmente Laminada
- MIC 2 - Microestrutura Recozida
- MIC 3 - Microestrutura Normalizada

4.7.6 Planejamento dos Ensaios

Os corpos de prova, anéis foram montados em conjuntos de cinco, sobre o respectivo mandril e neste conjunto tinham se duas microestruturas distintas. Designando-se abreviadamente as microestruturas como segue:

- SL - Simplesmente Laminada
- R - Recozida
- N - Normalizada

Temos três tipos de montagens distintas:

- Montagem 1 - SL/R/SL/R/SL
- Montagem 2 - SL/N/SL/N/SL
- Montagem 3 - R/N/R/N/R

Para cada aço, estas três montagens foram efetuadas.

4.7.6.1 Dimensionamento do número de ensaios

Como seriam três montagens para cada aço ter-se-ia um total de nove montagens.

Em cada uma destas montagens seriam feitos doze cortes, pois tinham-se quatro valores de velocidades de corte e cada uma seria usada com os três avanços distintos.

Considerando-se cada corte como um ensaio, o total de ensaios seria igual ao número de montagens multiplicado pelo número de cortes, dando $(9) \times (12) = 108$ ensaios.

A priori decidiu-se realizar cada ensaio três vezes para verificar a repetibilidade dos mesmos. Com isto o número

total de ensaios resultou: $(108) \times (3) = 324$ ensaios, sendo 108 ensaios para cada aço.

A justificativa de tal planejamento foi, com o auxílio da variação da microestrutura de um anel para o outro, em cada montagem, obter-se assim a variação dos parâmetros forças e temperatura de corte.

Para que fosse possível analisar, posteriormente a repetibilidade dos ensaios e dimensionar os diversos tamanhos de amostras, montou-se o quadro abaixo onde a configuração dos ensaios é equivalente àquela onde cada anel seria usinado separadamente.

TIPOS DE MONTAGENS: SL/R/SL/R/SL, SL/N/SL/N/SL, R/N/R/N/R
 Nº DE ANEIS SL: 6
 Nº DE ANEIS R : 5
 Nº DE ANEIS N : 4
 Nº DE AÇOS : 3
 Nº DE REPETIÇÕES: 3

Com isto tinha-se o número total de anéis para cada microestrutura.

Nº DE ANEIS SL = $(6) \times (9) = 54$
 Nº DE ANEIS R = $(5) \times (9) = 45$
 Nº DE ANEIS N = $(4) \times (9) = 36$

Ou ainda por tipo de aço: 18, 15 e 12 respectivamente.

Assim sendo, para cada corte tem-se um tamanho de amostra prévio, em função da microestrutura como segue:

MIC 1, SL - 18
 MIC 2, R - 15
 MIC 3, N - 12

Com base nestes números são apresentados os resultados em forma de tabelas no capítulo específico.

Considerando-se que o diâmetro inicial dos anéis é 72,0 mm, e que a expressão (4.1) modificada fornece $n=1000.v/\pi.D$ e ainda, que em cada corte a profundidade é de 1,0 mm,

ficando o diametro reduzido de 2,0 mm. Com base nestes elementos montou-se a tabela 31, que contém a programação dos testes.

CORTE N°	DIÂMETRO USINADO (mm)	AVANÇO mm/rev	AVANÇO POSIÇÃO	VELOCIDADE DE CORTE (m/mm)	ROTAÇÕES CORRESP. (rpm)
01	72	0,10	B9	60	248,7
02	70	0,20	A9	60	256,0
03	68	0,28	D5	60	263,9
04	66	0,10	B9	75	342,5
05	64	0,20	A9	75	353,5
06	62	0,28	D5	75	365,2
07	60	0,10	B9	90	455,1
08	58	0,20	A9	90	471,2
09	56	0,28	D5	90	488,3
10	54	0,10	B9	105	592,8
11	52	0,20	A9	105	616,0
12	50	0,28	D5	105	641,0

Tabela 31 - Programação das condições de corte a serem utilizadas em cada montagem.

4.7.6.2 Aferições dos equipamentos

Com base no ítem 4.6.2, tornou-se necessário proceder as aferições dos seguintes equipamentos:

- Dinamômetro em suas três componentes
- Sistema termopar peça-ferramenta
- Galvanômetros e filtros do oscilógrafo
- Sistema de medição das rotações, taco-gerador e voltímetro digital

As três primeiras aferições serão descritas nos capítulos referentes à medição de forças e temperaturas de corte respectivamente, enquanto que a aferição do sistema de medição das rotações será descrito no ítem seguinte.

4.8 Aferição do Sistema de Medição das Rotações

4.8.1 Esquema da aferição

A figura 4.58 apresenta um esquema da aferição do taco-gerador:

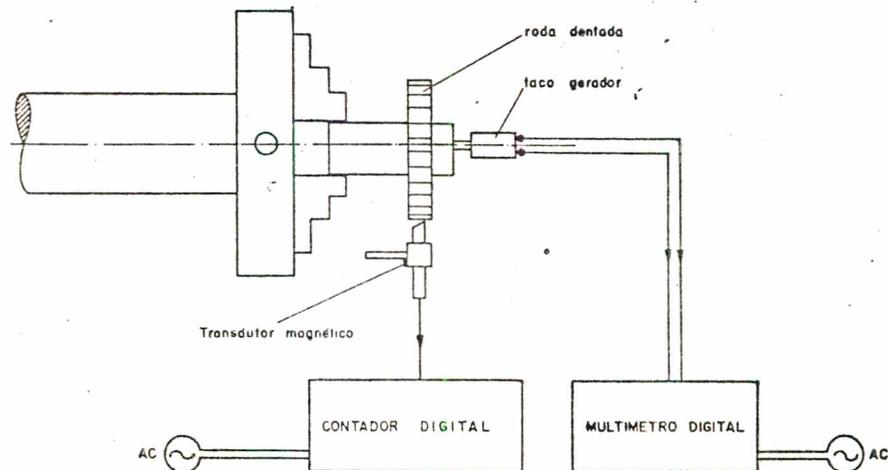


FIGURA 4.58-ESQUEMA DA AFERIÇÃO DO TACO GERADOR

Fixou-se uma roda dentada a um eixo e este foi fixado a placa de três castanhas do torno. No extremo do referido eixo foi colocado o taco-gerador, que gerava uma tensão proporcional a um determinado número de rotações do eixo, e que foi medida com um multímetro digital. Tangencialmente à roda dentada, um transdutor magnético emitia pulsos elétricos proporcionais ao número de dentes da roda, estes pulsos eram indicados no contador digital.

Os pulsos podiam ser contados em um ou dez segundos

conforme se manipulasse os controles do contador digital e estes números de pulsos serviriam como padrão para aferição.

4.8.2 Equipamentos usados na aferição

- Voltímetro digital
Modelo 8000A
Fabricante: John Fluke - MFC CO INC

- Taco-gerador
Modelo: 9150, DC TACHOMETER
Constante de medição: 7,0 Volts de saída, correspondendo a 1000 rpm.
Fabricante: Beckman, Helipot Div.

- Pick-Up
Transdutor magnético
Tipo: Ma.536
Fabricante: Racal Instruments LTD

- Contador digital
Tipo: Universal Counter
Modelo: 835 - série nº 3040
Sensibilidade, sinal mínimo $\pm 1,5$ V
sinal máximo ± 35 V
Medição de frequências: escala = DC até 15 MHz
Precisão: ± 1 dígito \pm precisão da Constante de Tempo.
Constante de Tempo: 1 μ seg. até 10 seg.
Fabricante: Racal Instruments LTD

A foto da figura 4.59 mostra o conjunto anteriormente descrito na ocasião da aferição efetuada.

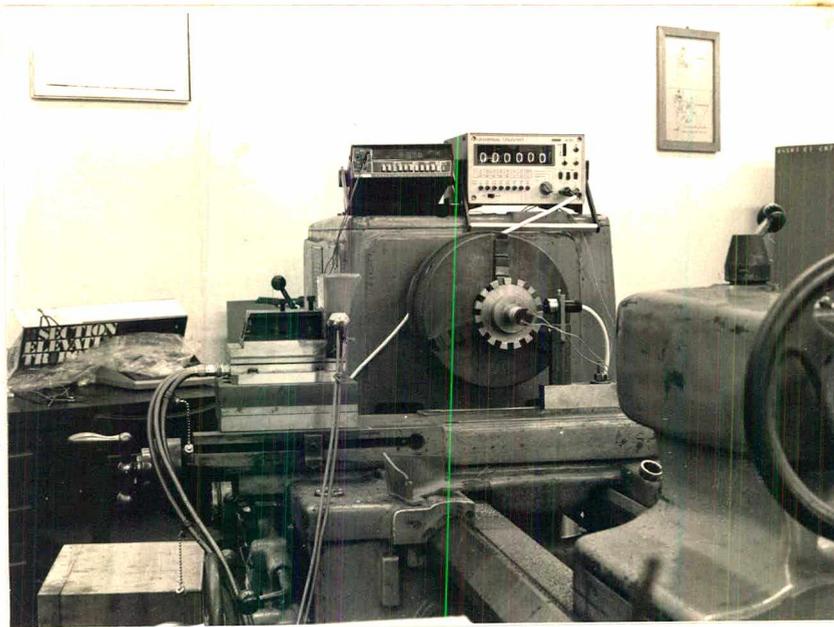


FIGURA 4.59 - Conjunto da Aferição do Taco-gerador.

4.8.3 Características da aferição

Foram efetuadas duas aferições, uma com o contador de pulsos com constante de tempo igual a 1 segundo e a outra com a constante de tempo igual a dez segundos.

Tinha-se uma roda dentada disponível com $Z = 15$ dentes, deste modo estabeleceu-se o número de rotações por minuto para cada aferição como segue:

- Para a constante de tempo igual a 1 (um) segundo:

$$\text{rpm}_1 = \frac{(N_1) \times (60)}{Z} \quad (4.2)$$

onde,

N_1 = nº de pulsos indicados em 1 seg.

Z = nº de dentes = 15

Para a constante de tempo igual a 10 (dez) segundos

$$\text{rpm}_2 = \frac{(N_2) \times (60)}{(10) \times (Z)} \quad (4.3)$$

onde,

N_2 = nº de pulsos indicados em 10 seg.

Z = nº de dentes = 15

Substituindo-se o valor de Z nas expressões (4.2) e (4.3) tinham-se as expressões (4.4) e (4.5) respectivamente.

$$\text{rpm}_1 = (N_1) \times (4) \quad (4.4)$$

$$\text{rpm}_2 = (N_2) \times (0,4) \quad (4.5)$$

Considerando-se o valor padrão como sendo aquele indicado pelo contador de pulsos e o valor lido como o indicado no multímetro, definiu-se o Erro Relativo, como segue:

$$E_r = \frac{V_1 - V_p}{V_p} 100 \quad [\%] \quad (4.6)$$

onde,

E_r = Erro relativo (%)

V_1 = Valor lido

V_p = Valor padrão

Devido às características do contador de pulsos, surgiu um Erro Sistemático cujo valor dependia da constante de tempo utilizada. Tal erro caracterizou-se como segue:

- Constante de Tempo = 1 seg

A expressão (4.4) diz que um pulso, ou seja $N_1 = 1$ corresponde a quatro rpm.

Portanto dois pulsos correspondem a oito rpm e as sim por diante, de modo que:

25 pulsos correspondem a 100 rpm

26 pulsos correspondem a 104 rpm

Todavia o contador digital não indica frações de pulsos e assim de 100 rpm até 103,99 rpm tem-se ainda 25 pulsos.

Logo em 100 rpm tem-se um erro de 4 rpm ou seja 4%.

- Constante de Tempo = 10 seg.

De modo análogo ocorre um Erro Sistemático, porém menor pois a constante de tempo aumentou:

O erro sistemático neste caso é 0,4% e portanto, a medição é mais precisa, sem alterar o número de dentes da roda dentada.

4.8.4 Resultados da aferição

Os resultados da aferição são apresentados na tabela 32, onde os cinco primeiros valores foram desconsiderados tendo-se em vista que todas as rotações usadas seriam superiores a 150 rpm.

Além da consideração anterior de que a leitura para a constante de tempo igual a 10 segundos era mais precisa, verificou-se através da tabela 32 que, comparando-se os erros médios relativos das duas aferições, a aferição efetuada para 10 segundos era mais precisa e continha menor erro do taco-gerador.

A constante de medição do taco-gerador, fornecida pelo fabricante é: 7 Volts = 1000 rpm.

Ressalte-se que os números de pulsos foram contados cinco vezes para cada valor de volts indicado no multímetro, sendo portanto os números indicados na tabela 32, valores médios dos pulsos resultantes das cinco medições.

A tabela 33 apresenta os valores obtidos com a constante de tempo em dez segundos para fins da regressão linear e efetuada.

N	VALOR LIDO		VALOR PADRÃO						ERRO RELATIVO P/10 SEG	ERRO RELATIVO P/1 SEG	ERRO RELATIVO P/10 SEG
	LEITURA NO MULTÍMETRO (Volts)	CONVERSÃO PARA (rpm)	PARA 1 SEG.		PARA 10 SEG.		RPM ₂ N ₂ x0,4				
			Nº DE PULSOS (N ₁)	RPM ₁ N ₁ x4	Nº DE PULSOS (N ₂)	RPM ₂					
01	0,20	29	7	28	75	30	30	-3,44	3,44	3,44	
02	0,40	57	15	60	148	59	59	5,26	3,40	3,40	
03	0,60	86	22	88	221	88	88	2,32	2,32	2,32	
04	0,70	100	25	100	225	102	102	0,00	2,00	2,00	
05	0,80	114	29	116	299	120	120	1,75	5,26	5,26	
06	1,00	143	38	152	375	150	150	6,29	4,89	4,89	
07	1,50	214	58	232	560	224	224	8,41	4,67	4,67	
08	2,00	286	74	296	746	298	298	3,50	4,19	4,19	
09	2,50	357	93	372	916	366	366	4,20	2,52	2,52	
10	3,00	429	112	448	1102	441	441	4,42	2,79	2,79	
11	3,50	500	132	528	1294	518	518	5,60	3,60	3,60	
12	4,00	571	151	604	1477	591	591	5,77	3,50	3,50	
13	4,50	643	171	684	1664	666	666	6,37	3,57	3,57	
14	5,00	714	187	748	1851	740	740	4,76	3,64	3,64	
15	5,50	786	204	816	2019	808	808	3,82	2,80	2,80	
16	6,00	857	222	888	2220	888	888	3,61	3,61	3,61	
17	6,50	929	242	968	2400	960	960	4,19	3,33	3,33	
18	7,00	1000	258	1032	2593	1037	1037	3,20	3,70	3,70	
19	7,50	1071	277	1108	2777	1111	1111	3,45	3,73	3,73	
20	8,00	1143	296	1184	2962	1185	1185	3,58	3,67	3,67	
21	8,50	1214	314	1256	3142	1257	1257	3,45	3,54	3,54	
22	9,00	1286	333	1332	3334	1334	1334	3,57	3,73	3,73	
23	9,50	1357	351	1404	3536	1414	1414	3,46	4,20	4,20	
					ERRO MÉDIO RELATIVO			4,54		3,65	

TABELA 32 - Valores obtidos na aferição do Taco-gerador.

N	VOLTS	RPM EQUIV. AO N° DE PULSOS
	Y	X
01	1,00	150
02	1,50	224
03	2,00	298
04	2,50	366
05	3,00	441
06	3,50	518
07	4,00	591
08	4,50	666
09	5,00	740
10	5,50	808
11	6,00	888
12	6,50	960
13	7,00	1037
14	7,50	1111
15	8,00	1185
16	8,50	1257
17	9,00	1334
18	9,50	1414

Tabela 33 - Valores obtidos para a constante de tempo igual a dez segundos, para a regressão linear.

Na regressão linear usaram-se as expressões que seguem, fornecidas pelo manual de programação da HP 25¹².

$$Y = a_1 X + a_0 \quad (4.7)$$

$$a_1 = \frac{\sum X \cdot Y - \frac{\sum X \cdot \sum Y}{n}}{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}} \quad (4.8)$$

$$a_0 = \bar{Y} - a_1 \bar{X} \quad (4.9)$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y}{n} \quad (4.10)$$

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n} \quad (4.11)$$

Coeficiente de determinação (r^2):

$$r^2 = \frac{\left| \sum XY - \frac{\sum X \sum Y}{n} \right|^2}{\left| \sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n} \right| \left| \sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n} \right|} \quad (4.12)$$

Quanto mais próximo de 1 for o valor de r^2 significa que mais precisa é a regressão linear,

$$0 \leq r^2 \leq 1 \quad (4.13)$$

Através de um programa, utilizando a HP 25, com auxílio das expressões (4.7) a (4.12) encontrou-se os seguintes resultados:

$$a_0 = 0,010$$

$$a_1 = 0,0067$$

$$r^2 = 1,00$$

e através da expressão (4.7) resultou a expressão seguinte:

$$Y = (0,0067 X) + (0,010)$$

$$\text{ou Volts} = (0,0067 \text{ rpm}) + (0,010) \quad (4.14)$$

A constante de medição fornecida pelo fabricante do taco-gerador era:

$$7 \text{ Volts} = 1000 \text{ rpm}$$

ou,

$$\text{Volts} = 0,007 \text{ rpm} \quad (4.15)$$

Comparando-se as expressões (4.14) com (4.15) verificou-se ser muito pequeno o erro do taco-gerador em comparação com o contador de pulsos.

Para que todo o sistema de medição de rotações estivesse aferido, verificou-se a precisão de leituras do multímetro digital.

Esta verificação foi efetuada com o auxílio de uma fonte de tensão padrão com as seguintes características:

Modelo: Meter Calibrator

Tipo: 760 A

Referência: 72414

Fabricante: John Fluke

Aplicou-se tensões e verificou-se o valor indicado pelo multímetro para as duas escalas que foram usadas, quais sejam:

Escala 1 - 0 a 2,0 V

Escala 2 - 0 a 20,0 V

A fonte de tensão padrão através de um "feed back" indicava o erro percentual da tensão aplicada, com isto foi determinado o erro de leitura do multímetro. Como se sabia que a maior probabilidade de erros de leitura estava nos extremos das escalas, verificou-se os erros para as seguintes leituras:

1,98; 2,00; 5,00; 10,00; 20,00

visto que o menor valor que foi lido nos testes foi 1,00 V e o máximo, 9,50 V.

O erro máximo de leitura do multímetro verificado - foi 0,38% e, como era menor que 0,50%, este erro foi desprezado e considerou-se exata a leitura do multímetro.

- Adaptação da expressão encontrada na aferição as condições de corte.

A expressão (4.1) mostrava que:

$$V = \frac{\pi D n}{1000}$$

onde,

V = Velocidade de corte (m/min)

n = r.p.m.

D = Diâmetro usinado (mm)

A expressão (4.14)

$$\text{Volts} = (0,0067 \text{ rpm}) + (0,010)$$

Manipulando estas duas expressões, resultou:

$$\text{Volts} = (2,133) \left(\frac{V}{D} \right) + (0,010) \quad (4.16)$$

onde;

V = velocidade de corte (m/min)

D = Diâmetro usinado (mm)

Com o auxílio da expressão (4.16) foi possível de terminar diretamente, qual deveria ser o número de volts que o multímetro deveria indicar para a obtenção de uma dada velocidade de corte (V) usinando um determinado diâmetro (D).

Deste modo foi completada a tabela 31 que apresenta o quadro da programação dos testes.

5. MEDIÇÃO DAS FORÇAS DE CORTE

5.1 Considerações sobre as forças de corte

No torneamento com corte oblíquo, a força de usinagem P_u pode ser decomposta em três componentes, segundo a figura 5.1, onde :

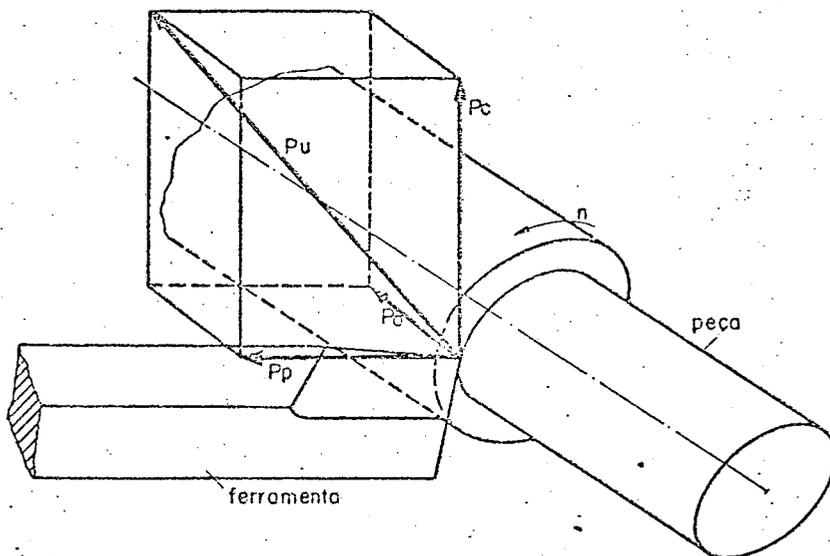


FIGURA 5.1 - COMPONENTES DA FORÇA DE USINAGEM ATUANDO NA PEÇA, NO TORNEAMENTO. Ferroresis⁵

- P_c = Força principal de corte
- P_a = Força de avanço
- P_p = Força passiva ou de profundidade

Estas componentes podem ser medidas com o auxílio de um dinamômetro.

5.2 Descrição do sistema de medição

O sistema de medição das forças de corte era constituído pelos seguintes equipamentos:

- Plataforma dinamométrica
- Amplificador de sinais
- Indicador analógico
- Filtros
- Galvanômetros
- Registrador (oscilógrafo)

O sinal análogo ao valor da força de corte, gerado pela plataforma dinamométrica, foi amplificado e, em seguida, enviado ao indicador analógico. Paralelamente, na saída do amplificador, o sinal era levado a um filtro passivo RC. Um galvanômetro, montado no oscilógrafo, recebia o sinal permitindo registrá-lo em papel fotográfico através de luz ultra-violeta.

5.3 Características dos equipamentos

- Plataforma dinamométrica de três componentes, figura 5.3

Sistema de medição: Cristais piezoelétricos

Força máxima nas componentes,

$$P_z(P_c) = 1000 \text{ kgf}$$

$$P_x(P_a), \quad P_y(P_p) = 500 \text{ kgf}$$

Capacidade de sobrecarga = 50%

Sensibilidade,

$$P_z = - 35 \text{ pC/kgf}$$

$$P_x, P_y = - 75 \text{ pC/kgf}$$

Resolução $\leq 0,001 \text{ kgf}$

Rigidez,

$$\text{no eixo } z = 200 \text{ kgf}/\mu\text{m}$$

$$\text{nos eixos } x \text{ e } y = 100 \text{ kgf}/\mu\text{m}$$

Linearidade, erro máximo = $\pm 1\%$

Frequência de ressonância = 4,0 KHz

Fabricante: Kistler Instruments, Ag - Suíça

Modêlo: 9257D

Tipo: SN 61370

- Amplificador de sinais, figura 5.4

Faixas de medição nas escalas: 10 a 500 000 pC em 12 faixas

Capacitor variável das escalas, 10 a 50 000 pF

Fator de calibração: 0,1 a 110 000 pC/unid. mec.

Tensão máxima de saída: $\pm 10 \text{ V}$

Maior escala: 10 pF/10 V

Menor escala: 50 000 pF/10 V

Linearidade, erro máximo = 0,05%

Precisão das escalas,

mais sensível: $\pm 1\%$

normal: $\pm 3\%$

Fabricante: Kistler Instruments - Suíça

Tipo: 5001

Os recursos do amplificador de sinais permitem fa

zer a medição em faixas, através da variação de capacitância. Isto possibilita ao usuário a medição na unidade desejada, mediante a ajustagem adequada sem a utilização de constantes de transformação.

- Indicador analógico, figura 5.4

Faixa de medição,

Tensão: (+) -1 a 10 V

(-) 1 a -10 V

Tensão máxima admissível na entrada: ± 20 V

Precisão: $< \pm 1,2\%$

Precisão AC: $< \pm 3,5\%$ F.S.

Erros de resposta em frequência: $< \pm 2\%$

Tipo, referência: 5501

Fabricante: Kistler Instruments - Suíça

- Galvanômetros, figura 5.5

Tensão máxima: 2,1 V

Frequência natural: 3 300 Hz

Sensibilidade: 7,5 mA/cm, $\pm 10\%$

ou : 315 mV/cm, $\pm 10\%$

Máxima corrente de segurança: 50 mA, rms

Resistência de resposta: $42 \Omega \pm 10\%$

Tipo: SE/A3300

Fabricante: SE Laboratories Engineering LTD - Inglaterra.

- Oscilógrafo, figura 4.52

Modelo: SE 3006

Nº de Canais: 12

Velocidade de registro: $1,5 \times 10^6$ mm/seg

Linearidade: $\pm 1\%$

Velocidade do papel: 10, 25, 100, 200 m/min
ou, mm/seg

Papel de registro: Direct Print Kodak

Largura do papel: 152 mm

- Filtros, figura 5.7

Tipo: Filtro passivo RC

Conforme esquema da figura 5.2.

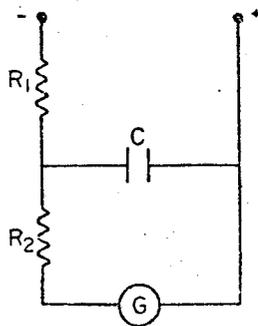


FIGURA 5. 2
ESQUEMA DOS FILTROS PASSIVOS RC
USADOS NAS MEDIÇÕES DE FORÇAS.

Dois tipos de filtros foram usados para cada componentes de força, com as seguintes características:

Força Pz:

Filtro 1 - $C = 400 \mu\text{F}$, $R_1 = 47,4 \Omega$, $R_2 = 102,7 \Omega$

Filtro 2 - $C = 1000 \mu\text{F}$, $R_1 = 46,9 \Omega$, $R_2 = 98,2 \Omega$

Força Py

Filtro 1 - C = 400 μ F, R_1 = 47,8 Ω , R_2 = 101,7 Ω
 Filtro 2 - C = 1000 μ F, R_1 = 46,8 Ω , R_2 = 99,9 Ω

Força Px

Filtro 1 - C = 400 μ F, R_1 = 47,5 Ω , R_2 = 102,0 Ω
 Filtro 2 - C = 1000 μ F, R_1 = 47,0 Ω , R_2 = 97,9 Ω

Os filtros foram usados para ajustar a tensão de saída do amplificador, a qual podia atingir os 10 V, com a tensão permissível nos galvanômetros, 2,1 V. Outra finalidade foi linearizar os sinais das forças a fim de facilitar a medição.

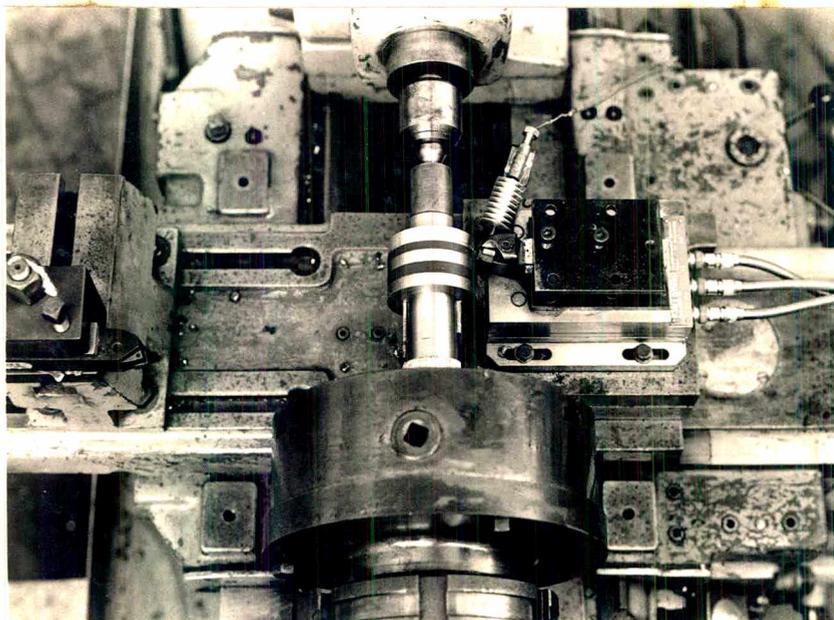


FIGURA 5.3 - Vista da plataforma dinamométrica montada na máquina, com a ferramenta a adaptada.

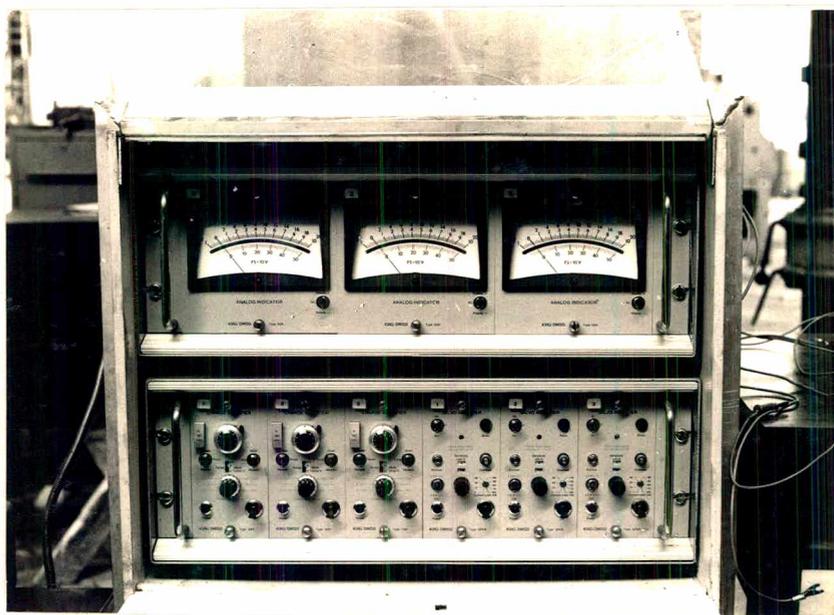


FIGURA 5.4 - Vista do amplificador de sinais Kistler (abaixo à esquerda), acima o indicador analógico Kistler. Ambos com três unidades, um para cada componente de força



FIGURA 5.5 - Vista do galvanômetro utilizado nas medições de forças e temperaturas de corte.

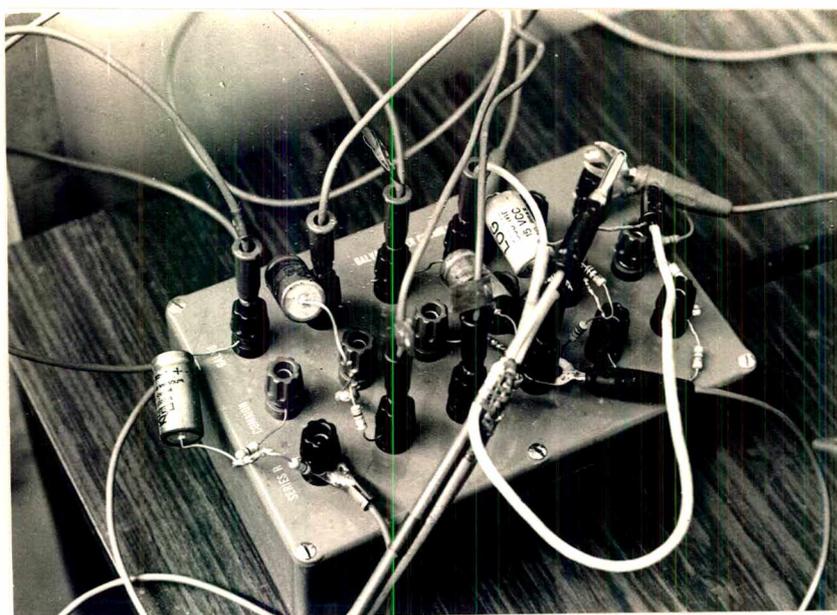


FIGURA 5.6 - Vista do conjunto de filtros usados nas medições de forças e temperaturas de corte.

5.4 Aferição do Dinamômetro Kistler

5.4.1 Descrição da aferição

A aferição foi realizada para cada componente da força de usinagem. A foto da figura 5.7 mostra uma vista geral das montagens utilizadas na aferição.

Com o auxílio de uma balança e pesos aferidos foi carregada a plataforma dinamométrica. O sinal era amplificado e indicado no Indicador Analógico. De acordo com o valor esperado das forças, aferiu-se as diversas escalas do amplificador. Um ajuste no botão "Trans Sens", do amplificador, o qual permitia ajustar a sensibilidade do amplificador com a sensibilidade do transdutor, possibilitou ajustar, ao longo da escala, o valor análogo indicado com o valor da força aplicada na plataforma.

O valor obtido para o "Trans Sens", em cada escala deveria ser repetido por ocasião do uso da referida escala.

Verificou-se que o sistema não apresentava problemas de histerese.

Um nível eletrônico foi utilizado para garantir a zeragem da balança.

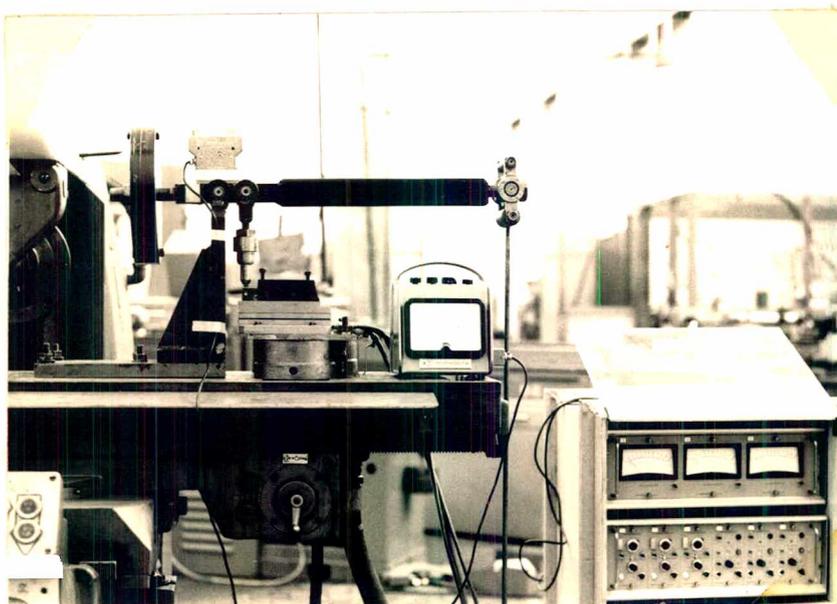


FIGURA 5.7 - Vista geral da montagem para a aferição das componentes do Dinamômetro Kistler.

As fotos das figuras 5.8 a 5.10, mostram as montagens para as aferições das componentes $P_z(P_c)$, $P_x(P_a)$ e $P_y(P_p)$ respectivamente.

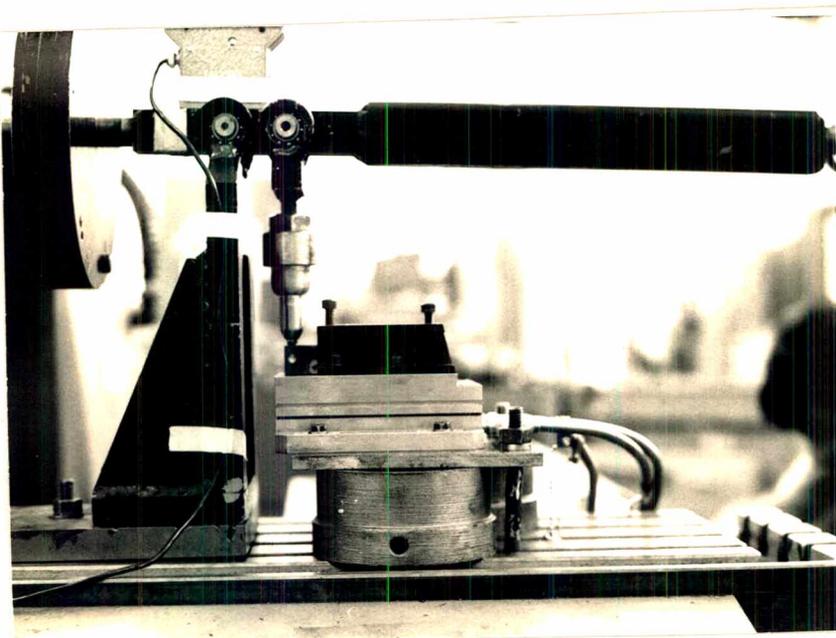


FIGURA 5.8 - Vista da montagem para a aferição da componente $P_z(P_c)$.

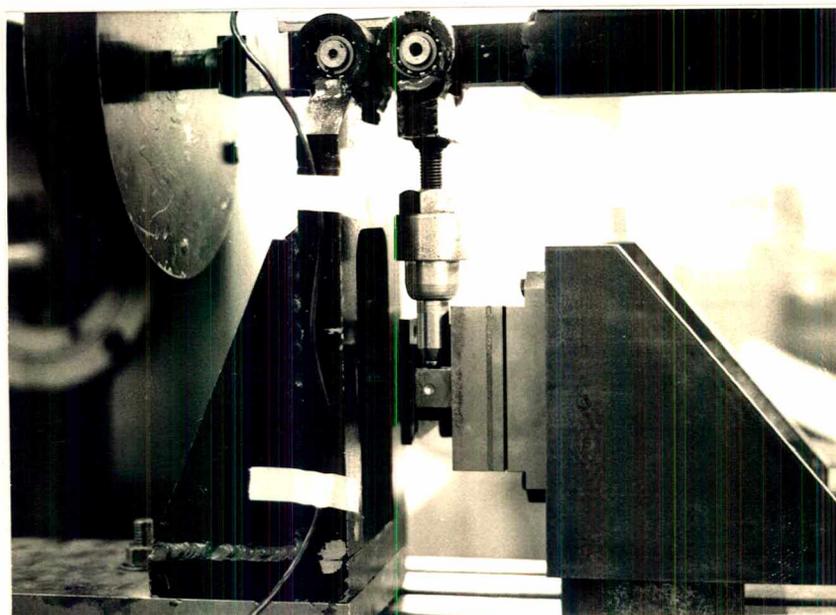


FIGURA 5.9 - Vista da montagem para a aferição da componente $P_x(P_a)$.

0,00001 pol/pol.

- Pesos aferidos: 0,5 kgf
- 1,0 kgf
- 2,0 kgf
- 5,0 kgf
- 10,0 kgf

5.4.3 Resultados da aferição

As tabelas 34 a 36 mostram os resultados das aferições da componente Pc para suas três escalas.

Em cada uma das tabelas observa-se o valor do "Trans Sens".

Através dos resultados obtidos observa-se uma perfeita linearidade das aferições.

As tabelas 37 a 39 mostram os resultados das aferições da componente Pa para suas três escalas, respectivamente. Observa-se também uma perfeita linearidade das aferições.

As tabelas 40 e 41 mostram os resultados das aferições da componente Pp para duas de suas escalas. Observa-se uma linearidade bastante boa em ambas as aferições.

		LEITURAS (VOLTS)						
N	CARGAS (KGF)	1	2	3	4	5	MÉDIAS	DESVIOS
01	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	0,0
02	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	0,0
03	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	0,0
04	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	0,0
05	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	0,0
06	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	0,0
07	44,0	44,0	44,0	44,0	44,0	44,0	44,0	0,0
08	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	0,0
09	66,0	66,0	66,0	66,0	66,0	66,0	66,0	0,0
10	77,0	77,0	77,0	77,0	77,0	77,0	77,0	0,0
11	88,0	88,0	88,0	88,0	88,0	88,0	88,0	0,0
12	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	0,0

Tabela 34 - Aferição de Pc, Escala 1 - 0 a 100 kgf
"Trans Sens". Posição 3.635

N	CARGAS (KGF)	LEITURAS (VOLTS)					MÉDIAS	DESVIOS
		1	2	3	4	5		
01	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	0,0
02	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	0,0
03	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	0,0
04	44,0	44,0	44,0	44,0	44,0	44,0	44,0	0,0
05	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	0,0
06	66,0	66,0	66,0	66,0	66,0	66,0	66,0	0,0
07	77,0	77,0	77,0	77,0	77,0	77,0	77,0	0,0
08	88,0	88,0	88,0	88,0	88,0	88,0	88,0	0,0
09	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	0,0
10	110,0	110,0	110,0	110,0	110,0	110,0	110,0	0,0
11	121,0	121,0	121,0	121,0	121,0	121,0	121,0	0,0
12	132,0	131,5	131,5	131,5	131,5	131,5	131,5	0,0
13	143,0	142,0	142,0	142,0	142,0	142,0	142,0	0,0
14	154,0	153,0	153,0	153,0	153,0	153,0	153,0	0,0
15	165,0	164,0	164,0	164,0	164,0	164,0	164,0	0,0
16	176,0	175,0	175,0	175,0	175,0	175,0	175,0	0,0
17	187,0	186,0	186,0	186,0	186,0	186,0	186,0	0,0
18	198,0	197,0	197,0	197,0	197,0	197,0	197,0	0,0

Tabela 35 - Aferição de Pc, Escala 2 : 0 a 200 kgf
"Trans Sens". Posição 3.635

N	CARGAS (KGF)	LEITURAS (VOLTS)					MÉDIAS	DESVIOS
		1	2	3	4	5		
01	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	0,0
02	110,0	110,0	110,0	110,0	110,0	110,0	110,0	0,0
03	165,0	165,0	165,0	165,0	165,0	165,0	165,0	0,0
04	220,0	220,0	220,0	220,0	220,0	220,0	220,0	0,0
05	275,0	275,0	275,0	275,0	275,0	275,0	275,0	0,0
06	330,0	330,0	330,0	330,0	330,0	330,0	330,0	0,0
07	385,0	383,0	383,0	383,0	383,0	383,0	383,0	0,0
08	440,0	438,0	438,0	438,0	438,0	438,0	438,0	0,0
09	495,0	492,0	492,0	492,0	492,0	492,0	492,0	0,0

Tabela 36 - Aferição de Pc, Escala 5 : 0 a 500 kgf
"Trans Sens". Posição 3.680

		LEITURAS (VOLTS)						
N	CARGAS (KGF)	1	2	3	4	5	MÉDIAS	DESVIOS
01	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	0,0
02	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	0,0
03	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	0,0
04	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	0,0
05	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	0,0
06	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	0,0
07	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5	0,0
08	44,0	44,0	44,0	44,0	44,0	44,0	44,0	0,0
09	49,5	49,5	49,5	49,5	49,5	49,5	49,5	0,0
10	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	0,0
11	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	60,5	0,0
12	66,0	66,0	66,0	66,0	66,0	66,0	66,0	0,0

Tabela 37 - Aferição de Pa, Escala 1 : 0 a 100 kgf
"Trans Sens". Posição 7.565

		LEITURAS (VOLTS)						
N	CARGAS (KGF)	1	2	3	4	5	MÉDIAS	DESVIOS
01	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	0,0
02	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	0,0
03	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	0,0
04	44,0	44,0	44,0	44,0	44,0	44,0	44,0	0,0
05	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	0,0
06	66,0	66,0	66,0	66,0	66,0	66,0	66,0	0,0
07	77,0	77,0	77,0	77,0	77,0	77,0	77,0	0,0
08	88,0	88,0	88,0	88,0	88,0	88,0	88,0	0,0
09	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	0,0
10	110,0	110,0	110,0	110,0	110,0	110,0	110,0	0,0
11	121,0	121,0	121,0	121,0	121,0	121,0	121,0	0,0
12	132,0	132,0	132,0	132,0	132,0	132,0	132,0	0,0
13	143,0	143,0	143,0	143,0	143,0	143,0	143,0	0,0
14	154,0	154,0	154,0	154,0	154,0	154,0	154,0	0,0
15	165,0	165,0	165,0	165,0	165,0	165,0	165,0	0,0
16	176,0	176,0	176,0	176,0	176,0	176,0	176,0	0,0
17	187,0	187,0	187,0	187,0	187,0	187,0	187,0	0,0
18	198,0	198,0	198,0	198,0	198,0	198,0	198,0	0,0

Tabela 38 - Aferição de Pa, Escala 2: 0 a 200 kgf
"Trans Sens". Posição 7.530

		LEITURAS (VOLTS)						
N	CARGAS (KGF)	1	2	3	4	5	MÉDIAS	DESVIOS
01	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	0,0
02	110,0	110,0	110,0	110,0	110,0	110,0	110,0	0,0
03	165,0	165,0	165,0	165,0	165,0	165,0	165,0	0,0
04	220,0	220,0	220,0	220,0	220,0	220,0	220,0	0,0
05	275,0	275,0	275,0	275,0	275,0	275,0	275,0	0,0
06	330,0	330,0	330,0	330,0	330,0	330,0	330,0	0,0
07	385,0	385,0	385,0	385,0	385,0	385,0	385,0	0,0
08	440,0	440,0	440,0	440,0	440,0	440,0	440,0	0,0

Tabela 39 - Aferição de Pa, Escala 5: 0 a 500 kgf
"Trans Sens". Posição 7.575

		LEITURAS (VOLTS)						
N	CARGAS (KGF)	1	2	3	4	5	MÉDIAS	DESVIOS
01	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	0,0
02	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0	0,0
03	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	0,0
04	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	22,0	0,0
05	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	33,0	0,0
06	44,0	44,0	44,0	44,0	44,0	44,0	44,0	0,0
07	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	0,0
08	66,0	66,0	66,0	66,0	66,0	66,0	66,0	0,0
09	77,0	77,0	77,0	77,0	77,0	77,0	77,0	0,0
10	88,0	88,0	88,0	88,0	88,0	88,0	88,0	0,0
11	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	0,0

Tabela 40 - Aferição de Pp, Escala 1: 0 a 100 kgf
"Trans Sens". Posição 7.710

		LEITURAS (VOLTS)						
N	CARGAS (KGF)	1	2	3	4	5	MÉDIAS	DESVIOS
01	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	0,0
02	110,0	110,0	110,0	110,0	110,0	110,0	110,0	0,0
03	165,0	165,0	165,0	165,0	165,0	165,0	165,0	0,0
04	220,0	220,0	220,0	220,0	220,0	220,0	220,0	0,0
05	275,0	275,0	275,0	275,0	275,0	275,0	275,0	0,0
06	330,0	330,0	330,0	330,0	330,0	330,0	330,0	0,0
07	440,0	440,0	440,0	440,0	440,0	440,0	440,0	0,0

Tabela 41 - Aferição de Pp, Escala 5: 0 a 500 kgf
"Trans Sens". Posição 7.710

Observou-se nas aferições das componentes da força de usinagem uma relação linear direta entre kgf e volts. Como o amplificador possui uma saída máxima de 10 volts, observou-se que:

Na escala 1, há uma relação onde, 100 kgf correspondem a 10 V.

A escala 2 possui uma relação, tal que, 200 kgf correspondem a 10 V.

Na escala 5, 500 kgf correspondem a 10 V.

Portanto ao aferir-se o sistema galvanômetros - filtros, deve-se ter em conta que a máxima tensão aplicada será 10 V.

Os valores obtidos nas aferições do sistema, galvanômetros - filtros deverão ser multiplicados por constantes, dependendo da escala usada no amplificador, como segue:

Escala 1 - Valor em volts x 10
 Escala 2 - Valor em volts x 20
 Escala 5 - Valor em volts x 50.

5.5 Aferição do sistema: Amplificador de Sinais-Filtros Galvanômetros do Oscilógrafo.

5.5.1 Aferição da Componente Pc

Filtro nº 1 -- Tabela 42

N	Volts aplicados	Leitura em mm
1	0	0
2	4,554	30
3	9,36	60

$$\text{Reta ajustada } P_c(\text{Volts}) = 0,16 (\text{mm}) - 0,04 \quad (5.1)$$

$$r^2 = 1,000$$

Filtro nº 2 - Tabela 43

N	Volts aplicados	Leitura em mm
1	5	34
2	5	34
3	10	68
4	10	68
5	5,9	40

$$\begin{aligned} \text{Reta ajustada } P_c(\text{Volts}) &= 0,15 (\text{mm}) - 0,05 & (5.2) \\ r^2 &= 1,0000 \end{aligned}$$

5.5.2 Aferição da componente Pa

Filtro nº 1 - Tabela 44

N	Volts aplicados	Leitura em mm
1	0	0
2	4,6485	30
3	9,180	60

$$\begin{aligned} \text{Reta ajustada } P_a(\text{Volts}) &= 0,15 (\text{mm}) + 0,02 & (5.3) \\ r^2 &= 1,000 \end{aligned}$$

Filtro nº 2 - Tabela 45

N	Volts aplicados	Leitura em mm
1	5	34,5
2	5	34,5
3	10	68,5
4	10	68,5
5	5,8	40,0

$$\begin{aligned} \text{Reta ajustada } P_a(\text{Volts}) &= 0,15 (\text{mm}) - 0,07 & (5.4) \\ r^2 &= 1,0000 \end{aligned}$$

5.5.3 Aferição da componente Pp

Filtro nº 1 - Tabela 46

N	Volts aplicados	Leitura em mm
1	0	0
2	4,590	30
3	8,991	60

$$\text{Reta ajustada } P_p(\text{Volts}) = 0,15 (\text{mm}) + 0,03 \quad (5.5)$$

$$r^2 = 1,000$$

Filtro nº 2 - Tabela 47

N	Volts aplicados	Leitura em mm
1	5	33
2	5	33
3	10	66
4	10	65
5	59	39

$$\text{Reta ajustada } P_p(\text{Volts}) = 0,16 (\text{mm}) - 0,09 \quad (5.6)$$

$$r^2 = 1,0000$$

5.5.4 Equipamentos usados na aferição

Fonte de tensão, padrão

Modêlo: 750-A

Precisão: 0,1%

Resolução: 100 mV

Fabricante: John Fluke, MFG. CO, Inc. - Japão.

Os filtros foram aferidos estaticamente, visto que nas medições o comportamento dinâmico dos sinais não seriam considerados. Todas as medições efetuadas, tomavam sinais estabilizados.

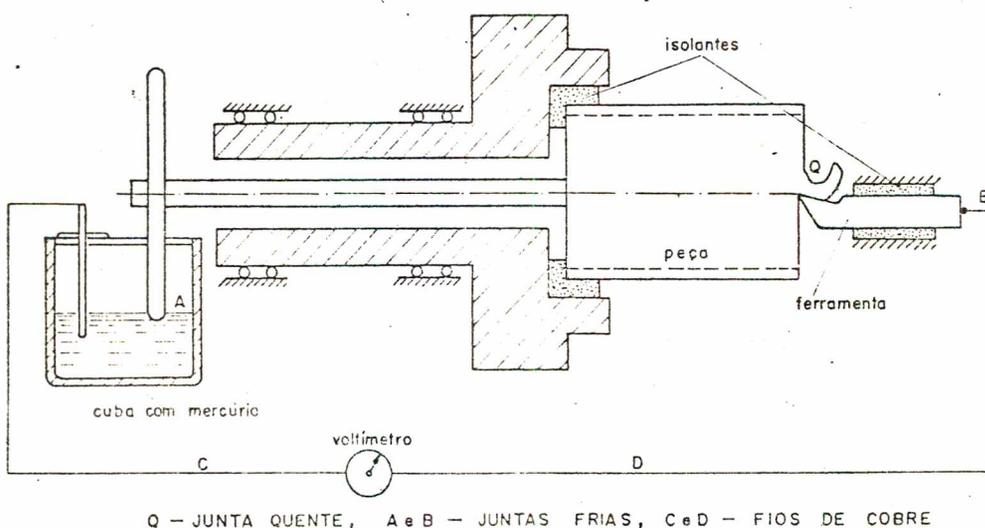
6. MEDIÇÃO DA TEMPERATURA DE CORTE

6.1 Considerações sobre o termopar Peça-Ferramenta

O primeiro pesquisador a utilizar este método foi Shore em 1924, de lá para cá o método foi aperfeiçoado sendo nos dias atuais o mais utilizado. Suas vantagens são inúmeras, entre elas a de apresentar melhor resultado comparado aos demais métodos. Outra vantagem é a rápida estabilização.

A figura 6.1 mostra um esquema da medição da temperatura de corte pelo método do termopar peça-ferramenta. Durante a usinagem, no contato peça-ferramenta surge uma força eletromotriz, a qual é proporcional à temperatura. Ocorre, então, uma analogia com o aquecimento da solda de dois metais diferentes (Efeito Seebeck).

A força eletromotriz (F_{em}) medida representa, na realidade uma temperatura média de corte, a qual é de maior interesse prático. Esta F_{em} depende apenas da diferença de temperatura entre as juntas quente e fria, desde que as juntas frias estejam a uma mesma temperatura.



Q - JUNTA QUENTE, A e B - JUNTAS FRIAS, C e D - FIOS DE COBRE

FIGURA 6. 1- ESQUEMA DA APARELHAGEM DE MEDIDA DA TEMPERATURA ATRAVÉS DO TERMOPAR PEÇA - FERRAMENTA. Ferraresi⁵

6.2 Descrição do sistema de medição

A figura 4.52 no capítulo 4, apresenta um esquema geral da montagem na máquina com o conjunto de medição. O sistema termopar peça-ferramenta foi constituído dos seguintes equipamentos:

- Termopar, contato peça-ferramenta ou junta quente.
- Juntas frias: - conexão da ferramenta ao fio de cobre, através do bastão de mesmo material da ferramenta.
 - conexão da peça ao fio de cobre através do bastão de mesmo material da peça, figura 6.2
- Escovas de Prata: para permitir a conexão da junta peça com a árvore do torno em movimento.
- Filtros: o sinal oriundo das duas juntas era filtrado antes de passar pelo galvanômetro.
- Multímetro: paralelamente ao registro efetuado o sinal podia ser lido diretamente no multímetro.
- Galvanômetro: instalado no oscilógrafo, permitia o registro com luz ultra-violeta em papel fotográfico. Este registro era simultâneo àqueles das forças de corte.

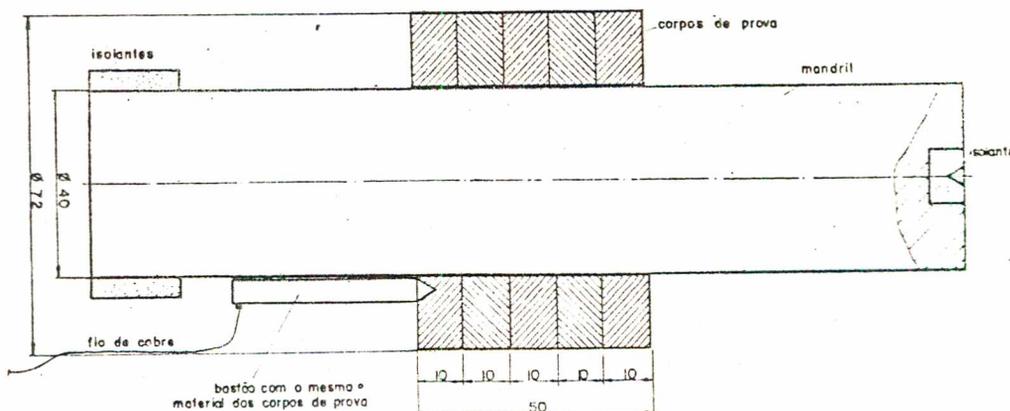


FIGURA 6 2-MONTAGEM DOS CORPOS DE PROVA NO MANDRIL SUPORTE

6.2.1 Características dos equipamentos

- Galvanômetros, figura 5.5

Tensão máxima: 1,95 mV

Frequência natural: 100 Hz

Sensibilidade: 0,0037 mA/cm

0,130 mV/cm

Máxima corrente de segurança: 10 mA, rms

Resistência de resposta: $35 \Omega \pm 10\%$

Tipo: SE/A 100

Fabricante: SE, Laboratories Engineering Ltd,
Inglaterra.

- Filtro

Tipo: RC passivo

Dimensionamento:

Galvo, Tensão máxima, $V = R.I = 35\Omega.10mA = 350mV$
Máxima tensão no registro $\approx 15 mV$.

Deflexão máxima no papel = 0,13 mV/cm.

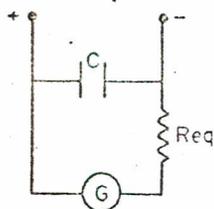
Largura disponível do papel = 15 cm.

Tensão correspondente, $V = 0,13 \times 15 = 1,95 mV$

Corrente correspondente, $I = V/R = 1,95/35 =$
 $= 0,056 mA$.

$R_{neces.} = \{(15) - (1,95)\}/(0,056) = 233 \Omega$

Com estes elementos determinou-se a resistência a ser usada, $R = 233 \Omega$. Usou-se o filtro cujo esquema aparece na figura 6.3.



$C = 1000 \mu F$
 $R_{eq} = 302 \Omega$

FIGURA 6.3-ESQUEMA DO FILTRO USADO NA MEDIÇÃO DA TEMPERATURA DE CORTE.

Os outros equipamentos já tiveram suas características citadas.

6.2.2 Adaptações feitas no suporte da ferramenta

A foto da figura 6.4 mostra o dispositivo da figura 4.55 com uma aleta de alumínio, a qual foi utilizada para evitar que o bastão de metal duro tivesse sua temperatura elevada.

A figura 6.5, mostra um detalhe da junção do bastão à pastilha, vendo-se também o isolante de cerâmica entre o bastão e o suporte.

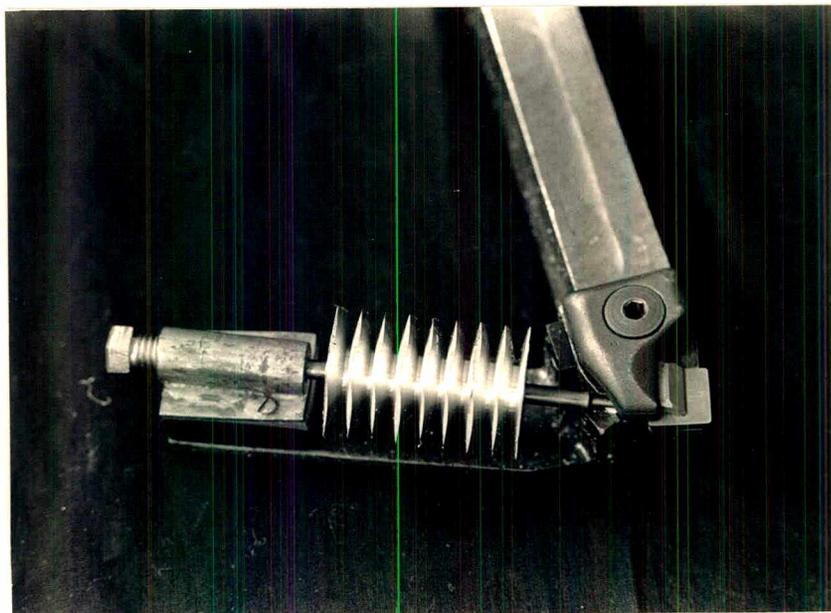


FIGURA 6.4 - Dispositivo de adaptação do suporte da ferramenta para a medição da temperatura de corte.

Além do dispositivo adaptado ao suporte o próprio porta ferramenta foi revestido com um verniz isolante e fixado à base da plataforma dinamométrica, entre camadas de isolantes.

por ocasião dos ensaios o isolamento foi testado, para garantir que toda F.e.m. gerada fosse levada aos condutores.

Quanto à peça, procedimento idêntico foi adotado com relação ao isolamento, estando o mandril suporte isolado da máquina em ambos os extremos, conforme figura 6.2.

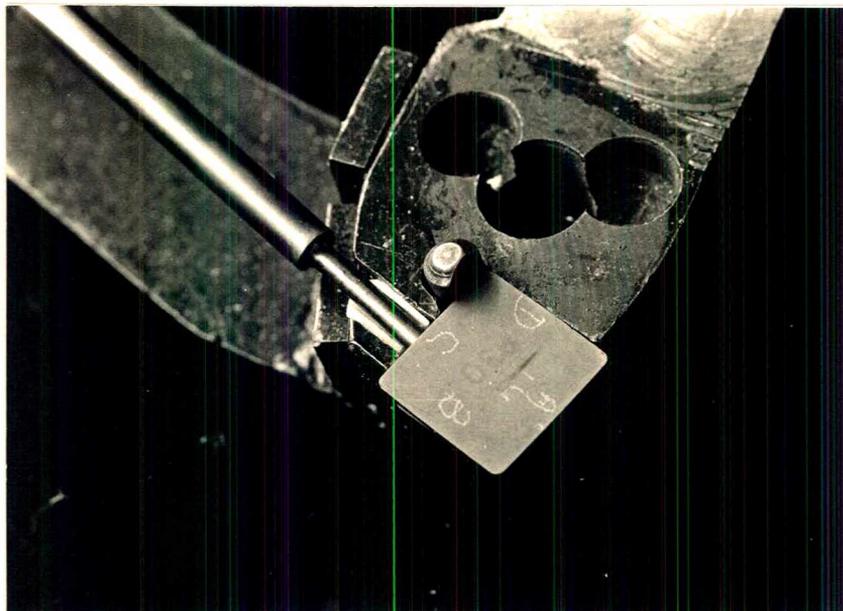


FIGURA 6.5 - Detalhe da junção do bastão à pastilha de metal duro.

6.3 Aferição do termopar peça-ferramenta

6.3.1 Considerações sobre o sistema de aferições

Um sistema de aferição adequado deve satisfazer vários requisitos, entre eles:

- O contato da junta peça-ferramenta deve ser perfeito para que ocorra uma simulação do contato durante a usinagem,
- no aquecimento da referida junta não deve ocorrer contato com qualquer material estranho pois isto

provocaria o aparecimento de novas juntas. A Fem medida seria falsa caso isto ocorresse,

- a medição da temperatura de referência no aquecimento deve ser precisa e localizada, de modo que indique com a maior precisão possível a temperatura real da junta,
- deve-se evitar oxidação da junta quente,
- as juntas frias devem estar a uma mesma temperatura.

6.3.2 Descrição do sistema de aferição

Projetou-se, em cooperação com Queiroz ¹⁴ um sistema que satisfizesse os requisitos citados no ítem 6.3.1.

A figura 6.6 mostra um esquema do sistema de aferição utilizado.

O aquecimento da junta peça-ferramenta foi realizado em um forno a resistência, construído especialmente para tal fim.

Para garantir iguais temperaturas nas juntas frias, estas foram colocadas em recipientes com gelo fundente e tiveram suas temperaturas controladas.

No interior do forno colocou-se uma atmosfera neutra a base de gás argônio, com o objetivo de evitar oxidação da junta quente.

Um circuito de refrigeração a base d'água foi usado para evitar excessivo aquecimento do cabo da ferramenta, e que houvesse transmissão de calor até a junta fria. A refrigeração da peça foi conseguida com o gás argônio pois este penetrava no forno através de um furo praticado na peça em toda sua extensão.

Tal sistema também foi usado por Queiroz ¹⁴.

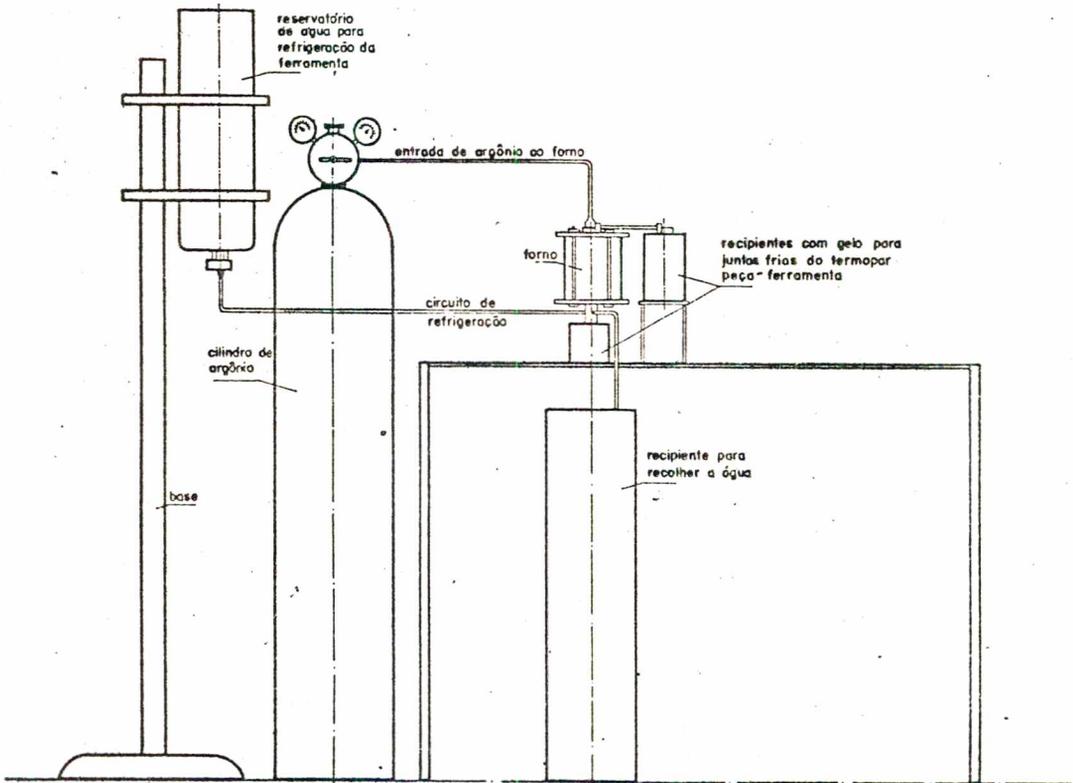


FIGURA 6. 6 :
ESQUEMA GERAL DA AFERIÇÃO DO TERMOPAR PEÇA-FERRAMENTA

6.3.3 Descrição do conjunto de medição usado na aferição

A figura 6.7 mostra o esquema do conjunto de medição usado na aferição.

O forno, que aparece em corte na figura, era constituído por uma resistência disposta em ranhuras helicoidais, feitas no furo de um cilindro de cerâmica. Este furo tinha um diâmetro suficiente para acomodar a peça em contato com a ferramenta.

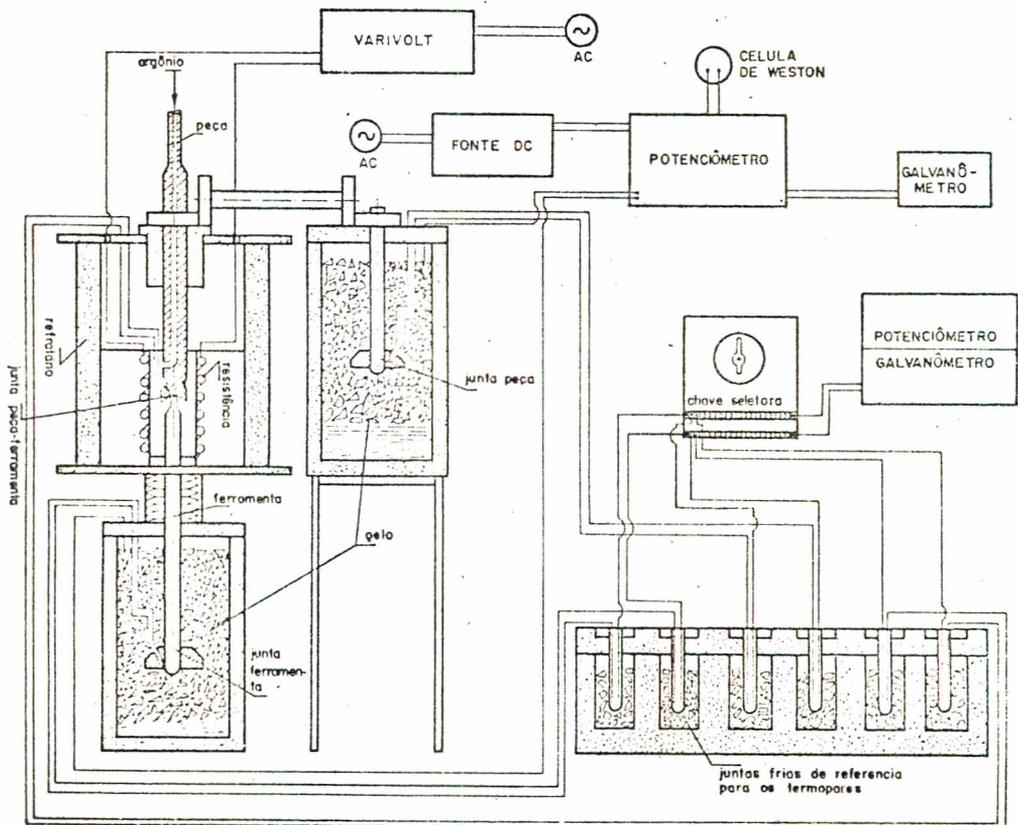


FIGURA 6-7-ESQUEMA DO CONJUNTO DE MEDIÇÃO USADO NA AFERIÇÃO DO TERMOVAR PEÇA FERRAMENTA

A peça foi simulada por um bastão de aço com as mesmas características do que seria usinado, para cada tipo de aço procedeu-se uma aferição. A ferramenta era simulada por um bastão de metal duro de mesmas características das pastilhas usa

das na usinagem.

Um cilindro de aço inoxidável envolto por um cilindro de material refratário, montado sob duas placas também refratárias, continha no seu interior um cilindro de cerâmica.

A resistência do forno era alimentada por uma tensão variável oriunda de um Varivolt. Variando-se a tensão era possível variar a temperatura.

Termopares de cromel-alumel devidamente aferidos foram utilizados para medir as temperaturas das juntas frias e quentes. A temperatura da junta quente serviu como referencia.

A leitura das Fem geradas pelos termopares de cromel-alumel era medida por potenciômetro/galvanômetro, ligado a uma chave seletora que permitia selecionar a leitura desejada.

A fim de obter-se simultaneidade de leitura entre a temperatura de referência e a Fem gerada pelo termopar peça-ferramenta, usou-se o conjunto mostrado na figura 6.7. Um potenciômetro de alta precisão recebia o sinal da Fem gerada pelo termopar peça-ferramenta e este era lido no galvanômetro ligado ao potenciômetro.

Este potenciômetro era alimentado por uma fonte de tensão DC e sua aferição foi feita com o auxílio de uma célula normal de Weston.

A figura 6.7 mostra também como foram dispostas as juntas frias de referência para os termopares de cromel-alumel. A figura 6.8 mostra uma foto do conjunto de medição usado na aferição, mostrando também uma vista geral do sistema. A figura 6.9 mostra uma foto do forno utilizado.

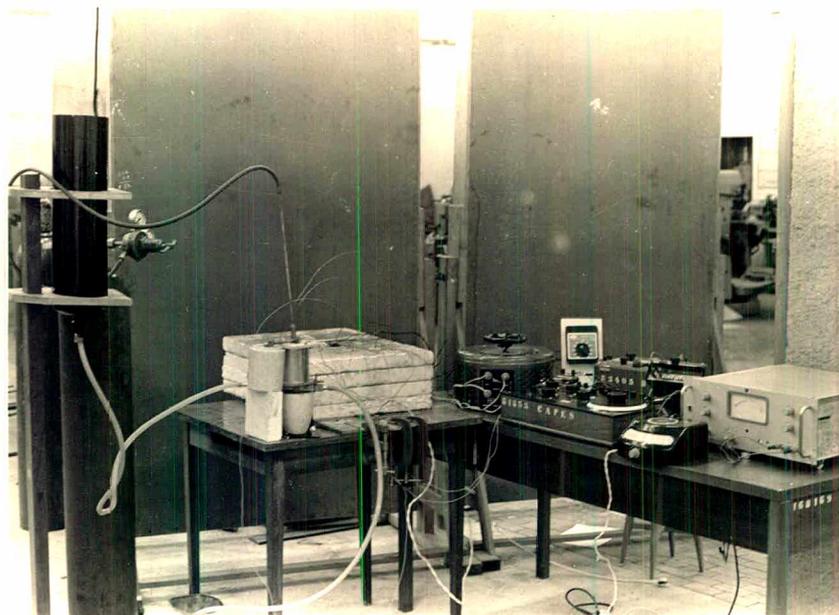


FIGURA 6.8 - Conjunto de equipamentos utilizados na aferição do termopar peça-ferramenta.

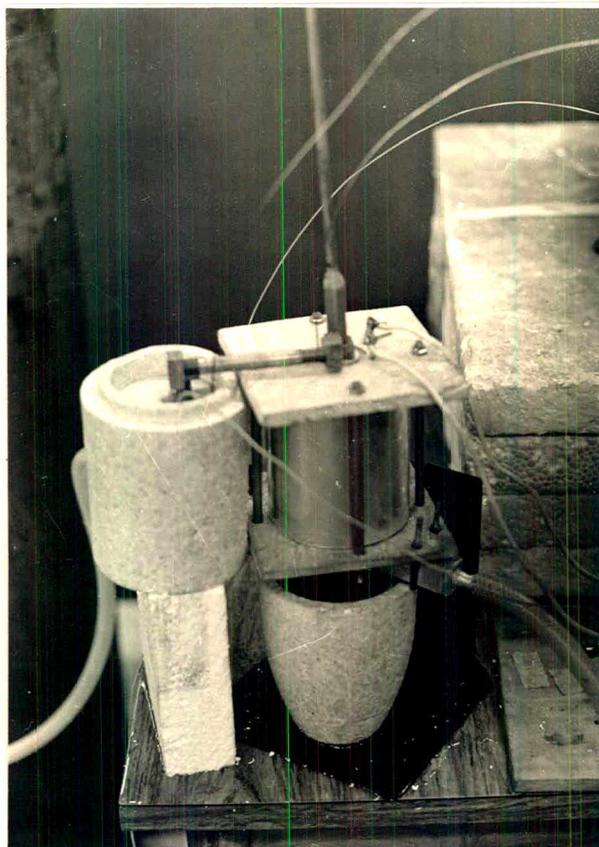


FIGURA 6.9 - Detalhe do forno e recipientes com gelo, usado nas juntas quente e frias do termo par peça-ferramenta, durante a aferição.

6.3.4 Características dos equipamentos utilizados

- Transformador de Tensão "VARIVOLT"

Modelo: VM 230

Corrente máxima: 12,5 A

Tensão de saída: 0 a 240 V

Tensão de alimentação: 220 V, 50 ou 60 Hz

Potência máxima: 3 KVA

Fabricação: Soc. Téc. Paulista - São Paulo

- Chave seletora "ENGRO"

Nº de canais: 12

Fabricação: Instrumentos Elétricos Engro S/A -
São Paulo.

- Fonte de tensão DC

Modelo: PE 4217

Tensão: 0 a 35 V

Corrente: 0 a 10 A

Alimentação: 220 ou 110 V, 50 ou 60 Hz

Fabricação: Philips - Holanda

- Potenciômetro/Galvanômetro LEED

Resolução: 0,1 mV

Faixa de medição: 0,01 mV a 2 V

Fabricante: Leed e Nortrup - USA

- Potenciômetro CAMBRIDGE

Modelo: Cambridge Slide Wire Potenciometer

Alimentação: 2V/DC

Fabricante: Cambridge Instruments CO, LTD - Inglaterra.

- Galvanômetro CAMBRIDGE

Modelo: Spot Galvanometer

Impedância: 50 Ω

Alimentação: 200 ou 250 V, 50 ou 60 Hz

Fabricante: Cambridge Instruments CO, LTD - Inglaterra.

- Célula normal de WESTON

Modelo: L 399292

Característica: Fonte padrão de tensão, com correção de temperatura de referência.

Fabricante: Cambridge Instruments CO, LTD - Inglaterra.

6.3.5 Resultados da aferição

Para os aços 1 e 2, foram feitas duas aferições distintas, onde se variou o tipo do contato entre a peça e a ferramenta. Para o aço 3, procedeu-se apenas uma aferição, com o contato tipo (a).

Os diferentes tipos de contato entre peça e ferramenta são mostrados na figura 6.10.

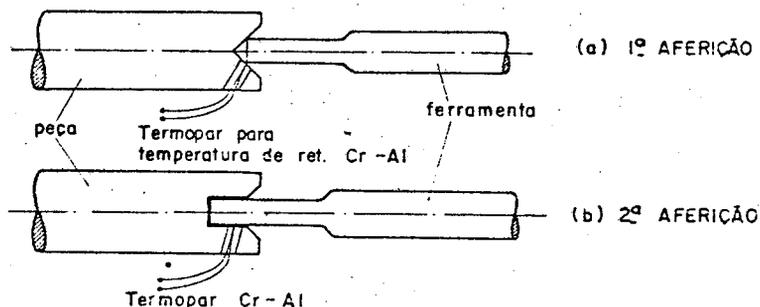


FIGURA 6.10 - DIFERENTES TIPOS DE CONTATO USADOS NA AFERIÇÃO DO T.P.F., PARA OS AÇOS 1 e 2.

Os resultados das aferições do termopar peça-ferramenta (T.P.F.) para o aço 1, são apresentados nas tabelas 48 e 49 e em forma de gráfico na figura 6.11.

1º AFERIÇÃO		
N	Fem (mV)	TEMP. (°C)
01	0,37	19
02	0,42	40
03	0,50	48
04	0,56	60
05	0,72	78
06	0,90	103
07	1,48	190
08	1,91	242
09	2,17	276
10	2,48	312
11	3,16	380
12	3,80	448
13	4,01	479
14	4,60	559
15	5,61	666
16	5,88	694
17	6,94	846
18	7,14	876
19	7,28	885
20	7,41	892
21	7,51	1039
22	9,07	1056
23	10,00	1061
24	10,19	1065
25	10,28	1073

Tabela 48 - Aferição do T.P.F.
Aço 1 - 1º aferição.

Tabela 49 - Aferição do T.P.F.
Aço 1 - 2º aferição.

2º AFERIÇÃO		
N	Fem (mV)	TEMP. (°C)
01	0,58	46
02	0,68	52
03	0,85	66
04	0,90	68
05	0,99	76
06	1,10	78
07	1,75	136
08	2,02	156
09	2,12	167
10	2,20	173
11	2,26	180
12	2,54	256
13	3,38	273
14	3,58	296
15	3,80	313
16	4,76	425
17	5,08	462
18	5,30	490
19	5,50	523
20	5,64	536
21	6,08	593
22	6,22	603
23	6,28	614
24	6,62	650
25	6,75	660
26	6,85	668
27	7,06	680
28	8,35	795
29	8,46	804
30	8,98	849
31	9,12	858
32	9,24	885

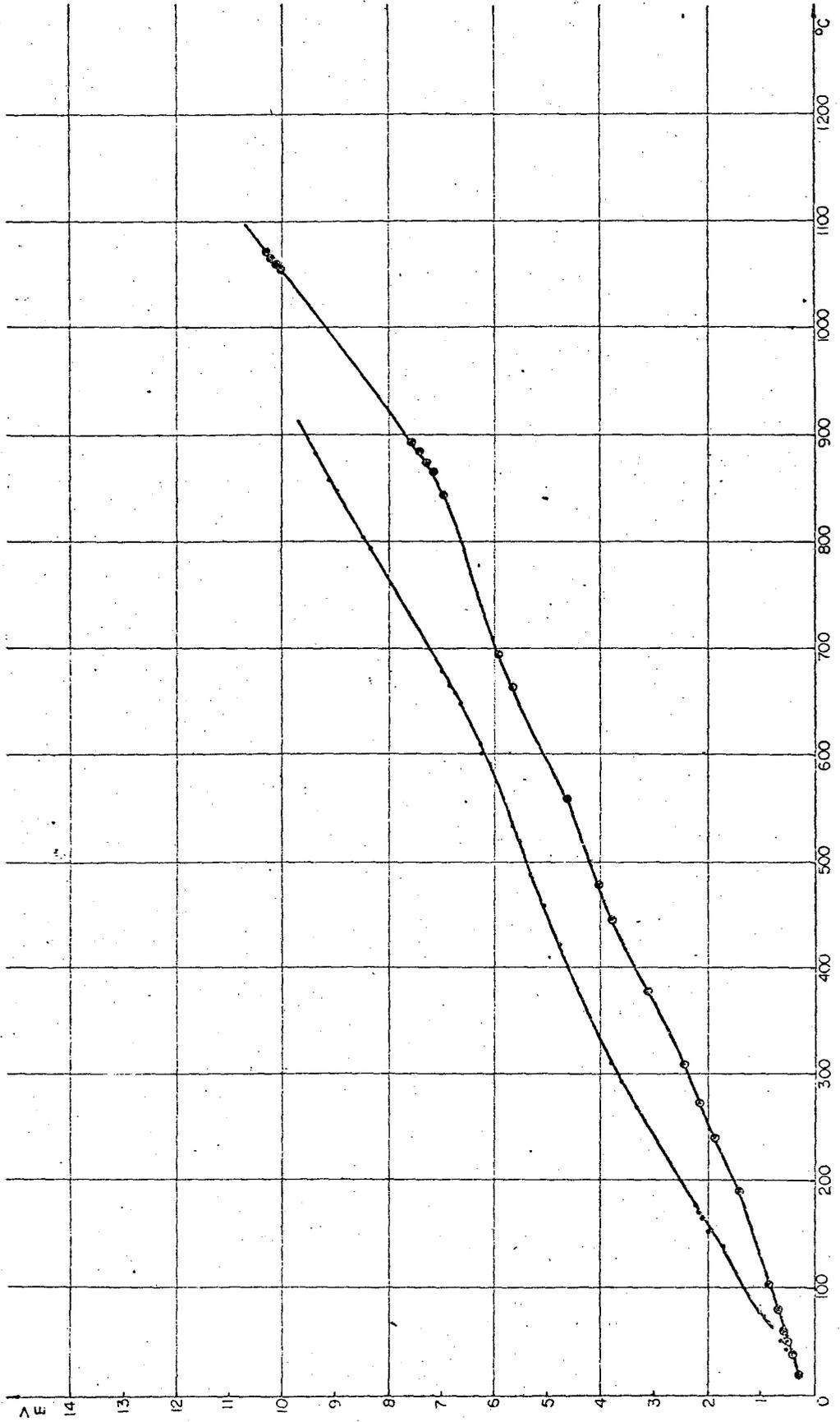


FIGURA 6.11 - AFERIÇÃO DO TERMOPAR PEÇA -- FERRAMENTA PARA AÇO I

As tabelas 50 e 51 e o gráfico da figura 6.12 apresentam os resultados da aferição para o aço 2.

1º AFERIÇÃO		
N	Fem (mV)	TEMP. (°C)
01	0,22	16,0
02	0,26	20,0
03	0,30	29,0
04	0,35	36,5
05	0,51	52,0
06	0,62	78,5
07	0,75	102,5
08	0,86	122,5
09	1,06	163,0
10	1,56	243,5
11	1,91	300,0
12	3,37	520,0
13	3,56	540,0
14	3,74	561,0
15	4,13	632,0
16	4,21	642,0
17	4,33	660,0
18	4,46	678,0
19	4,70	728,0
20	4,87	761,0
21	5,00	778,0
22	5,10	788,0
23	5,19	795,0
24	6,10	828,0
25	6,57	843,0
26	6,69	860,0
27	6,82	872,0
28	7,11	886,0
29	7,16	890,0

Tabela 50 - Aferição do T.P.F.
aço 2 - 1º aferição

2º AFERIÇÃO		
N	Fem (mV)	TEMP. (°C)
01	0,13	18,0
02	0,26	34,0
03	0,34	43,0
04	0,43	51,5
05	0,53	70,0
06	0,58	75,0
07	0,68	84,0
08	0,91	108,0
09	1,01	115,0
10	1,08	121,0
11	1,13	125,0
12	1,35	145,0
13	1,38	146,0
14	1,77	203,0
15	1,94	216,0
16	2,17	238,0
17	2,45	268,0
18	3,25	346,0
19	3,40	367,0
20	3,50	381,0
21	3,60	391,0
22	3,63	399,0
23	3,67	407,0
24	3,73	415,0
25	3,76	423,0
26	4,29	527,0
27	4,47	559,0
28	4,68	600,0
29	4,80	614,0
30	5,02	637,0
31	5,17	649,0
32	5,36	663,0
33	5,50	683,0

N	Fem (mV)	TEMP. (°C)
34	5,90	726,0
35	5,97	734,0
36	6,11	746,0
37	6,20	757,0
38	6,50	796,0
39	6,62	816,0
40	6,70	820,0
41	6,82	834,0
42	7,12	861,0
43	7,23	871,0
44	7,37	881,0
45	7,45	882,0

Tabela 51 - Aferição do T.P.F.
Aço 2 - 2º aferição.

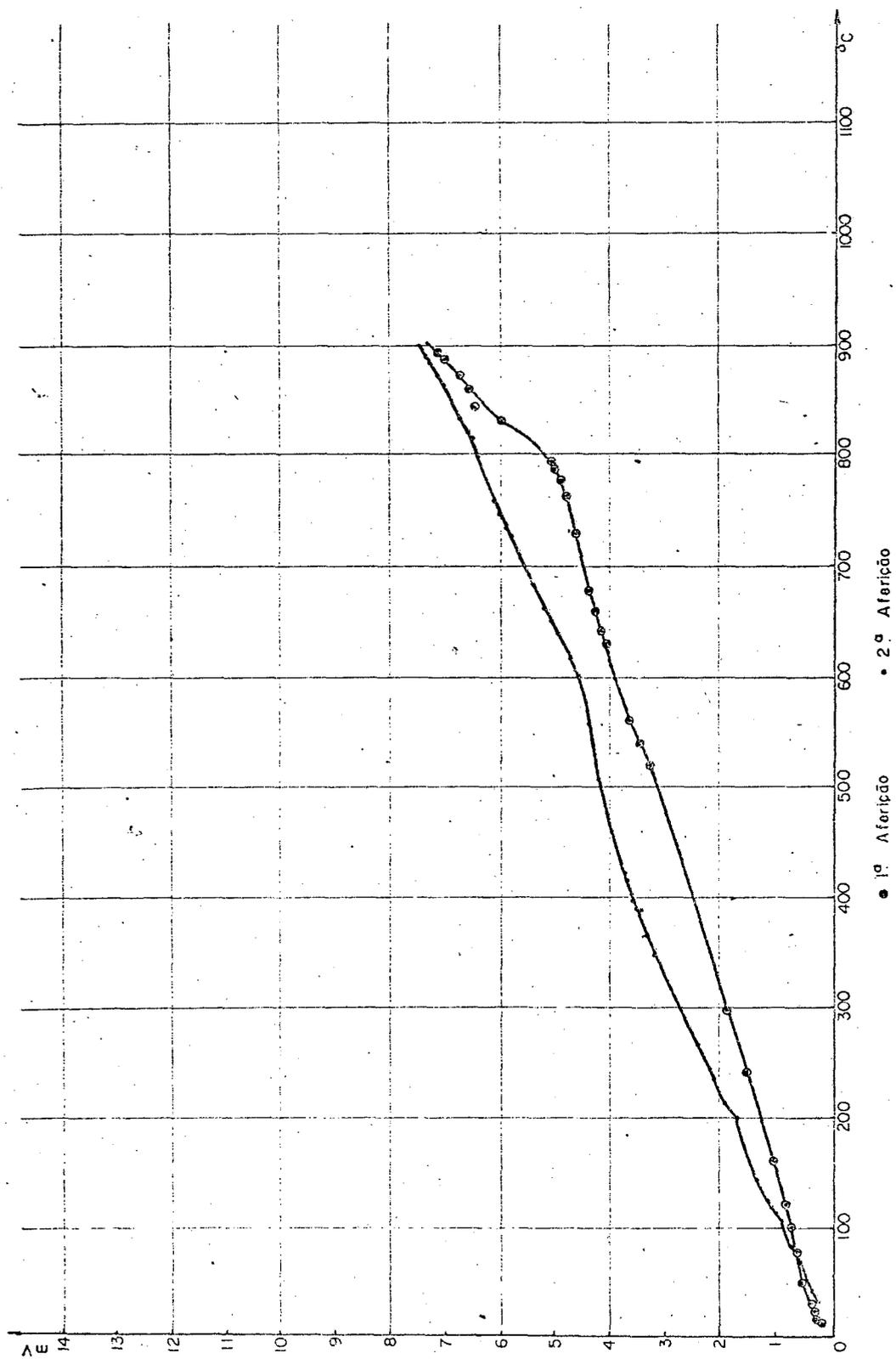


FIGURA 6.12 - AFERIÇÃO DO TERMOPAR PEÇA-FERRAMENTA PARA O AÇO 2.

A tabela 52 e o gráfico da figura 6.13 apresentam os resultados da aferição para o aço 3.

N	Fem (mV)	TEMP. (°C)
01	0,25	16,5
02	0,30	27,5
03	0,38	43,0
04	0,42	54,0
05	0,47	61,0
06	0,51	68,0
07	0,60	87,0
08	0,67	102,0
09	0,77	125,0
10	0,87	146,0
11	0,93	161,0
12	1,68	293,0
13	1,78	308,0
14	1,98	336,0
15	2,34	385,0
16	2,72	442,0
17	2,85	458,0
18	3,37	528,0
19	3,61	560,0
20	3,80	586,0
21	4,04	613,0
22	4,32	645,0
23	4,48	662,0
24	4,65	684,0
25	4,82	707,0
26	5,06	736,0
27	5,15	745,0
28	5,23	757,0
29	5,58	798,0
30	5,63	802,0
31	5,80	822,0

N	Fem (mV)	TEMP. (°C)
32	5,88	830,0
33	5,98	842,0
34	6,06	850,0

Tabela 52 - Aferição do T.P.F.
Aço 3.

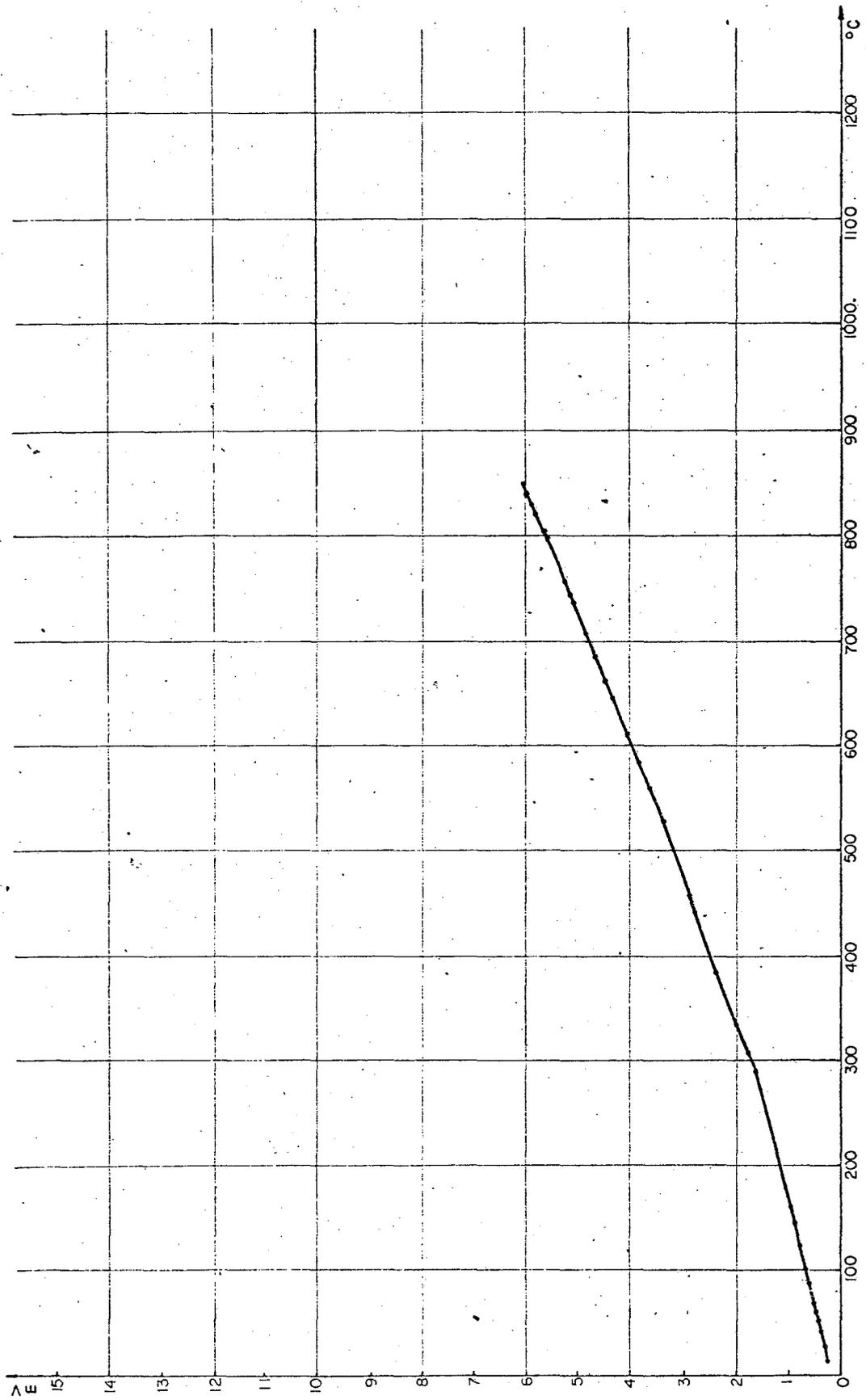


FIGURA 6.13 - AFERIÇÃO DO TERMOPAR PEÇA - FERRAMENTA PARA O AÇO 3.

6.3.6 Comentários sobre os resultados das aferições

Os resultados obtidos mostraram-se errôneos em vista dos valores medidos nos ensaios de usinagem. Baseando-se nestas aferições, chegou-se a valores de temperatura de corte absurdos para as condições de corte adotadas.

Concluiu-se que os valores das Fem medidos eram baixos com relação a temperatura de referencia. Tal discrepância foi atribuída a vários fatores. Dentre estes fatores o que mais influiu era a pressão de contato na junta peça-ferramenta. Com a variação da pressão de contato, variava o valor da Fem gerada para uma mesma temperatura de referencia.

Procurando-se verificar a influência de outros fatores, procedeu-se variações no tipo de contato conforme a figura 6.10. Conforme mostram os gráficos das figuras 6.11 e 6.12, vê-se que, para um contato com maior superfície de aderência entre peça e ferramenta, ocorre um sensível aumento na Fem gerada.

Outros pesquisadores mostraram que a aferição do termopar peça-ferramenta apresenta sérias dificuldades. Estas são devidas aos vários fatores que modificam o valor da Fem gerada para uma mesma temperatura de referência.

Alvelid¹⁵ em suas aferições, usou um sistema com aquecimento por indução e verificou a influencia dos seguintes fatores na Fem gerada: ciclo de aquecimento e resfriamento, velocidade de aquecimento. Este pesquisador atribuiu os diferentes resultados obtidos ao fato de que durante o aquecimento, o aço sofre mudanças em sua microestrutura.

Com relação às afirmações de Alvelid, que desenvolve inclusive um modelo para comprovar sua teoria, não há motivo para criticá-las. No aquecimento da junta peça-ferramenta as altas temperaturas geradas causam transformações microestruturais no aço.

Os resultados encontrados por Alvelid são mostrados no apêndice I.

Braiden ¹⁶ verificou a influência de outros fatores na aferição do T.P.F., entre eles:

- Tipo de aquecimento – com forno elétrico e por indução.
- Dimensões da ferramenta de metal duro.
- Tempo de sinterização do metal duro.
- Ordem das fornadas na sinterização.

A Fem gerada variava com todos estes fatores.

Trigger ¹⁷ verificou também a "Influência da ordem das fornadas na sinterização" na Fem gerada.

Os resultados encontrados por Braiden são mostrados no apêndice I.

A figura 6.14 mostra uma curva típica de aferição de um T.P.F. com características semelhantes ao aço 2, visto que as pastilhas usadas são idênticas. Todavia o aquecimento na aferição feita neste trabalho foi em forno elétrico, enquanto que no outro foi por indução.

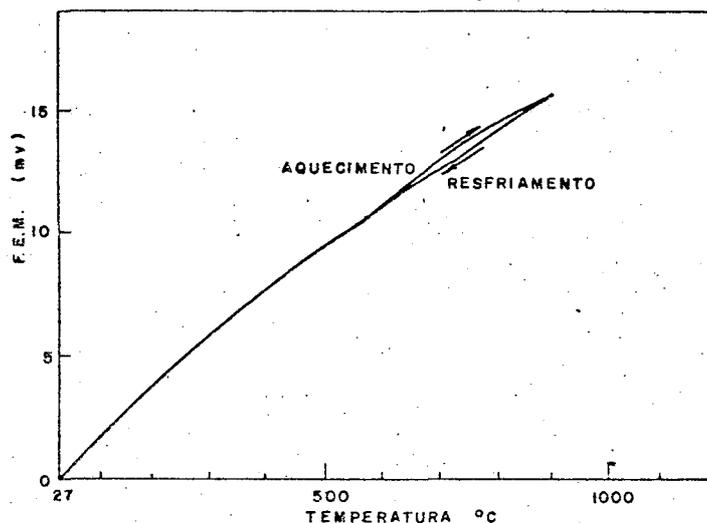


FIGURA 6.14 CURVA TÍPICA DA AFERIÇÃO DO T.P.F.
 Peça - Aço SAE 1045 — Pastilha ISO P30
 Aquecimento por indução. Alvelid ¹⁵

Apesar da diferença existente no tipo de aquecimento, vê-se que os valores da Fem do gráfico 6.12, estão bastante abaixo daqueles encontrados por Alvelid.

Para contestar os resultados obtidos para o Aço 1 usou-se os resultados obtidos por Shaw¹⁸, figura 6.15. Apesar de diferenças quanto ao tipo de aquecimento e quanto à pastilha, nota-se que os valores da Fem obtidas neste trabalho estão abaixo da realidade.

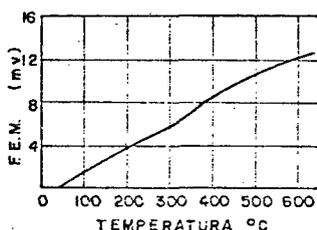


FIGURA 6.15 CURVA TÍPICA DA
AFERIÇÃO DO T.P.F.
Peça - Aço de corte fácil 0,11% C
Pastilha - K2S — Shaw¹⁸ 0,32% S

Os fatores mencionados causaram a não utilização das aferições obtidas, para levantar as temperaturas de corte em valores absolutos. Decidiu-se então tomar os resultados da temperatura de corte em valores relativos, ou seja, a Fem em (mV).

Tal decisão não prejudicou em nada o trabalho visto que, um dos objetivos foi verificar a influência da variação da microestrutura na temperatura de corte. Esta influência pode ser analisada em termos de temperaturas relativas sem prejuízo algum.

Quanto às dificuldades encontradas na aferição, poder-se-ia citar ainda outros pesquisadores que desenvolveram trabalhos relativos aos problemas surgidos com a aferição do T.P.F.

Deste modo, prosseguir verificando outras influências da aferição seria fugir ao objetivo específico deste trabalho, já que, com as referências bibliográficas existentes nesta área poder-se-ia fazer um novo trabalho.

6.3.7 Aferição do sistema Filtro-Galvanômetro

Com o auxílio de uma Fonte de Tensão padrão, aplicou-se diversos valores de tensão e mediu-se a ordenada da curva apresentada no registrador. Com isto obteve-se os dados apresentados na tabela 53.

Ajustando-se uma reta aos dados obtidos, obteve-se a expressão que segue:

$$\text{mV} = 0,1345 (\text{mm}) - 0,1245 \quad (6.1)$$

N	MILIVOLTS APLICADOS	LEITURA EM (mm)
01	0,0000	0,0
02	1,3312	10,0
03	2,6234	20,0
04	3,5996	30,0
05	5,1615	40,0
06	6,6257	50,0
07	7,8605	60,0
08	9,2786	70,0
09	10,7032	80,0
10	12,1097	90,0
11	13,3053	100,0

Tabela 53 - Aferição do sistema Filtro-Galvanômetro.

7. TRATAMENTO E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

7.1 Tratamento dos resultados

7.1.1 Leitura dos registros do oscilógrafo

A figura 7.1 apresenta um registro do oscilógrafo, mostrando como foram obtidos os resultados das forças e temperatura de corte. As quatro curvas que aparecem registradas representam: P_c , θ , P_a e P_p respectivamente.

Conforme se observa nos registros as curvas apresentam um comportamento irregular com harmônicos. Isto é comum nas forças de corte devido ao mecanismo de formação do cavaco.

Computou-se apenas os valores médios das forças e temperatura para cada anel.

Omitiu-se de um estudo do comportamento das curvas pois não era objetivo do trabalho verificações quanto ao comportamento dinâmico das forças de corte. A transição de um anel a outro ficou perfeitamente clara. Nota-se na figura a queda dos sinais, no instante em que ocorreu a passagem da ferramenta para um novo anel.

Para a leitura dos sinais registrados testou-se dois métodos. No primeiro tomaram-se vinte pontos de cada curva e, em cada anel, estes pontos igualmente espaçados de 3,0 mm. Em seguida mediu-se as ordenadas dos diversos pontos e calculou-se o valor médio.

O segundo método é mostrado na figura 7.2 e consistiu em traçar duas retas paralelas, uma passando pela maioria dos máximos e a outra nos mínimos. Mediu-se as ordenadas das duas retas e calculou-se o valor médio.

Comparou-se os dois métodos e concluiu-se que:

- O primeiro era mais preciso, todavia consumia um

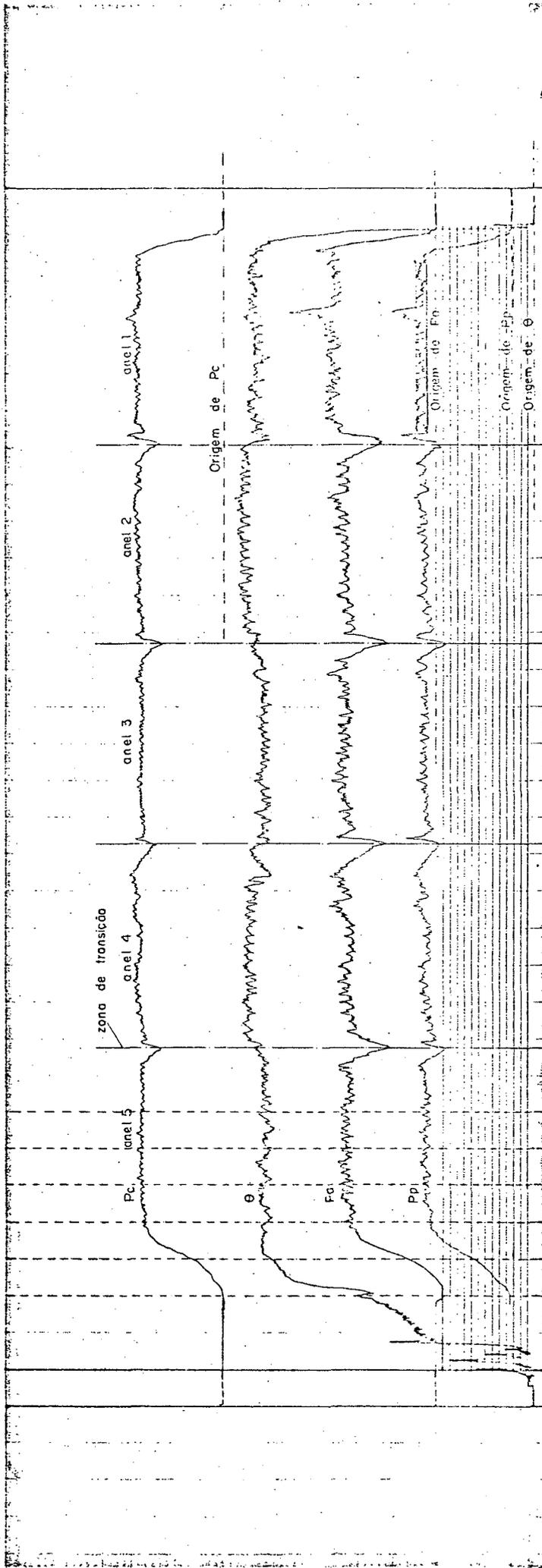


FIGURA 7.1 - Registro do oscilógrafo.

longo tempo.

- O segundo era menos preciso, porém menos demorado.
- Os valores obtidos pelos dois métodos apresentaram diferenças desprezáveis.

Deste modo adotou-se o segundo método devido a vantagem que apresentava.

7.1.1.1 Detalhes do método de leitura dos registros

A figura 7.2 mostra um trecho do gráfico obtido do oscilógrafo. Vê-se as origens de cada curva e as ordenadas das retas que passam pelos máximos e mínimos de cada curva.

Deste modo tem-se para cada parâmetro medido:

L_1 = ordenada da reta que passa pelos máximos de P_c (mm).

L_2 = ordenada da reta que passa pelos mínimos de P_c (mm).

L = ordenada média de P_c .

onde:

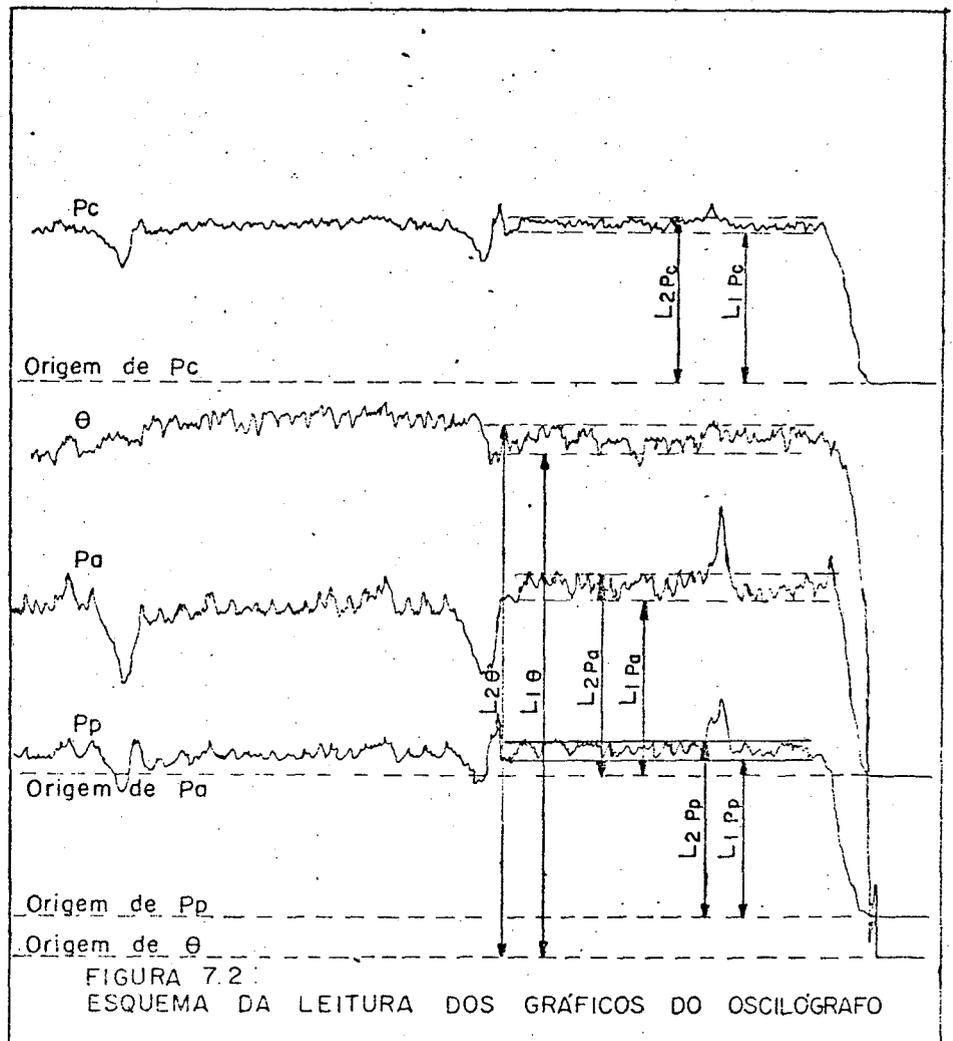
$$L = \frac{L_1 + L_2}{2} \quad (\text{mm}) \quad (7.1)$$

Procedeu-se de modo análogo para θ , P_a e P_p e obtiveram-se as ordenadas médias em mm.

7.1.1.2 Conversão das ordenadas para as unidades requeridas

7.1.1.2.1 P_c :

Como o dinamômetro teve uma aferição linear, considerando que o amplificador de sinais tem uma saída máxima igual



a 10 V, e que a correlação entre volts e ordenada em mm era dada pela aferição do ítem 5.5.1, concluiu-se que o máximo valor da força P_c corresponderia a 10 V e portanto era necessária levar em conta o fator de multiplicação (10) para as expressões 5.1 e 5.2.

Com isto obtiveram-se as expressões que seguem:

$$\text{Filtro 1: } P_c \text{ (kgf)} = 1,6 \text{ (mm)} - 0,4 \quad (7.2)$$

$$\text{Filtro 2: } P_c \text{ (kgf)} = 1,5 \text{ (mm)} - 0,5 \quad (7.3)$$

7.1.1.2.2 P_a :

De modo análogo foram obtidas as expressões para conversão de P_a como segue:

$$\text{Filtro 1: } P_a \text{ (kgf)} = 1,5 \text{ (mm)} + 0,2 \quad (7.4)$$

$$\text{Filtro 2: } P_a \text{ (kgf)} = 1,5 \text{ (mm)} - 0,7 \quad (7.5)$$

7.1.1.2.3 P_p :

Como segue:

$$\text{Filtro 1: } P_p \text{ (kgf)} = 1,5 \text{ (mm)} + 0,3 \quad (7.6)$$

$$\text{Filtro 2: } P_p \text{ (kgf)} = 1,6 \text{ (mm)} - 0,9 \quad (7.7)$$

7.1.1.2.4 θ :

$$\text{mV} = 0,1345 \text{ (mm)} - 0,1245 \quad (7.8)$$

7.1.1.3 Precisão do método de leitura

Resolução da régua utilizada para a leitura das ordenadas: $\pm 0,50$ mm.

Levando-se em conta as expressões (7.2) a (7.7),

chegou-se aos seguintes valores de Resoluções :

$$P_c = \pm 1,3 \text{ kgf}$$

$$P_a = \pm 1,0 \text{ kgf}$$

$$P_p = \pm 1,5 \text{ kgf}$$

$$\theta = \pm 0,20 \text{ mV}$$

Naturalmente que o erro percentual vai depender do valor lido.

7.1. Tratamento estatístico dos resultados

Através das Planilhas dos resultados, apresentadas nas tabelas 54 a 148 do apêndice III, calculou-se:

- Média (\bar{x})
- Desvio padrão (S)
- Coeficiente de dispersão (X)
- Amplitude do Intervalo de Confiança da média (K)
- Amplitude do Intervalo de Confiança da média em % da média (K%)
- Tamanho da Amostra

7.1.2.1 Valor médio (\bar{x})

$$\bar{x} = \frac{1}{n - 1} \sum_{i=1}^n x_i \quad (7.9)$$

7.1.2.2 Desvio padrão (S)

$$S = \frac{1}{n - 1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (7.10)$$

7.1.2.3 Coeficiente de dispersão (X)

$$X = \left(\frac{S}{\bar{x}}\right) \cdot (100\%) \quad (7.11)$$

7.1.2.4 Amplitude do Intervalo de Confiança da média (K)

$$K = \frac{(S)(t)}{\sqrt{n - 1}} \quad (7.12)$$

onde,

t = valor da ordenada da curva da Distribuição de Student, para um nível de confiança $\gamma = 95\%$.

7.1.2.5 Amplitude do Intervalo de Confiança da média em % da média (K%)

$$K\% = \left(\frac{K}{\bar{x}}\right) \cdot (100\%) \quad (7.13)$$

7.1.2.6 Tamanho da Amostra

Como as amostras colhidas para cada parâmetro medido foram ≤ 18 , a teoria empregada para determinação do tamanho de amostra ideal é a Teoria das pequenas Amostras. Assim sendo, a determinação só é possível aplicando-se um teste t de Student.

Admitiu-se um intervalo de confiança com amplitude correspondente a $\pm 5\%$ do valor da média, de uma dada amostra, e um nível de confiança de 95% .

Esta determinação foi feita segundo a expressão que segue:

$$n - 1 = \left(\frac{S \cdot t}{K}\right)^2 \quad (7.14)$$

onde:

$n = n^\circ$ de elementos da amostra.

$S =$ desvio padrão da amostra.

$K =$ amplitude do intervalo de confiança.

$t =$ ordenada da distribuição de Student, para um nível de confiança de 95%.

Como o valor de t depende de n a determinação só seria possível através de um método iterativo. Contudo conseguiu-se contornar o problema ajustando-se uma curva aos valores obtidos da tabela da distribuição de Student, para o caso em questão.

Para tal procedeu-se alterações na expressão (7.14) e procedeu-se como segue:

$$n - 1 = \left(\frac{S \cdot t}{K} \right)^2 \quad (7.14)$$

Tomou-se $N = n - 1$ e resultou:

$$N = \left(\frac{S \cdot t}{K} \right)^2 \quad (7.15)$$

ou,

$$\frac{N}{t^2} = \left(\frac{S}{K} \right)^2 \quad (7.16)$$

A tabela da Distribuição de Student, Bowker e Lieberman ¹⁹ página 433, fornece o valor de t para cada valor de N . Tomou-se o valor de $\left[\frac{N}{t^2} \right]$ para cada N construindo-se assim uma nova tabela.

Procedeu-se então a ajustagem de uma curva potencial e encontrou-se a expressão seguinte:

$$N = (5,51) \left(\frac{N}{t^2} \right)^{0,65} \quad (7.17)$$

com um coeficiente de determinação, $r^2 = 1,0$.

O tamanho da Amostra resultou:

$$n = N + 1 \quad (7.18)$$

Para efetuar todos estes cálculos elaborou-se um programa de computação para a calculadora HP-25. Tal programa é descrito no apêndice II.

7.1.2.7 Considerações sobre o tratamento estatístico

Em determinadas amostras foram desconsiderados os valores máximos e mínimos para fins de cálculos, com isto, o valor médio pouco ou quase nada se altera, todavia o desvio padrão altera-se e com isto a distribuição dos elementos da amostra aproximam-se da normal.

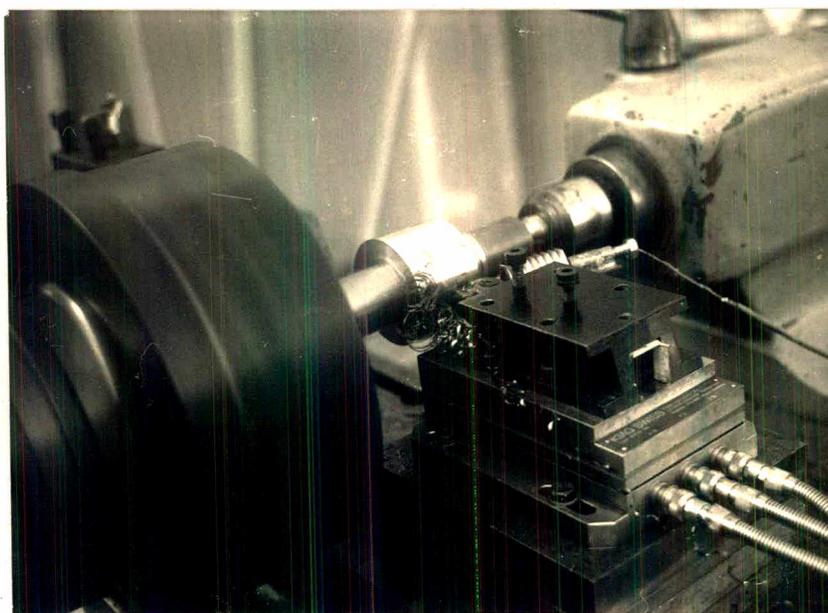


FIGURA 7.3 - Detalhe do tipo de cavaco obtido nos ensaios com baixo avanço para o aço 2

Em outras amostras ocorreram problemas não previstos, entre eles: em alguns testes com o aço 2, para o baixo valor do avanço o cavaco, em fita produzido tendeu a enrolar-se provocando fugas da F_{em} através do Barramento do torno. Devido a isto foi necessário mudar o valor do avanço. Para fins de comparação dos resultados, desconsiderou-se os resultados com avanços diferentes do adotado na programação.

A figura 7.3 mostra o tipo de cavaco que gerou o problema citado.

7.2 Apresentação dos resultados

Os quadros 1 a 3 e as figuras 7.4 e 7.6 apresentam os resultados dos ensaios realizados.

Vê-se os valores médios das forças e temperatura de corte. As tabelas 54 a 148, constantes do apêndice III mostram detalhadamente os resultados.

Como se observa, os resultados dos testes para o Aço 3 não apresentam a microestrutura 3. Justifica-se o fato porque não foi possível usinar tal microestrutura, tendo ocorrido quebras das ferramentas na maioria das tentativas.

Os quadros 04 a 19 apresentam os resultados dos tamanhos de amostras, comparativamente são apresentados os valores tomados e os calculados. A outra coluna mostra a amplitude do Intervalo de Confiança da média calculado.

O quadro 20 apresenta em resumo os coeficientes de dispersão dos parâmetros medidos.

QUADRO 01 - RESULTADOS DOS TESTES PARA O AÇO 1														
CORTE Nº	CONDIÇÕES		MIC 1 - SL				MIC 2 - R				MIC 3 - N			
	Vc (m/min)	a (mm/rev)	Pc (kgf)	Pp (kgf)	Pa (kgf)	θ (mV)	Pc	Pp	Pa	θ	Pc	Pp	Pa	θ
01	60	0,10	45,0	23,8	30,2	9,47	44,8	23,7	29,6	9,00	46,0	23,7	29,2	9,41
02	60	0,20	65,9	33,7	39,9	9,77	66,6	34,2	41,3	9,31	68,6	35,1	41,5	9,74
03	60	0,28	77,3	40,7	43,1	9,92	80,4	42,7	46,6	9,50	82,9	43,3	46,1	10,03
04	75	0,10	39,8	20,2	26,7	10,04	39,7	20,1	26,3	9,70	40,9	20,8	26,6	10,20
05	75	0,20	60,1	30,4	36,1	10,17	61,6	31,9	38,4	9,76	64,8	32,1	38,9	10,32
06	75	0,28	71,3	36,8	39,0	10,37	74,1	37,6	41,1	9,96	76,4	38,8	41,4	10,49
07	90	0,10	38,8	19,6	25,9	10,10	39,1	20,8	26,5	9,90	39,3	19,8	26,0	9,93
08	90	0,20	54,6	27,5	33,0	10,27	55,8	28,6	34,8	10,13	58,7	28,6	33,8	10,26
09	90	0,28	66,6	35,0	35,7	10,39	70,4	37,1	39,7	10,20	70,8	35,5	36,7	10,16
10	105	0,10	35,7	16,9	22,7	10,58	36,4	18,9	24,7	10,38	35,9	17,0	22,5	10,59
11	105	0,20	54,3	26,3	31,9	10,68	55,8	28,2	34,3	10,39	56,3	26,0	32,1	10,56
12	105	0,28	64,0	30,9	33,3	10,98	69,9	35,6	38,7	10,57	67,4	33,0	33,7	10,57

QUADRO 02 - RESULTADOS DOS TESTES PARA O AÇO 2															
CORTE	CONDIÇÕES			MIC 1 - SL			MIC 2 - R			MIC 3 - N					
	Vc (m/min)	a (mm/rev)		Pc (kgf)	Pp (kgf)	Pa (kgf)	θ (mv)	Pc	Pp	Pa	θ	Pc	Pp	Pa	θ
01	60	0,10		27,2	10,8	11,9	8,64	28,9	11,2	12,5	8,55	24,5	8,6	9,1	8,47
02	60	0,20		40,1	13,1	14,7	8,97	44,6	15,4	17,3	9,14	44,7	15,7	16,8	9,45
03	60	0,28		58,5	19,8	20,6	9,67	59,7	20,5	22,0	9,76	60,1	21,1	21,4	9,83
04	75	0,10		20,8	6,6	8,3	8,50	22,7	7,3	8,8	8,45	23,3	8,1	8,6	8,78
05	75	0,20		41,1	13,1	15,4	9,45	43,3	14,3	17,1	9,60	43,7	15,4	17,1	9,96
06	75	0,28		59,4	19,9	21,7	10,24	61,7	20,3	22,9	10,25	62,0	21,3	22,8	10,44
07	90	0,10		25,9	8,0	9,6	9,06	24,4	7,9	9,5	9,24	23,1	7,0	8,1	9,17
08	90	0,20		40,3	13,2	14,8	10,09	41,1	13,8	15,5	10,29	41,2	13,7	15,6	10,29
09	90	0,28		56,4	18,5	19,5	10,84	57,1	18,7	19,9	10,79	57,4	19,0	19,9	11,05
10	105	0,10		21,8	7,5	8,4	9,40	20,3	6,7	7,5	9,38	22,3	8,5	9,7	10,09
11	105	0,20		42,1	13,8	16,3	10,72	43,1	13,5	16,6	10,68	43,2	14,6	17,0	11,04
12	105	0,28		57,1	19,0	20,0	11,37	57,2	18,5	20,3	11,24	57,7	19,4	20,3	11,57

QUADRO 03 - RESULTADOS DOS TESTES PARA O AÇO 3												
CORTE Nº	CONDIÇÕES			MIC 1 - SL				MIC 2 - R				
	Vc (m/min)	a (mm/rev)		Pc (kgf)	Pp (kgf)	Pa (kgf)	θ (mV)	Pc	Pp	Pa	θ	
01	60	0,10		33,9	14,5	18,1	11,84	36,0	15,6	20,5	11,82	
02	60	0,20		55,4	23,9	30,0	12,24	55,0	22,9	29,7	12,31	
03	60	0,28		72,3	30,6	36,8	12,68	69,7	27,8	34,4	12,78	
04	75	0,10		33,9	17,1	23,9	12,79	34,3	17,0	24,3	12,82	
05	75	0,20		55,0	26,8	35,3	13,32	54,0	25,4	33,9	13,25	
06	75	0,28		72,6	32,9	41,0	13,45	70,6	31,0	39,7	13,30	
07	90	0,10		32,8	15,7	23,2	13,15	33,2	17,2	26,8	13,19	
08	90	0,20		51,6	24,4	34,8	13,72	51,5	24,4	35,3	13,66	
09	90	0,28		68,9	30,9	40,5	13,83	68,0	29,7	39,4	13,86	
10	105	0,10		33,7	22,1	33,1	14,33	33,7	22,0	33,3	14,33	
11	105	0,20		55,4	31,2	44,0	14,47	54,6	29,9	42,8	14,57	
12	105	0,28		71,2	37,9	49,4	14,58	70,4	37,4	47,9	14,45	

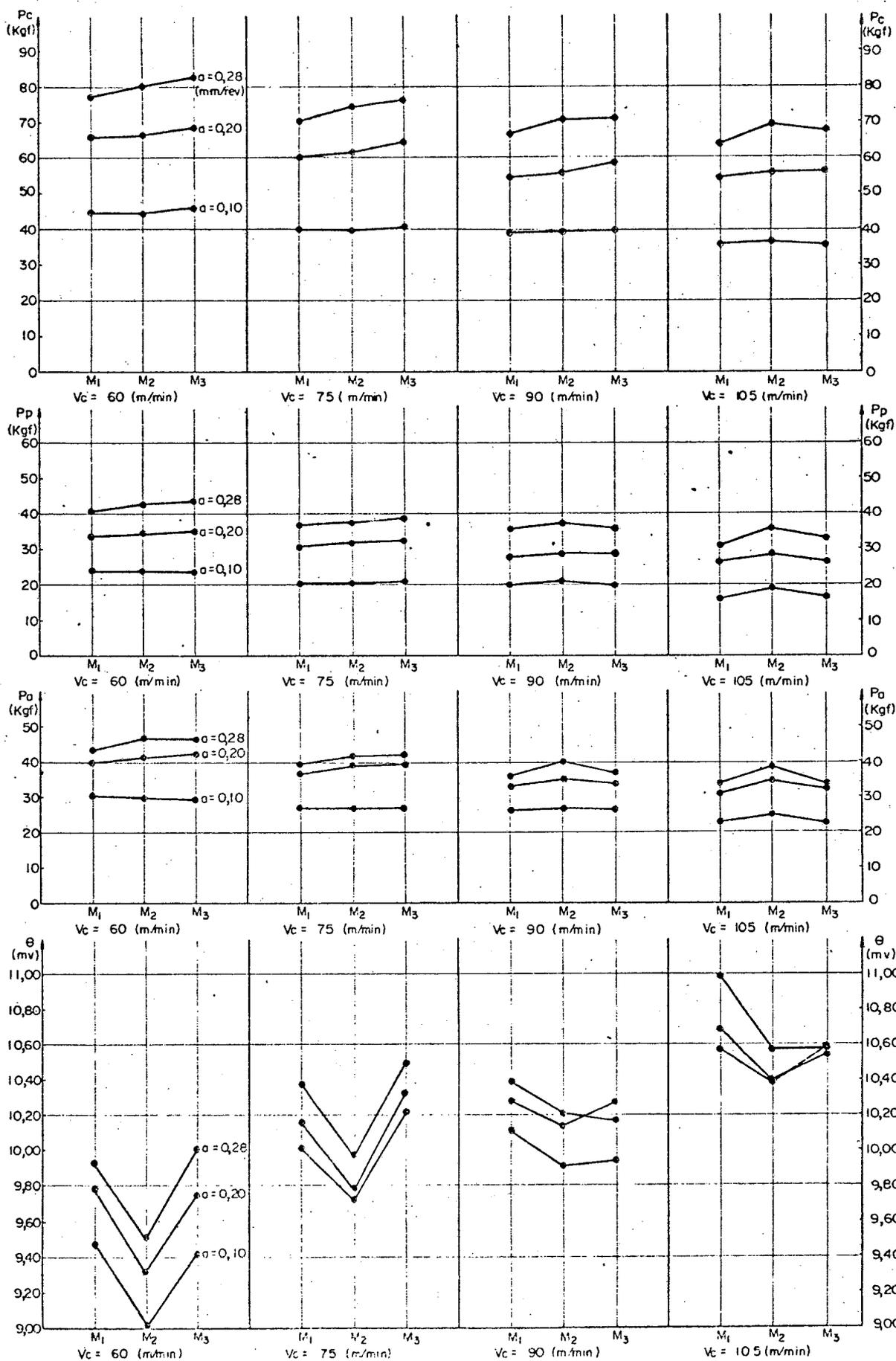


FIGURA 7.4 - RESULTADOS DOS TESTES COM O "AÇO 1"

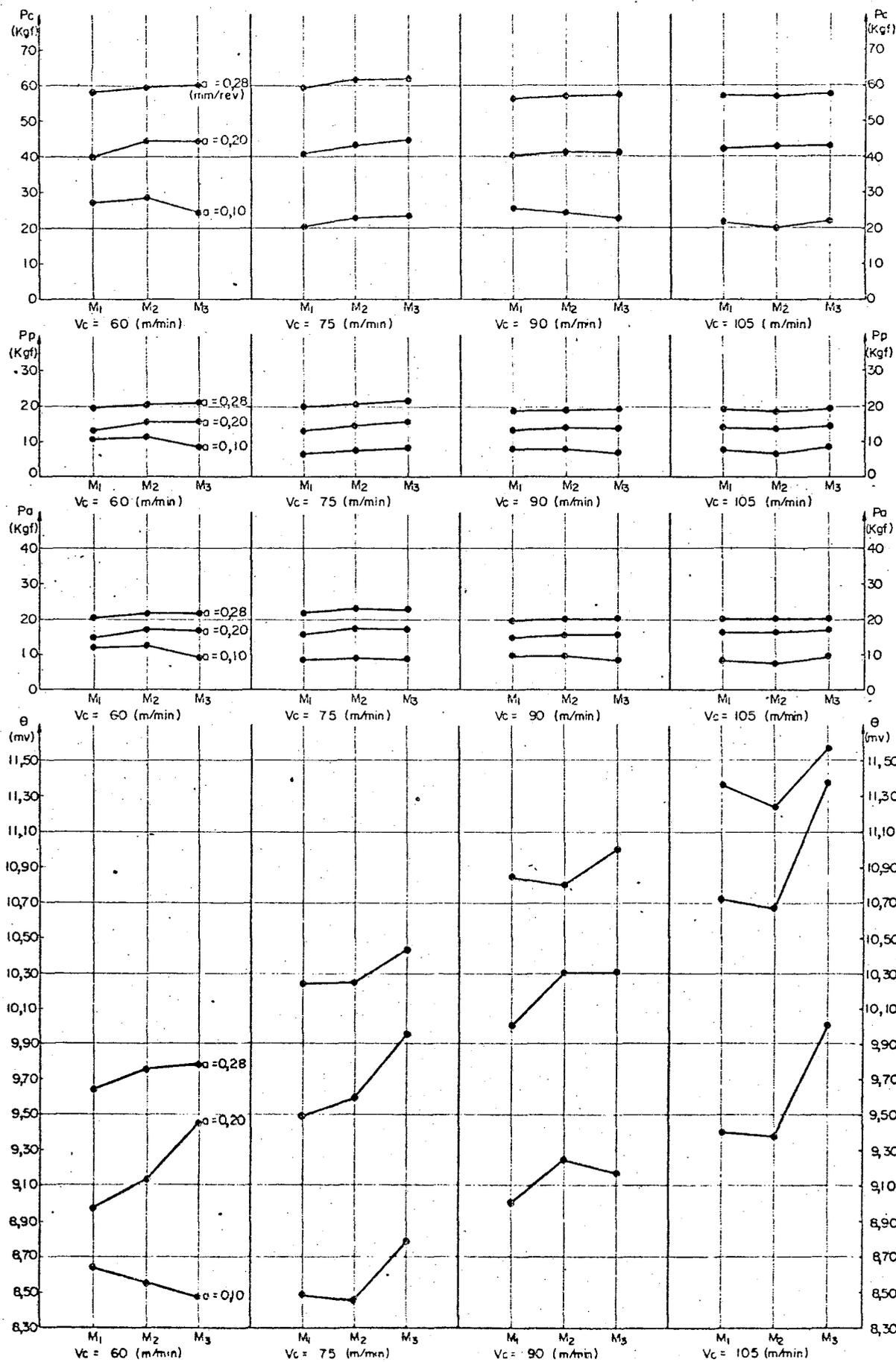


FIGURA 75 - RESULTADOS DOS TESTES COM O "ACO 2"

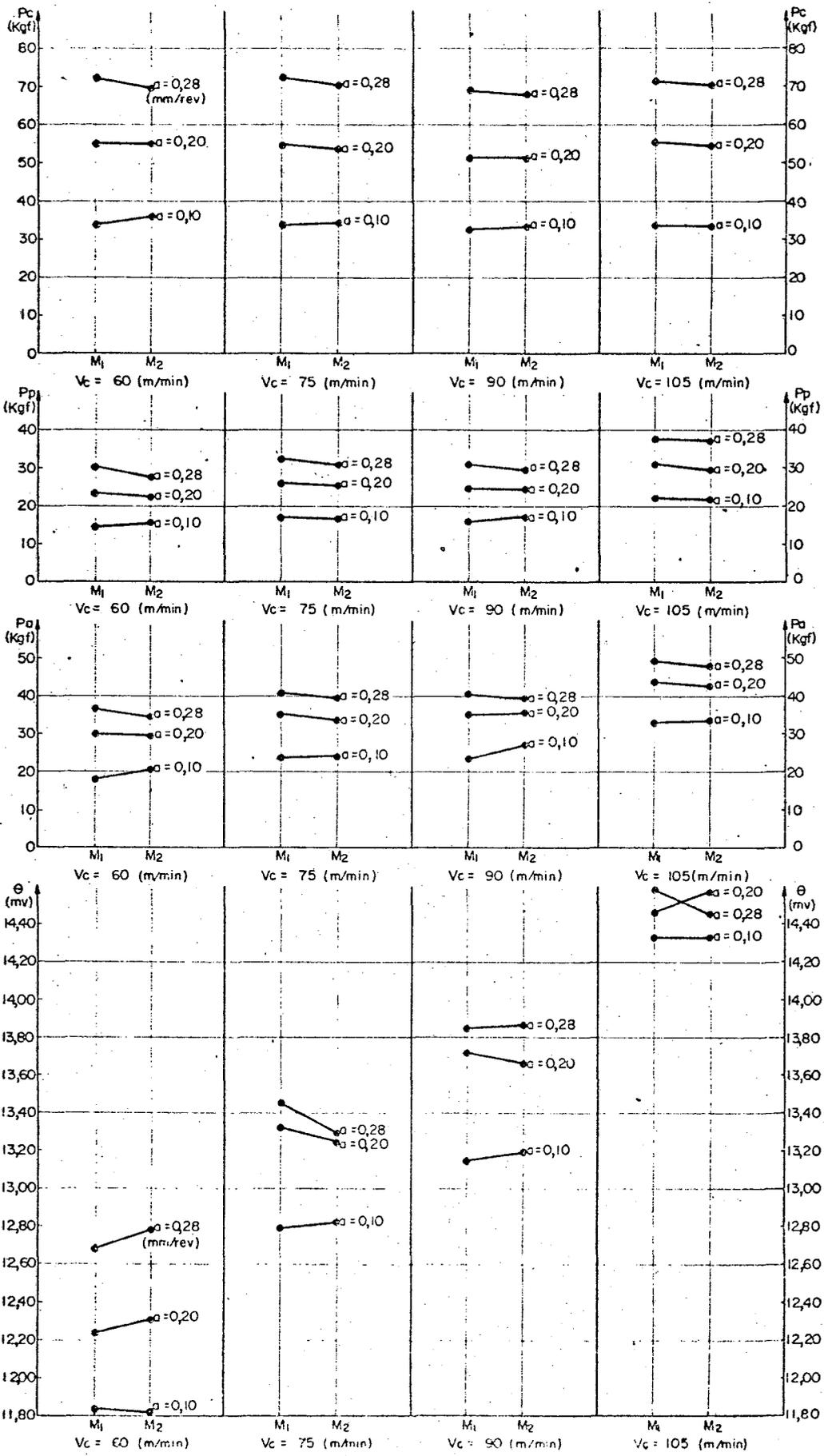
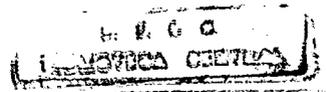


FIGURA 76 - RESULTADOS DOS TESTES COM O "ACO-3"



QUADRO 04

TAMANHO DE AMOSTRAS

NÍVEL DE CONFIANÇA: 95%

INTERVALO DE CONFIANÇA: \pm 5% DA
MÉDIA

AÇO: 1

MICROESTRUTURA: 1 - Simplesmente Laminado

CORTE Nº		INTERVALO DE CON- FIANÇA CALCULADO (% DA MÉDIA)	TAMANHO DE AMOSTRAS	
			TOMADO	CALCULADO
1	F _c	4,2	18	13
	F _y	4,2	18	13
	F _a	7,1	16 *	26 **
	Ø	1,7	18	4
2	F _c	3,4	18	9
	F _y	3,9	16 *	13
	F _a	5,0	16 *	16
	Ø	1,4	18	3
3	F _c	5,3	18	18
	F _y	3,1	18	10
	F _a	4,6	16 *	15
	Ø	1,8	18	5
4	F _c	2,6	18	8
	F _y	5,0	18	18
	F _a	4,6	18	16
	Ø	1,9	18	5
5	F _c	2,6	18	7
	F _y	2,3	18	7
	F _a	3,9	18	12
	Ø	1,9	18	5
6	F _c	3,1	18	10
	F _y	2,8	18	8
	F _a	5,1	18	18
	Ø	1,8	18	5

(*) Este valor foi obtido abandonando-se o máximo e o mínimo valor para fins de cálculos estatísticos.

(**) Valor insatisfatório, o calculado foi superior ao tomado

QUADRO 05		TAMANHO DE AMOSTRAS		
		NÍVEL DE CONFIANÇA: 95%	INTERVALO DE CONFIANÇA: ± 5% DA MÉDIA	
		AÇO: 1	MICROESTRUTURA: 1 - SL	
CORTE Nº		INTERVALO DE CON- FIANÇA CALCULADO (% DA MÉDIA)	TAMANHO DE AMOSTRAS	
			TOMADO	CALCULADO
7	Fc	2,4	18	7
	Fp	3,0	18	9
	Fa	4,4	18	15
	G	2,3	18	7
8	Fc	1,9	18	5
	Fp	2,7	18	8
	Fa	4,0	18	13
	G	2,3	18	7
9	Fc	2,9	18	9
	Fp	2,1	18	6
	Fa	3,4	18	11
	G	2,3	18	7
10	Fc	2,6	18	8
	Fp	2,0	18	6
	Fa	2,4	18	7
	G	2,1	18	6
11	Fc	4,1	18	14
	Fp	3,4	18	11
	Fa	4,4	18	15
	G	2,3	18	7
12	Fc	3,4	18	11
	Fp	2,5	18	8
	Fa	3,9	18	13
	G	2,4	18	7

QUADRO 06

TAMANHO DE AMOSTRAS

NÍVEL DE CONFIANÇA: 95% INTERVALO DE CONFIANÇA: \pm 5% DA MÉDIA

AÇO: 1 MICROESTRUTURA: 2 - Recozida

CORTE Nº		INTERVALO DE CON- FIANÇA CALCULADO (% DA MÉDIA)	TAMANHO DE AMOSTRAS	
			TOMADO	CALCULADO
1	Pc	3,5	14	10
	Pd	4,8	14	14
	Pa	6,7	12 *	19 **
	Q	2,1	14	6
2	Pc	4,5	14	14
	Pd	3,7	14	11
	Pa	4,4	14	13
	Q	2,1	14	6
3	Pc	3,9	14	11
	Pd	3,8	14	11
	Pa	4,9	14	14
	Q	2,0	14	5
4	Pc	2,5	14	7
	Pd	4,9	14	14
	Pa	4,4	14	13
	Q	2,2	14	6
5	Pc	3,2	14	9
	Pd	4,4	14	13
	Pa	4,4	12 *	12
	Q	2,3	14	6
6	Pc	4,4	12 *	12
	Pd	3,6	12 *	10
	Pa	6,3	12 *	18 **
	Q	2,2	14	6

(*) Este valor foi obtido abandonando-se o máximo e o mínimo valor para fins de cálculos estatísticos.

(**) Valor insatisfatório, o calculado foi superior ao tomado.

QUADRO 07		TAMANHO DE AMOSTRAS		
		NÍVEL DE CONFIANÇA: 95%	INTERVALO DE CONFIANÇA: 1/2 5% DA MÉDIA	
		AÇO: 1	MICROESTRUTURA: 2 - R	
CORTE Nº		INTERVALO DE CON- FIANÇA CALCULADO (% DA MÉDIA)	TAMANHO DE AMOSTRAS	
			TOMADO	CALCULADO
7	Fc	2,3	14	6
	Fp	3,7	14	11
	Fa	4,2	14	12
	Q	2,5	14	7
8	Fc	2,9	14	8
	Fp	3,7	14	11
	Fa	4,9	14	14
	Q	2,4	14	7
9	Fc	4,1	14	12
	Fp	4,3	14	13
	Fa	4,8	12 *	12
	Q	2,6	14	7
10	Fc	2,6	14	7
	Fp	2,0	14	6
	Fa	2,3	14	6
	Q	2,2	14	6
11	Fc	4,9	14	14
	Fp	4,7	14	14
	Fa	4,5	12 *	12
	Q	3,1	14	9
12	Fc	4,7	14	14
	Fp	3,8	14	11
	Fa	7,0	12 *	23 **
	Q	2,6	14	7

(*) Este valor foi obtido abandonando-se o máximo e mínimo valor para fins de cálculos estatísticos.

(**) Valor insatisfatório, o calculado foi superior ao tomado.

QUADRO 08

TAMANHO DE AMOSTRAS

NÍVEL DE CONFIANÇA: 95% INTERVALO DE CONFIANÇA: \pm 5% DA MÉDIA

AÇO: 1 MICROESTRUTURA: 3 - Normalizada

CORTE Nº		INTERVALO DE CON- FIANÇA CALCULADO (% DA MÉDIA)	TAMANHO DE AMOSTRAS	
			TOMADO	CALCULADO
1	Pc	2,3	12	5
	Pp	2,3	12	5
	Pa	4,5	12	12
	Q	1,5	12	3
2	Pc	4,1	12	10
	Pp	3,6	12	9
	Pa	4,4	10 *	10
	Q	1,7	12	4
3	Pc	2,7	12	6
	Pp	2,7	12	7
	Pa	3,9	12	10
	Q	1,3	12	3
4	Pc	4,2	12	11
	Pp	3,5	12	9
	Pa	4,8	10 *	11
	Q	1,5	12	3
5	Pc	3,4	12	9
	Pp	2,3	12	6
	Pa	4,0	12	10
	Q	1,3	12	3
6	Pc	3,9	12	10
	Pp	2,7	12	7
	Pa	5,5	10 *	13 **
	Q	1,5	12	4

(*) Este valor foi obtido abandonando-se o máximo e o mínimo valor para fins de cálculos estatísticos.

(**) Valor insatisfatório, o calculado foi superior ao tomado.

QUADRO 09

TAMANHO DE AMOSTRAS

NÍVEL DE CONFIANÇA: 95% INTERVALO DE CONFIANÇA: \pm 5% DA MÉDIA

AÇO: 1 MICROESTRUTURA: 3 - N

CORTE Nº		INTERVALO DE CON- FIANÇA CALCULADO (% DA MÉDIA)	TAMANHO DE AMOSTRAS	
			TOMADO	CALCULADO
7	Pc	1,5	12	4
	Pp	2,3	12	6
	Pa	2,9	12	7
	Q	1,3	12	3
8	Pc	2,0	12	5
	Pp	1,2	12	3
	Pa	2,4	12	6
	Q	1,5	12	4
9	Pc	2,5	12	6
	Pp	1,2	12	3
	Pa	3,0	12	7
	Q	1,7	12	4
10	Pc	1,8	12	5
	Pp	2,1	12	5
	Pa	1,9	12	5
	Q	1,0	12	3
11	Pc	2,6	12	7
	Pp	1,0	12	3
	Pa	3,4	12	9
	Q	1,0	12	3
12	Pc	2,8	12	7
	Pp	1,6	12	4
	Pa	2,8	12	7
	Q	1,3	12	4

QUADRO 10

TAMANHO DE AMOSTRAS

NÍVEL DE CONFIANÇA: 95%

INTERVALO DE CONFIANÇA: \pm 5% DA
MÉDIA

AÇO: 2

MICROESTRUTURA: 1 - Simplesmente Laminada

CORTE Nº		INTERVALO DE CON- FIANÇA CALCULADO (% DA MÉDIA)	TAMANHO DE AMOSTRAS	
			TOMADO	CALCULADO
1	Pc	3,3	9 ***	7
	Fc	6,4	9 ***	14 **
	Fa	6,9	9 ***	16 **
	Q	1,5	9 ***	3
2	Pc	5,7	16 *	20 **
	Fc	4,1	16 *	13
	Fa	7,1	16 *	25 **
	Q	1,5	16 *	5
3	Pc	1,9	18	6
	Fc	4,5	18	16
	Fa	5,8	16 *	21 **
	Q	2,3	18	7
4	Pc	2,7	9 ***	6
	Fc	7,5	9 ***	17 **
	Fa	4,7	9 ***	10 **
	Q	1,5	9 ***	3
5	Pc	1,4	18	5
	Fc	3,7	18	13
	Fa	4,5	18	16
	Q	1,3	18	4
6	Pc	1,3	18	4
	Fc	2,6	18	9
	Fa	3,3	18	11
	Q	1,5	18	5

(*) Este valor foi obtido abandonando-se o máximo e o mínimo valor para fins de cálculos estatísticos.

(**) Valor insatisfatório, o calculado foi superior ao tomado.

(***) Problemas surgidos com o cavaco (explicados no texto), devido ao baixo valor do avanço neste corte, impediram a realização de um número superior de testes.

QUADRO 01		TAMANHO DE AMOSTRAS		
NÍVEL DE CONFIANÇA: 95%		INTERVALO DE CONFIANÇA: \pm 5% DA MÉDIA		
AÇO: 2		MICROESTRUTURA: 1 - SL		
CORTE Nº		INTERVALO DE CON- FIANÇA CALCULADO (Z DA MÉDIA)	TAMANHO DE AMOSTRAS	
			TOMADO	CALCULADO
7	Pc	6,5	9 ***	15 **
	Pb	6,5	9 ***	15 **
	Pa	11,3	9 ***	29 **
	Q	2,0	9 ***	4
8	Pc	1,8	18	6
	Pb	5,8	16 *	22 **
	Pa	5,3	16 *	20 **
	Q	1,9	18	6
9	Pc	1,1	18	4
	Pb	3,1	18	10
	Pa	3,1	18	11
	Q	1,3	18	4
10	Pc	2,9	6 ***	4
	Pb	7,6	6 ***	12 **
	Pa	7,9	6 ***	13 **
	Q	1,7	6 ***	3
11	Pc	1,9	18	6
	Pb	4,1	18	14
	Pa	3,7	18	13
	Q	1,3	18	4
12	Pc	1,2	18	4
	Pb	2,5	18	8
	Pa	3,1	18	10
	Q	1,3	18	4

(*) Este valor foi obtido abandonando-se o máximo e o mínimo valor para fins de cálculos estatísticos.

(**) Valor insatisfatório, o calculado foi superior ao tomado.

(***) Problemas surgidos com o cavaco (explicados no texto), devido ao baixo valor do avanço neste corte, impediram a realização de um número superior de testes.

QUADRO 12		TAMANHO DE AMOSTRAS		
NÍVEL DE CONFIANÇA: 95%		INTERVALO DE CONFIANÇA: \pm 5% DA MÉDIA		
AÇO: 2		MICROESTRUTURA: 2 - Recozida		
CORTE Nº		INTERVALO DE CONFIANÇA CALCULADO (% DA MÉDIA)	TAMANHO DE AMOSTRAS	
			TOMADO	CALCULADO
1	Pc	5.5	7 ***	10 **
	Pp	4,3	7 ***	7
	Pa	8.8	7 ***	17 **
	Q	2.2	7 ***	4
2	Pc	3,5	13 *	10
	Pp	6.7	13 *	21 **
	Pa	7,1	13 *	22
	Q	1,4	13 *	4
3	Pc	2,0	15	6
	Pp	5,0	13 *	16 **
	Pa	5,0	13 *	16 **
	Q	2,1	15	6
4	Pc	7,4	7 ***	6
	Pp	12,0	7 ***	14 **
	Pa	7,8	7 ***	20 **
	Q	2,2	7 ***	4
5	Pc	1,4	15	4
	Pp	5,3	13 *	17 **
	Pa	4,0	15	12
	Q	1,3	15	4
6	Pc	2,2	15	7
	Pp	4,6	15	15
	Pa	3,1	15	9
	Q	1,8	15	5

(*) Este valor foi obtido abandonando-se o máximo e o mínimo valor para fins de cálculos estatísticos.

(**) Valor insatisfatório, o calculado foi superior ao tomado.

(***) Problemas surgidos com o cavaco (explicados no texto), devido ao baixo valor do avanço neste corte, impediram a realização de um número superior de testes.

QUADRO 13		TAMANHO DE AMOSTRAS		
		NÍVEL DE CONFIANÇA: 95%	INTERVALO DE CONFIANÇA: \pm 5% DA MÉDIA	
		AVANÇO: 2	MICROESTRUTURA: 2 - R	
CORTE Nº		INTERVALO DE CONFIANÇA CALCULADO (% DA MÉDIA)	TAMANHO DE AMOSTRAS	
			TOMADO	CALCULADO
7	FC	7.5	7 ***	14
	FD	15.0	7 ***	33 **
	FE	18.9	7 ***	44 **
	CF	2.7	7 ***	5
8	FC	1.5	15	5
	FD	3.6	15	11
	FE	4.5	15	14
	CF	1.5	15	4
9	FC	0.8	15	3
	FD	2.7	15	8
	FE	2.6	15	8
	CF	1.3	15	4
10	FC	4.3	5 ***	5
	FD	6.4	5 ***	8 **
	FE	7.8	5 ***	10 **
	CF	1.4	5 ***	2
11	FC	0.9	15	3
	FD	1.6	15	5
	FE	2.8	15	8
	CF	1.3	15	4
12	FC	1.2	15	4
	FD	2.4	15	7
	FE	3.8	15	12
	CF	0.7	15	3

(*) Este valor foi obtido abandonando-se o máximo e o mínimo valor para fins de cálculos estatísticos.

(**) Valor insatisfatório, o calculado foi superior ao tomado.

(***) Problemas surgidos com o cavaco (explicados no texto), devido ao baixo valor do avanço neste corte, impediram a realização de um número superior de testes.

QUADRO 14		TAMANHO DE AMOSTRAS		
NÍVEL DE CONFIANÇA: 95%		INTERVALO DE CONFIANÇA: ± 5% DA MÉDIA		
AÇO: 2		MICROESTRUTURA: 3 - Normalizada		
CORTE Nº		INTERVALO DE CON- FIANÇA CALCULADO (% DA MÉDIA)	TAMANHO DE AMOSTRAS	
			TOMADO	CALCULADO
1	Pc	7,5	4 ***	8 **
	Pp	9,1	4 ***	9 **
	Pa	16,4	4 ***	19 **
	e	1,9	4 ***	2
2	Pc	1,8	12	5
	Pp	5,7	12	16 **
	Pa	5,1	12	14 **
	e	1,1	12	3
3	Pc	1,6	12	4
	Pp	3,8	12	10
	Pa	3,2	12	8
	e	1,7	12	5
4	Pc	14,5	4 ***	16 **
	Pp	4,8	4 ***	5 **
	Pa	23,0	4 ***	28 **
	e	2,7	4 ***	3
5	Pc	0,9	12	3
	Pp	4,7	12	13 **
	Pa	3,2	12	8
	e	1,0	12	3
6	Pc	1,9	12	5
	Pp	3,5	12	9
	Pa	2,0	12	5
	e	1,5	12	4
(*) Este valor foi obtido abandonando-se o máximo e o mínimo valor para fins de cálculos estatísticos.				
(**) Valor insatisfatório, o calculado foi superior ao tomado.				
(***) Problemas surgidos com o cavaco (explicados no texto), devido ao baixo valor do avanço neste corte, impediram a realização de um número superior de testes.				

QUADRO 15

TAMANHO DE AMOSTRAS

NÍVEL DE CONFIANÇA: 95% INTERVALO DE CONFIANÇA: \pm 5% DA MÉDIA

AÇO: 2

MICROESTRUTURA: 3 - N

CORTE Nº		INTERVALO DE CON- FIANÇA CALCULADO (% DA MÉDIA)	TAMANHO DE AMOSTRAS	
			TOMADO	CALCULADO
7	Pc	8,4	4 ***	9 **
	Pp	10,1	4 ***	11 **
	Pa	18,9	4 ***	22 **
	e	7,6	4 ***	8 **
8	Pc	1,8	12	5
	Pp	4,4	12	12
	Pa	2,4	12	6
	e	2,7	12	7
9	Pc	0,8	12	3
	Pp	2,9	12	7
	Pa	1,8	12	5
	e	1,7	12	5
10	Pc	10,9	4 ***	12 **
	Pp	21,8	4 ***	26 **
	Pa	8,9	4 ***	9 **
	e	0,7	4 ***	2
11	Pc	1,8	12	5
	Pp	4,8	12	13 **
	Pa	3,4	12	9
	e	1,7	12	5
12	Pc	1,1	12	3
	Pp	3,5	12	9
	Pa	2,5	12	6
	e	1,7	12	4

(*) Este valor foi obtido abandonando-se o máximo e o mínimo valor para fins de cálculos estatísticos.

(**) Valor insatisfatório, o calculado foi superior ao tomado.

(***) Problemas surgidos com o cavado (explicados no texto), devido ao baixo valor do avanço neste corte, impediram a realização de um número superior de testes.

QUADRO 16		TAMANHO DE AMOSTRAS		
NÍVEL DE CONFIANÇA: 95%		INTERVALO DE CONFIANÇA: \pm 5% DA MÉDIA		
AÇO: 3		MICROESTRUTURA: 1 - Simplesmente Laminada		
CORTE Nº		INTERVALO DE CONFIANÇA CALCULADO (% DA MÉDIA)	TAMANHO DE AMOSTRAS	
			TOMADO	CALCULADO
1	Pc	8,5	7 *	16 **
	Pp	7,8	7 *	15 **
	Pb	11,0	7 *	22 **
	Q	1,9	7 *	4
2	Pc	1,5	9	3
	Pp	2,8	9	6
	Pb	2,3	9	5
	Q	0,9	9	3
3	Pc	0,6	9	2
	Pp	2,4	9	5
	Pb	2,3	9	5
	Q	1,1	9	3
4	Pc	3,0	9	6
	Pp	5,6	9	12 **
	Pb	4,4	9	9
	Q	0,3	9	2
5	Pc	0,8	9	2
	Pp	2,9	9	6
	Pb	1,3	9	3
	Q	0,8	9	2
6	Pc	2,1	6 ***	4
	Pp	4,5	6 ***	7 **
	Pb	3,3	6 ***	5
	Q	1,3	6	3

(*) Este valor foi obtido abandonando-se o máximo e o mínimo valor para fins de cálculos estatísticos.

(**) Valor insatisfatório, o calculado foi superior ao tomado.

(***) Neste corte 3 valores foram abandonados devido a quebra da aresta cortante da ferramenta nos mesmos.

QUADRO 17		TAMANHO DE AMOSTRAS		
		NÍVEL DE CONFIANÇA: 95% INTERVALO DE CONFIANÇA: ± 5% DA MÉDIA		
		AÇO: 3 MICROESTRUTURA: 1 - SL		
CORTE Nº		INTERVALO DE CON- FIANÇA CALCULADO (% DA MÉDIA)	TAMANHO DE AMOSTRAS	
			TOMADO	CALCULADO
7	Pc	2,3	9	5
	Pp	11,0	9	28 **
	Pa	11,6	9	30 **
	Q	1,0	9	3
8	Pc	1,4	6 *	3
	Pp	4,1	6 *	6
	Pa	2,2	6 *	4
	Q	0,9	6 *	2
9	Pc	1,6	6 *	3
	Pp	2,5	6 *	4
	Pa	2,0	6 *	3
	Q	1,3	6 *	3
10	Pc	0,0	6 *	1
	Pp	6,5	6 *	10 **
	Pa	2,3	6 *	4
	Q	0,6	6 *	2
11	Pc	0,0	6 *	1
	Pp	3,1	6 *	5
	Pa	2,8	6 *	4
	Q	1,4	6 *	3
12	Pc	1,9	6 *	3
	Pp	2,2	6 *	4
	Pa	2,1	6 *	3
	Q	1,4	6 *	3

(*) Neste corte, 3 valores foram abandonados devido a quebra da aresta cortante da ferramenta nos mesmos.

(**) Valor insatisfatório, o calculado foi superior ao tomado.

QUADRO 18		TAMANHO DE AMOSTRAS		
NÍVEL DE CONFIANÇA: 95%		INTERVALO DE CONFIANÇA: \pm 5% DA MÉDIA		
AÇO: 3		MICROESTRUTURA: 2 - Recozida		
CORTE Nº		INTERVALO DE CONFIANÇA CALCULADO (% DA MÉDIA)	TAMANHO DE AMOSTRAS	
			TOMADO	CALCULADO
1	Pc	6,2	4 *	6 **
	Pp	17,6	4 *	20 **
	Pa	18,5	4 *	22 **
	Q	2,1	4 *	3
2	Pc	1,9	6	3
	Pp	3,2	6	5
	PB	3,5	6	5
	Q	2,9	6	5
3	Pc	0,7	6	2
	Pp	4,0	6	6
	Pa	3,0	6	5
	Q	1,6	6	3
4	Pc	5,3	6	8 **
	Pp	4,2	6	6
	Pa	3,3	6	5
	Q	1,7	6	3
5	Pc	2,1	6	3
	Pp	5,4	6	8 **
	Pa	2,8	6	5
	Q	1,7	6	3
6	Pc	2,8	4 *	3
	Pp	6,8	4 *	7 **
	Pa	4,9	4 *	5 **
	Q	1,0	4 *	2

(*) Este valor foi obtido neste corte, 2 valores foram abandonados devido a quebra da aresta cortante da ferramenta nos mesmos.

(**) Valor insatisfatório, o calculado foi superior ao tomado.

QUADRO 19

TAMANHO DE AMOSTRAS

NÍVEL DE CONFIANÇA: 95%

INTERVALO DE CONFIANÇA: \pm 5% DA MÉDIA

AÇO: 3

MICROESTRUTURA: 2 - R

CORTE Nº		INTERVALO DE CON- FIANÇA CALCULADO (% DA MÉDIA)	TAMANHO DE AMOSTRAS	
			TOMADO	CALCULADO
7	Pc	2,2	6	4
	Pp	9,0	6	15 **
	Pa	4,1	6	6
	Q	2,0	6	3
8	Pc	2,3	4 *	3
	Pp	4,5	4 *	5 **
	Pa	3,4	4 *	4
	Q	1,9	4 *	2
9	Pc	0,6	4 *	2
	Pp	3,2	4 *	3
	Pa	4,2	4 *	4
	Q	2,3	4 *	3
10	Pc	0,0	4 *	1
	Pp	5,9	4 *	6 **
	Pa	2,5	4 *	3
	Q	0,6	4 *	2
11	Pc	2,1	4 *	3
	Pp	4,8	4 *	5 **
	Pa	3,9	4 *	4
	Q	2,4	4 *	3
12	Pc	2,4	4 *	3
	Pp	5,0	4 *	5 **
	Pa	0,9	4 *	2
	Q	1,4	4 *	2

(*) Neste corte, 2 valores foram abandonados devido a quebra da aresta cortante da ferramenta nos mesmos.

(**) Valor insatisfatório, o calculado foi superior ao tomado.

QUADRO 20 - COEFICIENTES DE DISPERSÃO DOS DIVERSOS PARÂMETROS												
AÇO 1	MIC 1 - SL				MIC 2 - R				MIC 3 - N			
CORTE Nº	Pc	Pp	Pa	θ	Pc	Pp	Pa	θ	Pc	Pp	Pa	θ
01	9,9	10,0	15,7	4,1	7,1	9,7	12,4	4,2	4,3	4,2	8,4	2,8
02	8,0	8,6	11,0	3,2	9,2	7,6	8,9	4,2	7,6	6,6	7,2	3,1
03	12,5	7,4	10,2	4,2	7,9	7,7	10,0	4,0	4,9	5,1	7,2	2,3
04	6,2	11,9	11,0	4,5	5,2	9,9	9,0	4,4	7,8	6,4	7,9	2,8
05	6,1	5,5	9,3	4,6	6,4	9,0	8,1	4,6	6,3	4,2	7,4	2,5
06	7,4	6,6	12,1	4,2	8,1	6,7	11,7	4,4	7,2	5,1	9,1	2,8
07	5,7	7,2	10,4	5,5	4,6	7,5	8,5	5,1	2,8	4,3	5,4	2,4
08	4,5	6,3	9,5	5,5	5,8	7,5	9,9	4,8	3,7	2,3	4,4	2,8
09	6,8	5,0	8,1	5,4	8,4	8,8	8,8	5,2	4,6	2,1	5,5	3,1
10	6,1	4,7	5,7	4,9	5,3	4,1	4,6	4,5	3,4	3,8	3,5	1,9
11	9,6	8,2	10,4	5,4	9,9	9,5	8,4	6,3	4,9	1,9	6,2	1,9
12	8,1	5,9	9,3	5,8	9,6	7,8	14,2	5,2	5,2	2,9	5,1	2,5
AÇO 2												
01	5,0	9,7	10,5	2,2	7,0	5,4	11,1	2,8	5,5	6,7	12,1	1,4
02	12,6	9,0	15,3	3,2	6,8	13,0	13,8	2,8	3,4	10,5	9,4	2,0
03	4,5	10,7	13,7	5,4	4,3	10,6	10,7	4,5	3,0	7,0	5,9	3,2
04	4,0	11,4	7,2	2,2	9,4	15,1	9,9	2,7	10,7	3,5	17,0	2,0
05	3,4	8,7	10,7	3,2	3,0	11,4	8,4	2,8	1,6	8,7	6,0	1,9
06	3,0	6,2	7,9	3,5	4,8	9,8	6,7	3,8	3,5	6,4	3,7	2,8
07	9,8	9,8	17,3	3,1	9,5	19,0	23,9	3,4	6,2	7,5	14,0	5,6
08	4,3	13,8	12,6	4,5	3,2	7,7	9,6	3,1	3,3	8,1	4,4	4,9
09	2,7	7,3	7,4	3,1	1,8	5,6	5,5	2,8	1,4	5,3	3,3	3,2
10	3,2	8,4	8,8	1,9	4,1	6,0	7,4	1,4	8,0	16,0	6,6	0,5
11	4,5	9,7	8,7	3,1	1,9	3,3	5,9	2,7	3,4	8,8	6,3	3,2
12	2,8	6,0	7,4	3,2	2,5	5,1	8,1	1,5	2,0	6,4	4,6	3,1
AÇO 3												
01	10,7	9,8	13,8	2,4	4,6	13,0	13,6	1,5				
02	2,2	4,3	3,6	1,5	2,1	3,5	3,8	3,2				
03	0,8	3,7	3,5	1,7	0,8	4,4	3,3	1,7				
04	4,6	8,5	6,7	0,5	5,9	4,7	3,7	1,9				
05	1,2	4,5	2,0	1,2	2,3	6,0	3,2	1,9				
06	2,3	4,9	3,7	1,4	2,1	5,0	3,6	0,8				
07	3,5	16,6	17,6	1,5	2,5	10,0	4,6	2,2				
08	1,6	4,5	2,4	1,0	1,7	3,3	2,5	1,4				
09	1,8	2,8	2,2	1,5	0,4	2,3	3,1	1,7				
10	0,0	7,2	2,5	0,7	0,0	4,4	1,8	0,4				
11	0,0	3,5	3,1	1,6	1,6	3,5	2,9	1,7				
12	2,1	2,4	2,3	1,6	1,8	3,7	0,7	1,0				

8. COMENTÁRIOS E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

8.1 Comentários sobre as características mecânicas e Microestruturas dos aços

8.1.1 Aço 1

8.1.1.1 Características dos ensaios de tração

Observando-se o gráfico da figura 4.8, capítulo 4, nota-se que o recozimento provocou um decréscimo em σ_r de 23% enquanto a normalização foi responsável por uma queda de 13% em σ_r .

Os valores encontrados para σ_r são normais visto que trata-se de um aço com 0,14% C.

8.1.1.2 Dureza

A tabela 30 do capítulo 4, mostra que a dureza da secção longitudinal, variou bastante com os tratamentos térmicos. O recozimento causou uma queda de 26,5% na dureza HB deste aço, enquanto a normalização provocou um decréscimo de 20%.

8.1.1.3 Microestrutura

Observando-se as fotos das figuras 4.12 a 4.23 do capítulo 4, vê-se que a microestrutura resultante do aço 1, é composta de aproximadamente; 82% de Ferrita e 18% de Perlita,

e que os tratamentos térmicos efetuados provocaram apenas modificações no tamanho do grão. Assim sendo, o recozimento causou um refino no grão reduzindo seu tamanho. A norma

lização de maneira análoga, causou um refino do grão. Nota-se que foi pouco o refino do grão recozido, já a normalização provocou um refino mais acentuado.

Com relação ao item 3.1.2, capítulo 3, os valores de σ_r e da dureza estão compatíveis com a microestrutura analisada, isto porque a estrutura ferrítica, que é predominante neste aço, apresenta baixa dureza e baixa resistência à tração.

8.1.2 Aço 2

8.1.2.1 Características dos ensaios de tração

Com relação ao gráfico da figura 4.8, observa-se que o recozimento provocou um pequeno decréscimo em σ_r , 10,5%. A normalização em nada alterou o valor de σ_r .

8.1.2.2 Dureza

Da tabela 30 obteve-se variações bastante pequenas em relação a dureza. O recozimento causou uma queda de apenas 3%, enquanto a normalização aumentou a dureza em quase 8%.

8.1.2.3 Microestrutura

Este aço apresentou uma microestrutura composta de \sim 70% de perlita e \sim 30% de ferrita. bastante característica para um aço com 0,54% de C, conforme mostram as fotos das figuras 4.24 a 4.35.

Quanto aos tratamentos térmicos, o recozimento provocou uma redução sensível no tamanho do grão, na normalização o grão resultou semelhante ao do recozimento.

As propriedades anteriores estão compatíveis com a microestrutura apresentada. Visto que a perlita, que é predomi-

nante, de acordo com o item 3.1.2, possui um σ_r em média i gual a 75 kgf/mm^2 . Os valores encontrados variaram na faixa de $70,5$ a $78,8 \text{ kgf/mm}^2$.

8.1.3 Aço 3

8.1.3.1 Características dos ensaios de tração

Do gráfico da figura 4.8, nota-se que o recozimento causou uma redução de 13% em σ_r , enquanto a normalização pro vocou um aumento de 58%, o valor alcançou os $164,0 \text{ kgf/mm}^2$.

8.1.3.2 Dureza

O recozimento em quase nada alterou a dureza, hou ve uma redução de apenas 1,5%. Já a normalização causou um sen sível aumento da dureza deste aço, 51,5%. O valor atingiu os 406 HB.

8.1.3.2 Microestrutura

O tipo de ataque usado nas micrografias não deu condições de analisar o tipo de microestrutura obtido. Proceder outro ataque seria interessante, porém, como não se observou u ma relação entre parâmetros e microestruturas deste aço, um ou tro ataque foi dispensado.

8.2 Interpretação dos resultados dos ensaios

8.2.1 Aço 1, (Gráficos da figura 7.4)

8.2.1.1 Força principal de corte, P_c

Os cortes com avanço = 0,10, não mostram variações sensíveis de P_c em função das microestruturas. As pequenas variações ocorridas poderiam ser atribuídas a imprecisões do método de leitura nas medições.

Nos avanços maiores, as variações foram significativas. Nota-se uma tendência de crescimento de P_c , ao passar da microestrutura 1 (SL) para 2 (R). Esta mesma tendência é observada na passagem de SL para N e de R para N. Neste último, há uma discrepância no corte com $V_c = 105$ m/min e $a = 0,28$.

Observa-se ainda que, nos cortes com avanço 0,28 as diferenças são mais significativas, atingindo 8%.

8.2.1.2 Força passiva, P_p

De modo análogo a P_c , os cortes com avanço 0,10 não mostraram variações sensíveis. Os cortes com avanço 0,20 apresentaram uma tendência de crescimento de P_p , da microestrutura SL para N.

As variações maiores ocorreram nos cortes com $a = 0,28$, atingindo os 15% de variação com a tendência de crescimento da microestrutura SL para N, exceção feita aos cortes com $V_c = 90$ e 105 m/min.

8.2.1.3 Força de avanço, P_a

P_a variou para os avanços 0,20 e 0,28, com uma tendência de crescimento de SL para N. Para $a = 0,28$ a diferença alcançou os 15%.

A discrepância apresentada nos cortes com $V_c = 90$ e 105 m/min, onde houve um decréscimo, ao passar da microestrutura R para N, foi comum a P_a e P_p . Isto poderia ser atribuído ao fato das forças de corte variarem de modo desordenado,

em função de V_c .

8.2.1.4 Temperatura de corte, θ

A temperatura de corte variou sensivelmente em todos os cortes. De um modo geral, houve uma tendência de decréscimo, da microestrutura SL para R. Da microestrutura R para N a tendência predominante foi crescer.

As variações ocorridas alcançaram cerca de 5 a 6%.

8.2.2 Aço 2 (Gráficos da figura 7.5)

8.2.2.1 Força principal de corte, P_c

Ocorreram variações em todos os cortes, com uma leve tendência de crescimento, da microestrutura SL para R. De R para N praticamente P_c ficou constante.

As diferenças atingiram cerca de 10 a 12%.

8.2.2.2 Força passiva, P_p

P_p variou pouco em todos os cortes, sem que houvesse uma tendência predominante.

8.2.2.3 Força de avanço, P_a

A exemplo de P_p , P_a não mostrou variações sensíveis.

8.2.2.4 Temperatura de corte, θ

θ variou em todos os cortes, no entanto não apre

sentou uma tendência definida nas variações. Pode-se dizer que da microestrutura R para N, existiu uma tendência de crescer. De SL para R ocorreram bastante discrepâncias.

Estas discrepâncias poderiam ser atribuídas a perturbações ocorrida na medição, causadas pelo cavaco. Este tendia a enrolar-se, prejudicando sensivelmente a medição de temperatura.

A diferença alcançou 6% na variação de uma microestrutura para outra.

8.2.3 Aço 3 (Gráficos da figura 7.6)

8.2.3.1 Força principal de corte, P_c

Nos cortes com $a=0,10$ P_c praticamente não variou enquanto que, para $a=0,20$ e $0,28$, variou pouco da microestrutura SL para R. A diferença alcançou apenas 6%, como se nota, não houve uma tendência definida na variação.

8.2.3.2 Força passiva, P_p

P_p variou mais que a anterior, a diferença em certos cortes alcançou os 13%. Poder-se-ia dizer que, ocorreu uma certa tendência de decrescer, de SL para R. Certas discrepâncias são observadas ao fazer-se tal afirmativa, e esta não ficou muito fundamentada, dado ao pequeno número de testes executados.

8.2.3.3 Força de avanço, P_a

P_a apresentou uma variação bastante irregular. Apesar de apresentar uma sensível variação de SL para R, com a diferença atingindo os 12%, não ocorreu uma tendência definida na variação.

8.2.3.4 Temperatura de corte, θ

θ variou pouco, a diferença não superou os 2%. Não ocorreu uma tendência definida na variação, pois se observaram discrepâncias.

Poder-se-ia atribuir estas discrepâncias ao pequeno número de testes realizados.

8.3 Análise dos resultados em função das características mecânicas

Comparando-se os valores obtidos para as características mecânicas dos três aços, com os parâmetros medidos, observou-se fatos que são apresentados em função do material.

8.3.1 Aço 1

Os valores da dureza e σ_r , decresceram ao passar da microestrutura SL para R e de SL para N. Os parâmetros, forças e temperatura aumentaram.

De acordo com o exposto no capítulo 3, o aumento nas forças e temperaturas, significariam maior dificuldade de usinagem nas microestruturas R e N.

Por outro lado o objetivo dos tratamentos térmicos realizados, recozimento e normalização, era modificar as microestruturas originais. Todavia, estes são realizados na prática com o propósito de melhorar a usinabilidade.

Ficou patente que, nem sempre uma menor dureza significa facilidade de usinagem. Neste aço, cujo constituinte predominante é a ferrita, caracterizou-se a justificativa apresentada no ítem 3.1.1.

8.3.2 Aço 2

Neste aço, os tratamentos térmicos efetuados em quase nada alteraram os valores da dureza e σ_r . Enquanto isto os parâmetros de corte, não mostraram nenhuma relação com as microestruturas.

Os cortes com pequenos avanços apresentaram sérios problemas, devido ao tipo de cavaco gerado. Isto refletiu - se diretamente na medição da temperatura, o que ocasionou um menor número de testes, com avanço 0,10 mm/rev.

8.3.3 Aço 3

Usinou-se apenas duas microestruturas, para este aço. A normalização causou uma certa têmpera que, foi justificada pela alta temperabilidade deste aço.

Os valores obtidos para dureza e σ_r , comprovam a têmpera adquirida, fato observado posteriormente na ocasião da usinagem.

Não ficou definida nenhuma relação, entre microestrutura e parâmetros de cortes. A impossibilidade de usar a microestrutura normalizada, originou um menor número de ensaios.

As avarias sofridas pelas ferramentas nos testes com a referida microestrutura e que são mostradas no capítulo 9, foram oriundas da alta dureza adquirida pelo aço.

8.4 Análise das medições efetuadas

O quadro 21 apresenta os valores médios dos coeficientes de dispersão, dos diversos parâmetros medidos.

QUADRO 21 - MÉDIA DOS COEFICIENTES DE DISPERSÃO DOS DIVERSOS PARÂMETROS MEDIDOS				
MIC	Pc %	Pp %	Pa %	θ %
AÇO 1				
MIC 1	7,6	7,3	10,2	4,8
MIC 2	7,3	8,0	9,5	4,7
MIC 3	5,2	4,1	6,4	2,6
MÉDIA	6,7	6,5	8,7	4,0
AÇO 2				
MIC 1	5,0	9,2	10,6	3,2
MIC 2	4,9	9,3	10,0	2,9
MIC 3	4,3	7,9	7,8	2,8
MÉDIA	4,7	8,8	9,3	3,0
AÇO 3				
MIC 1	2,6	6,1	5,3	1,4
MIC 2	2,2	5,3	3,9	1,6
MÉDIA	2,4	5,7	4,6	1,5
MÉDIA GERAL	4,6	7,0	7,5	2,8

Os valores apresentados poderão servir como orientação, para futuros trabalhos que utilizem idênticos métodos e equipamentos de medição.

Sabe-se que o Coeficiente de Dispersão mostra em % da média, o quão dispersos estão os elementos. Com isto observa-se que, o método de medição da temperatura de corte forneceu valores bastante precisos.

As forças de avanço e passiva foram medidas com me

nor precisão, dados os coeficientes de dispersão obtidos, de 7,5 e 7,0% respectivamente. P_c e θ apresentaram coeficientes de dispersão inferiores a 5%.

Devido a falta de dados comparativos de outros trabalhos, deixou-se de proceder uma análise comparativa.

Observando-se os quadros 4 a 19, que fornecem os tamanhos de amostras, tomados e calculados, foi montado o quadro 22. Este quadro apresenta um resumo dos tamanhos de amostras insuficientes.

QUADRO 22 - RESUMO DOS TAMANHOS DE AMOSTRAS INSUFICIENTES				
Nº DE ENSAIOS	AÇO	PARÂMETROS	Nº DE ENSAIOS	%
36	1	P_a	5	13,9
36	2	P_c	7	19,4
		P_p	18	50,0
		P_a	17	47,2
		θ	1	2,8
24	3	P_c	3	12,5
		P_p	13	54,2
		P_a	4	16,7
96	COMPOSIÇÃO TOTAL	P_c	10	10,4
		P_p	31	32,3
		P_a	26	27,1
		θ	1	1,0

Do quadro 22 observa-se que as forças de avanço e passiva, foram os parâmetros que apresentaram, maior número de amostras insuficientes.

No cômputo geral, os percentuais 27,1 e 32,3% respectivamente evidenciam que, P_p e P_a tiveram valores bastante dispe

sor nas medições. Por motivos econômicos não se efetuaram novos ensaios, aumentando-se o tamanho das amostras.

A temperatura de corte e a força principal de corte, apresentaram um comportamento bastante regular nas medições, principalmente θ , que pode-se classificar como excelente, pelo percentual apresentado, 1%.

9. AVARIAS DAS FERRAMENTAS NA USINAGEM DA MICROESTRUTURA NORMALIZADA DO AÇO 3.

Ao efetuar-se o tratamento térmico de normalização do aço 3, este adquiriu propriedades incomuns à normalização. Atribuiu-se o fato à alta temperabilidade daquele aço.

A normalização foi efetuada com resfriamento ao ar, como se recomenda. Ao procedê-la o aço adquiriu certa têmpera. A sensível elevação de dureza e da tensão de ruptura observados, confirmam o fato.

Nos ensaios desta microestrutura a ferramenta teve sua aresta danificada e interrompeu-se o corte sempre que isto acontecia. Várias tentativas foram realizadas, em diferentes condições de usinagem, sempre com a quebra da ferramenta.

Estas avarias, atribuídas a um brusco choque, ^{foram} sofridas pela ferramenta que, ao passar de um anel a outro, deparava-se com material de dureza e resistência bastante superiores.

Tal choque refletiu-se diretamente no aumento das forças e temperatura de corte. As forças P_p e P_a variavam sensivelmente naquela ocasião, superando as variações de P_c .

Os gráficos das figuras 9.1, 9.3, 9.5, 9.7 e 9.9, mostram as variações das forças e temperaturas de corte na ocasião da quebra da ferramenta.

As fotos das figuras 9.2, 9.4, 9.6, 9.8 e 9.10 apresentam as avarias sofridas pelas ferramentas, nos ensaios correspondentes aos gráficos citados.

As figuras 9.11 e 9.12 mostram gráficos e foto da ferramenta, de um ensaio onde a ferramenta sofreu uma pequena avaria. Neste ensaio, apesar da avaria o mesmo foi concluído.

Apresentou-se o problema sem que fosse feita uma análise do mesmo, pois não era objetivo do trabalho, no entanto, as variações observadas nas componentes P_p e P_a , poderia ser motivo para um trabalho futuro.

Mostrou-se apenas os resultados de ensaios que caracterizavam melhor o problema, após proceder-se a uma seleção de

tre os ensaios realizados.

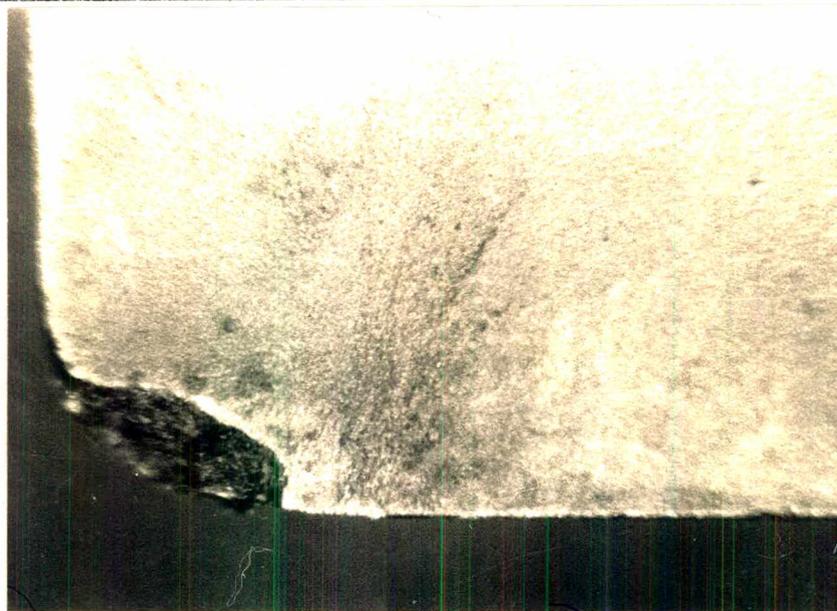
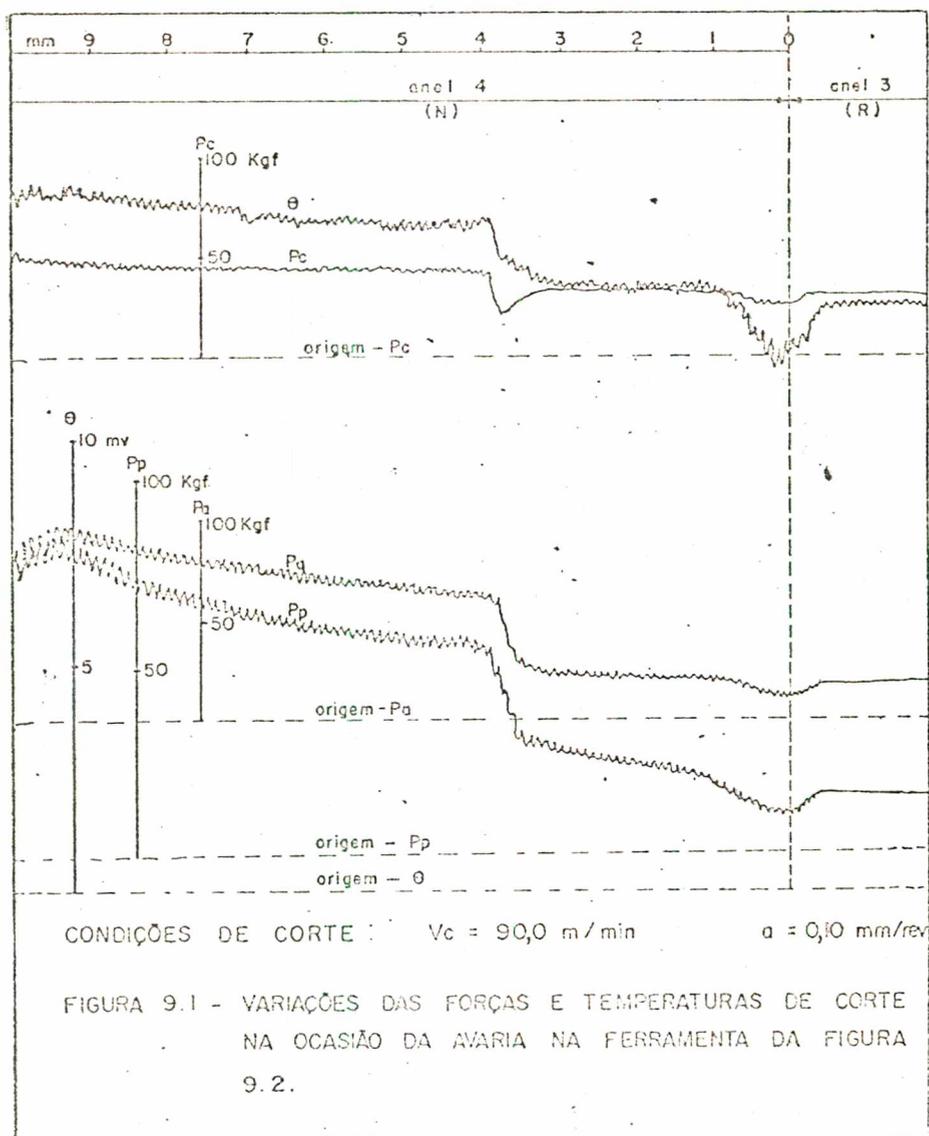


FIGURA 9.2 - Avaria na ferramenta, correspondente aos gráficos da figura 9.1
Aumento: 31X

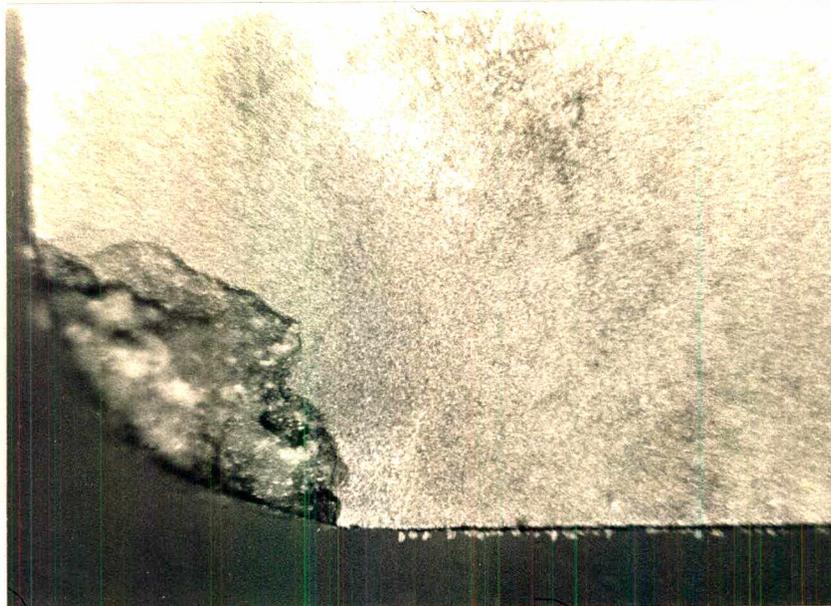
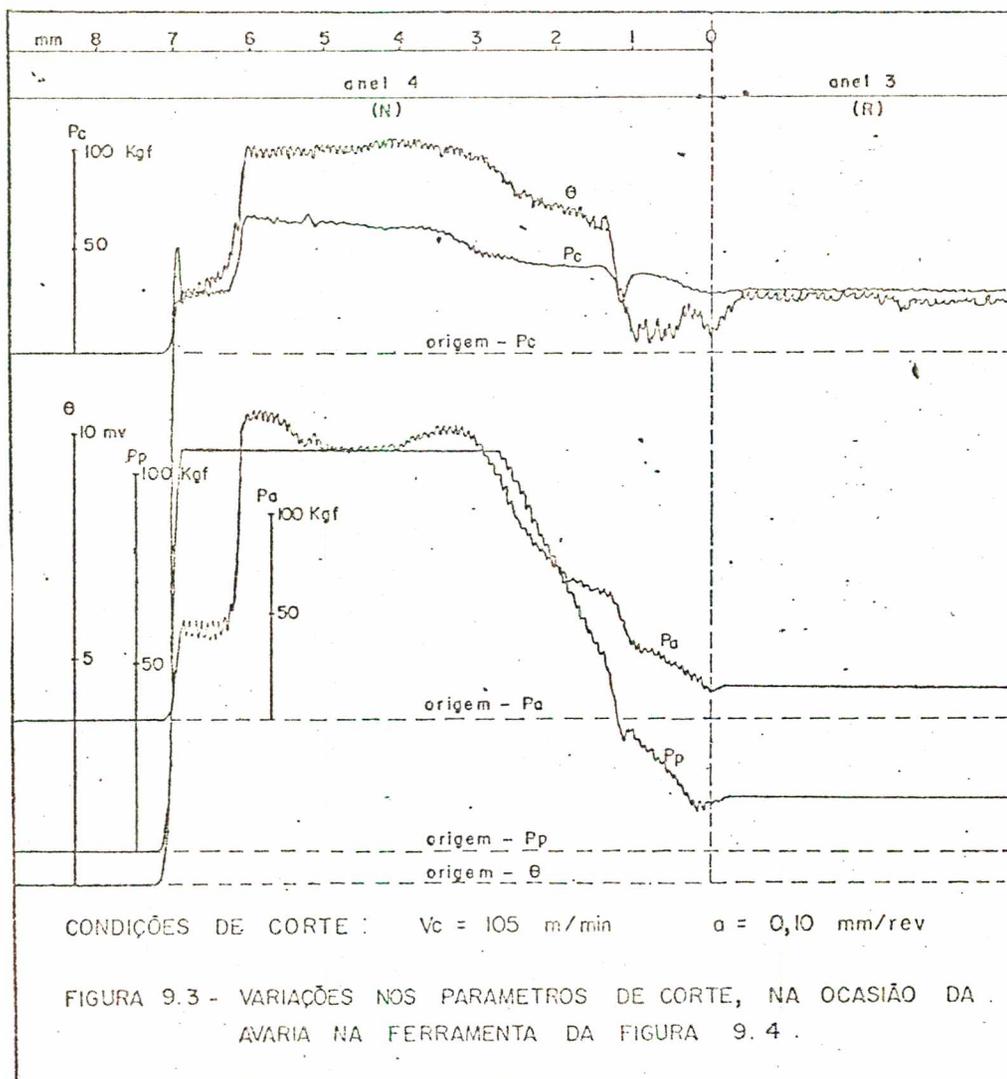


FIGURA 9.4 - Avaria na ferramenta correspondente aos gráficos da figura 9.3
Aumento: 31X.

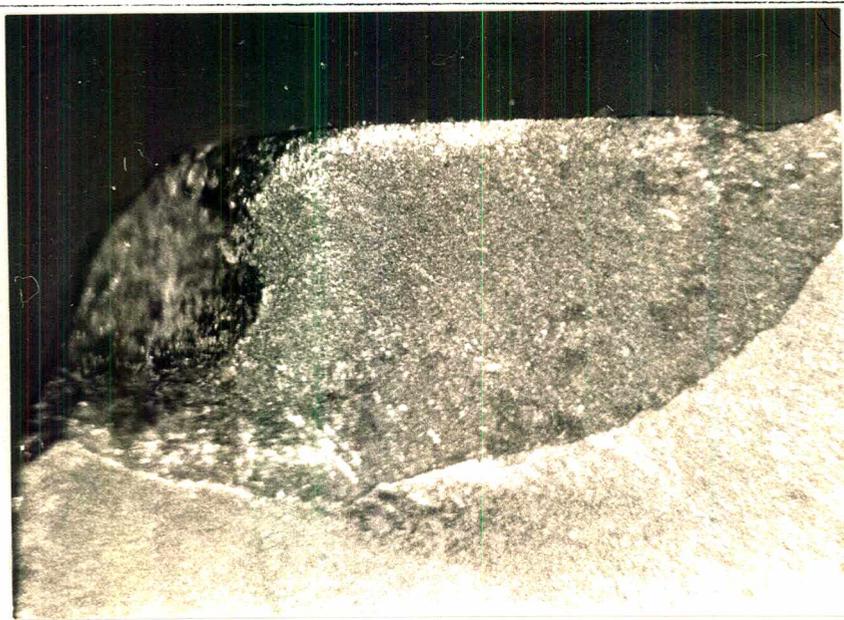
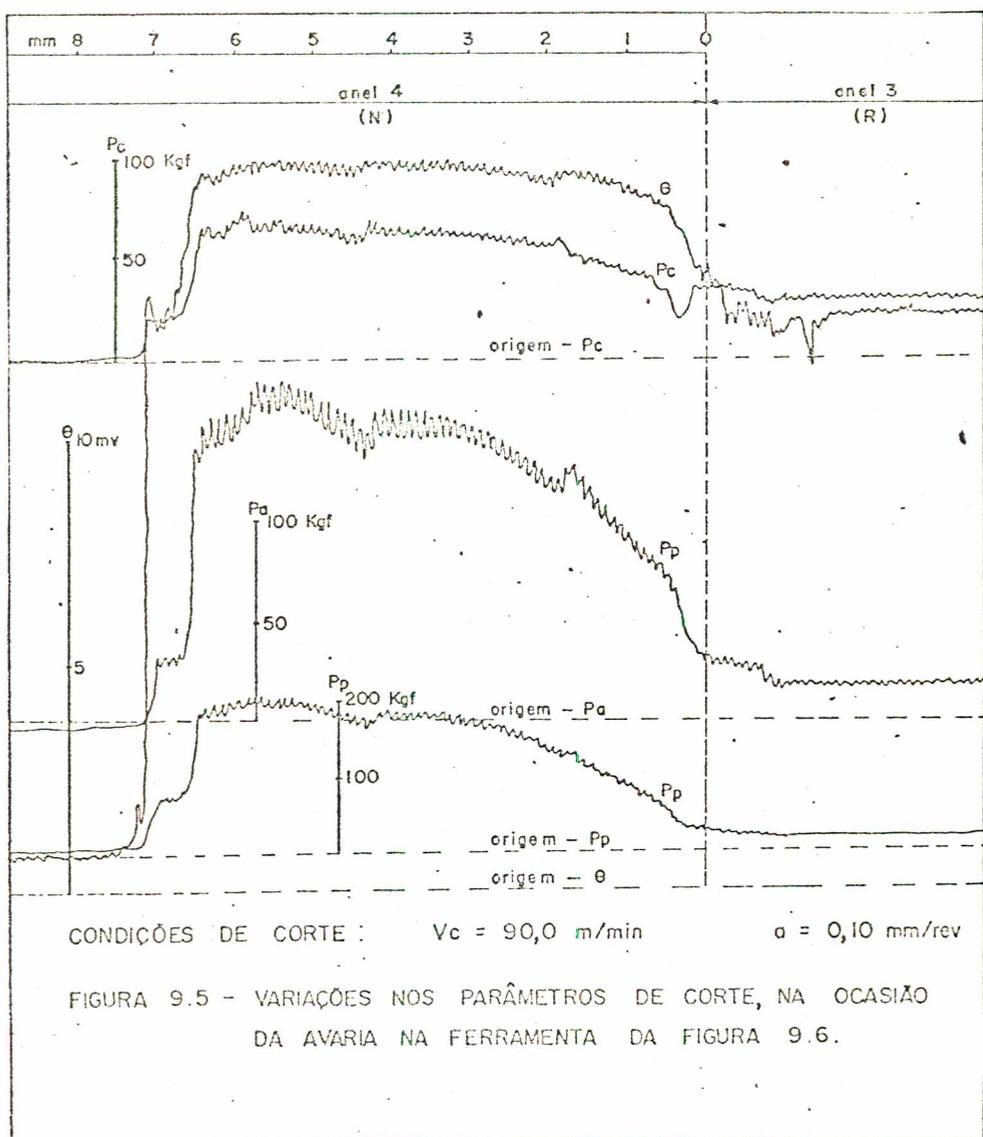


FIGURA 9.6 - Avaria na ferramenta, correspondente aos gráficos da figura 9.5
Aumento: 31X.

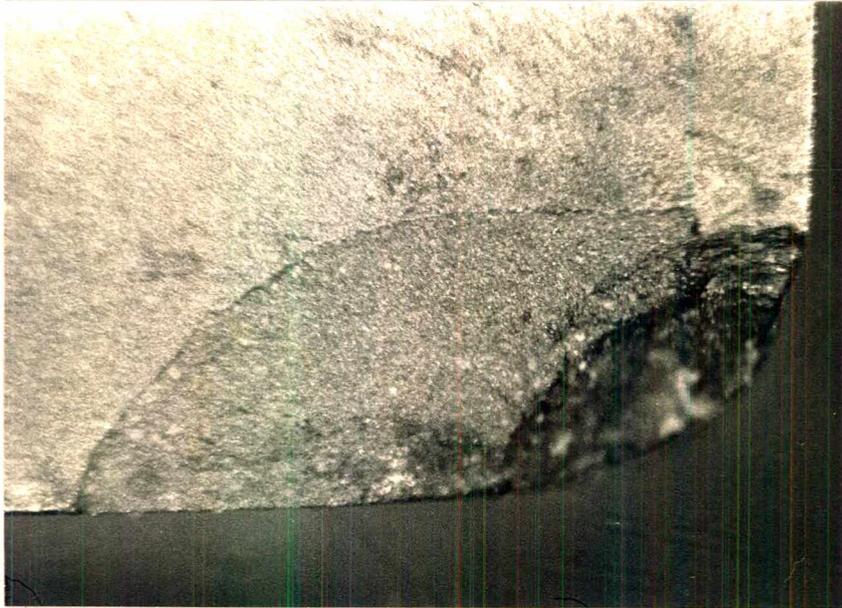
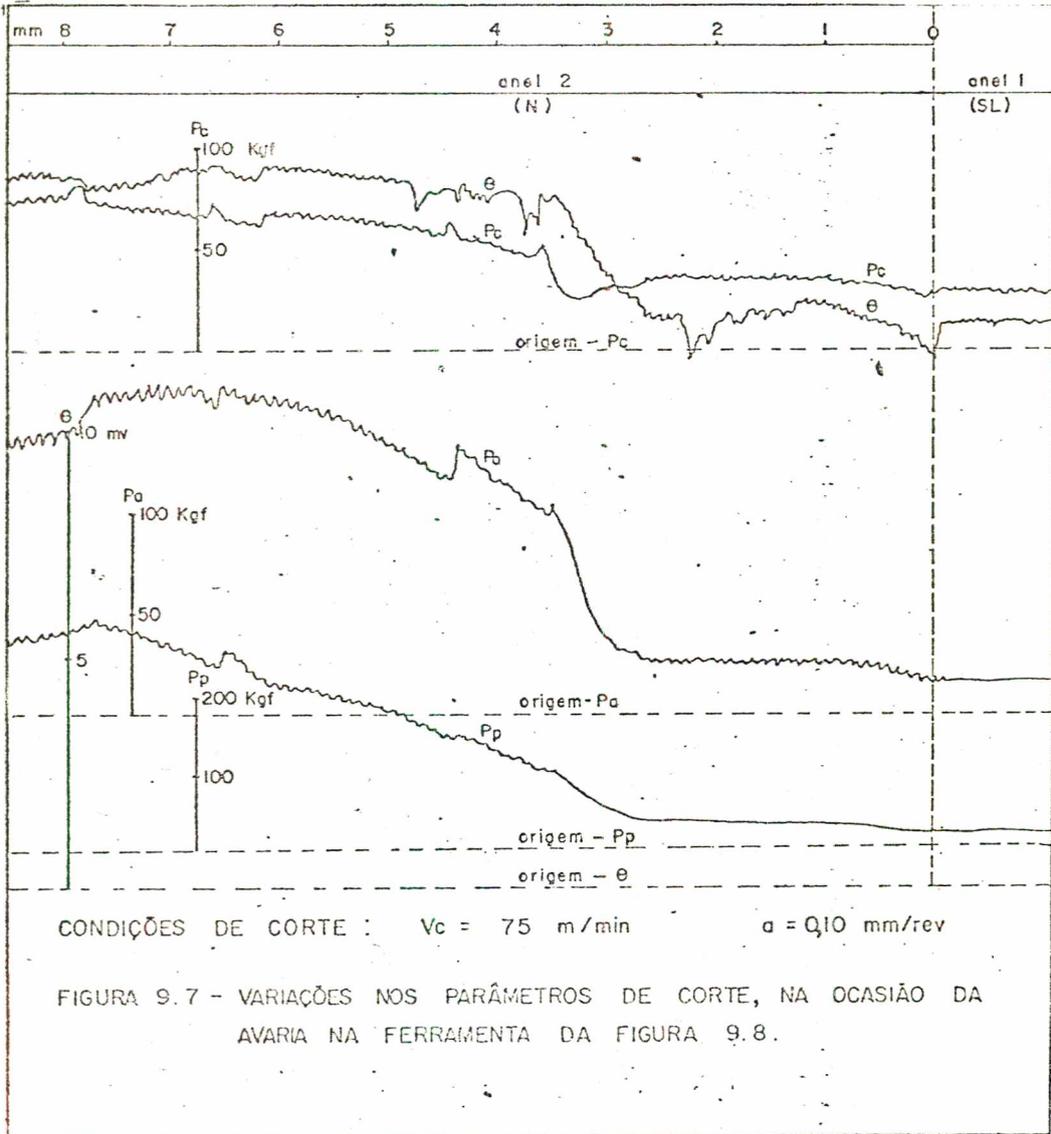


FIGURA 9.8 - Avaria na ferramenta, correspondente aos gráficos da figura 9.7
Aumento: 31X.

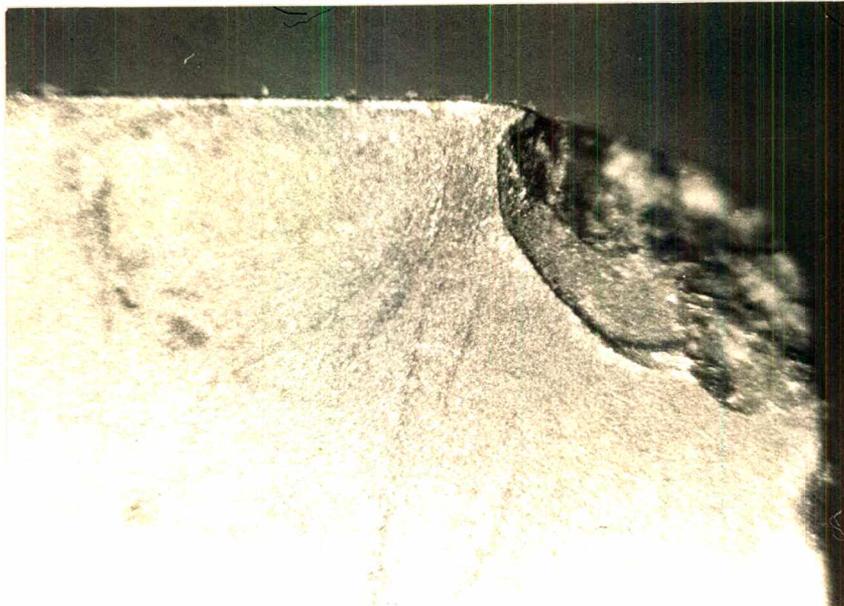
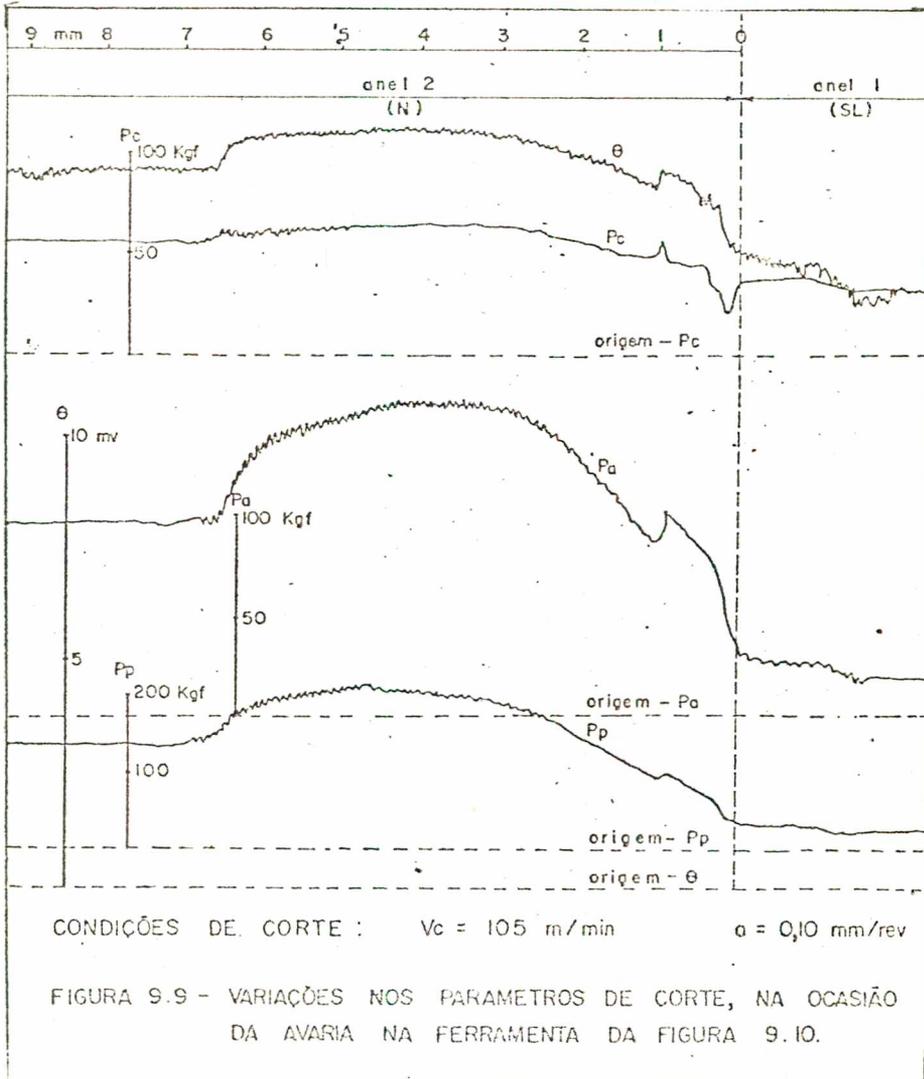


FIGURA 9.10 - Avaria na ferramenta, correspondente aos gráficos da figura 9.9
Aumento: 31X

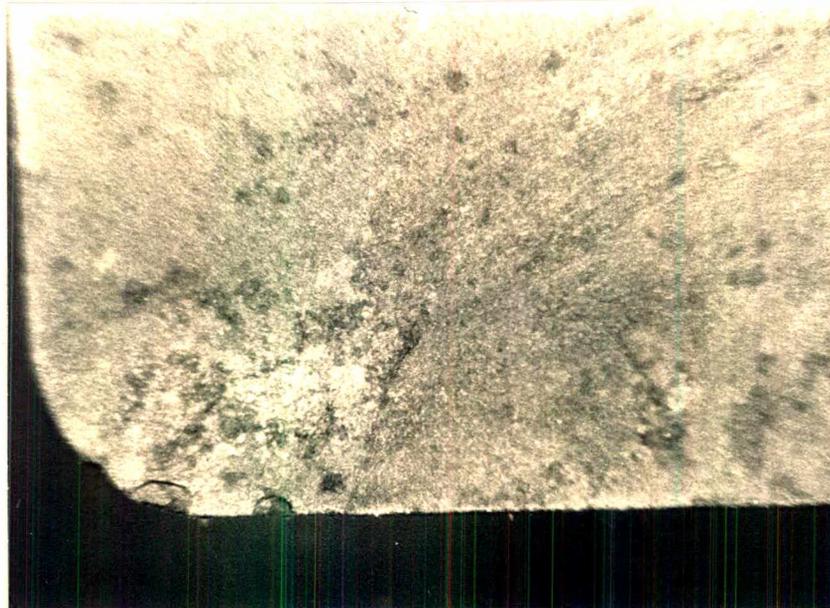
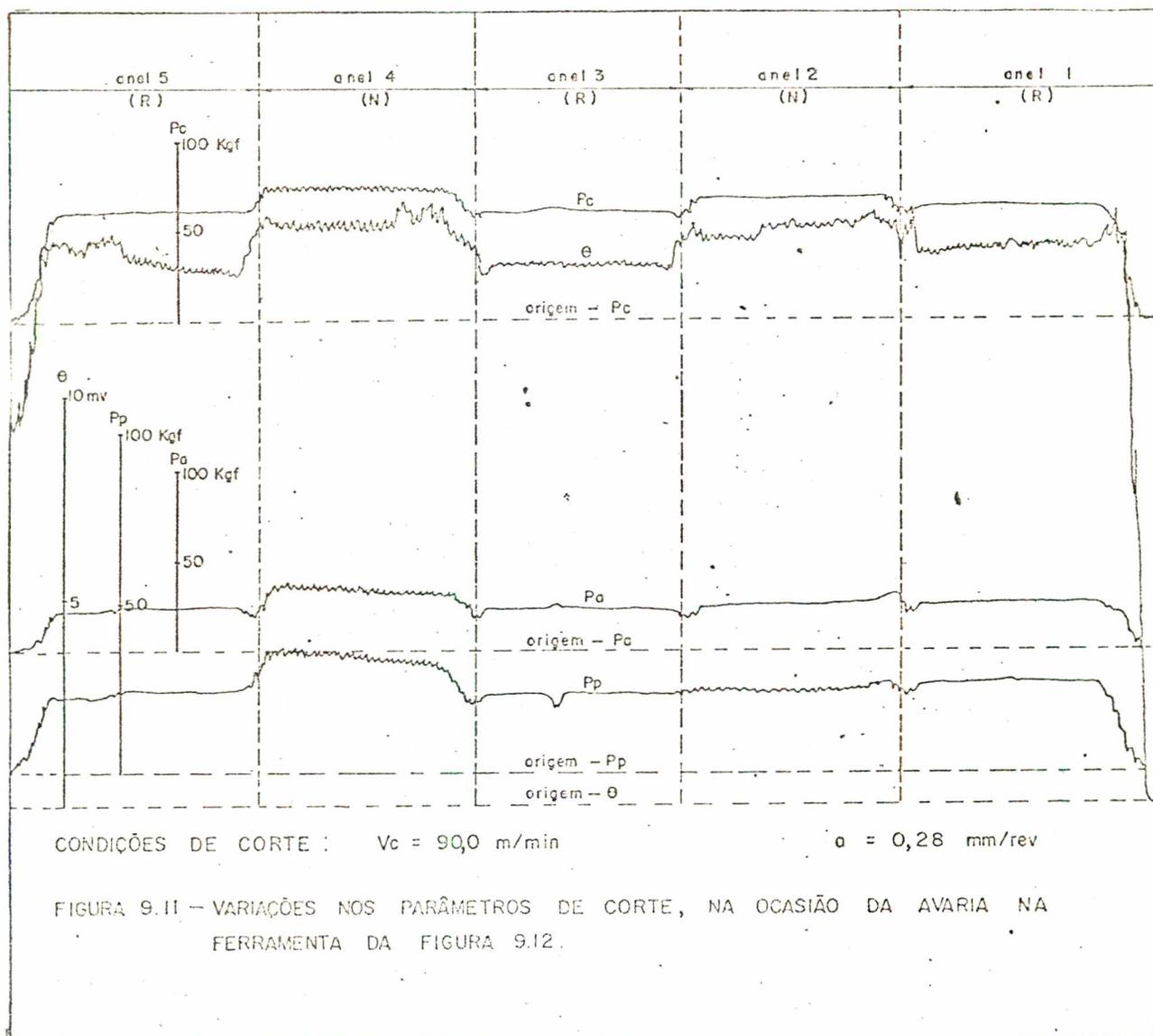


FIGURA 9.12 - Avaria na ferramenta, correspondente aos gráficos da figura 9.11
Aumento: 31X

10. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

10.1 Conclusões

De posse dos resultados apresentados no capítulo 7, das interpretações e análises efetuadas no capítulo 8, concluiu se o seguinte:

- a) De um modo geral os parâmetros de corte medidos, variaram em função da microestrutura, embora alguns deles se mostrassem poucos sensíveis.
- b) As variações observadas mantiveram uma certa relação, na usinagem do aço 1.
- c) Nos aços 2 e 3, não ficou nitidamente caracterizada uma relação entre os parâmetros e a microestrutura.
- d) As variações observadas nos parâmetros medidos, aconteceram apenas nos ensaios com avanços maiores, 0,20 e 0,28 mm/rev.
- e) A relação existente no aço 1 comprovou de certa forma que, a dureza não poderia ser usada, como um índice de usinabilidade.
- f) Entre os parâmetros medidos, a força principal de corte e a temperatura de corte apresentaram melhor comportamento nas medições efetuadas.
 - A conclusão anterior baseia-se nos seguintes fatos:
 - P_c e θ apresentaram menores coeficientes de dispersão, 4,8 e 2,6% respectivamente.
 - Os tamanhos de amostra tomados, foram suficientes em 90 e 99% dos ensaios, respectivamente.
- g) Para utilização em controles adaptativos, os resultados das variações observadas, não deram condições de apontar um sinal adequado. A temperatura de corte seria o sinal menos inconveniente.

- h) A dificuldade encontrada na aferição do sistema termopar peça-ferramenta, não invalida a conclusão anterior.
- i) Os coeficientes de dispersão apresentados para os diversos parâmetros, poderão servir como valores orientativos para ensaios futuros.

10.2 Sugestões

Do observado no decorrer do trabalho, poder-se-ia sugerir para trabalhos futuros o seguinte:

- a) Para realização de um trabalho com objetivos semelhantes, sugere-se:
 - Adotar maiores valores para os avanços e velocidades de corte.
 - Verificar as condições de realização dos tratamentos térmicos, para evitar fatos semelhantes aos acontecidos.
- b) A ampla gama de fatores que influem na aferição do termopar peça-ferramenta, sugere um estudo mais acurado desta área.
- c) A maior influência nas forças de avanço e passiva, por ocasião das avarias na ferramenta sugere uma melhor investigação do fenômeno.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [01] - Giusti, F. - Regulation "en Process", des Paramètres de Coupe en Fonction de la temperature de Coupe - Inst. de Technol. Mec., Universidade de Pisa - Annals of the C.I.R.P. - vol. 18, pg 601/607 - Great Britain - 1970.
- [02] - Jaeschke, J.R., Zimmerly, R.D. e Wu, S.M. - Automatic cutting tool temperature control - Inst. J. mach. tool Des. Res. - Vol. 7, pg 465/475 - Pergamon Press - 1967.
- [03] - Shillan, N.F. - The On-line Control of Cutting Conditions Using Direct Feedback - Proceedings of the 12.th International M.T.D.R. Conference - University of Manchester - Setembro de 1971.
- [04] - Ledergerber, A. - Adaptative Control for turning operations - Proceedings of the 12.th International M.T.D.R. Conference - University of Manchester - Pergamon Press Setembro de 1971.
- [05] - Ferraresi, Dino - Fundamentos da Usinagem dos Metais - Editora Edgard Blücher, Ltda - 1970.
- [06] - Chiaverini, Vicente - Aços Carbono e Aços Liga - Associação Brasileira de Metais, A.B.M. - 1971.
- [07] - Micheletti, G.F. - Work on Machinability in the Co-operative Group C. of C.I.R.P. and Outside this Group &3 "Machinability and Materials"- Annals of the C.I.R.P. , vol. 28, pg 3/30 - Great Britain - 1970.
- [08] - Colpaert, Hu bertus - Metalografia dos Produtos Side rúrgicos Comuns - Editora Edgard Blücher, Ltda - 3º ed. 1974.
- [09] - Field, Michael - Relations of Microstructure to the Ma

- chinability of Wrought Steels and Cast Iron - Metcut Research Associates, Inc. Cincinnati, Ohio - Production Research of Mechanical Engineers - A.S.M.E.
- [10] - Metals Engineering Handbook Board of the American Society of Mechanical Engineers - "Metals Properties" - Edited by Samuel L. Hayt - A.S.M.E.
- [11] - Associação Brasileira de Normas Técnicas, A.B.N.T. - Ensaio de Tração de Materiais Metálicos - Norma MB-4, 1953
- [12] - Manual de Programação da HP-25 - "Programação Aplicada" - Hewlett Packard Company - U.S.A. - 1975.
- [13] - Hartstein, Helio - "Contribuição a Análise da Rigidez Estática da Estrutura de Tornos Universais" - Tese de Mestrado - U.F.S.C., 1973.
- [14] - Queiroz, Abelardo Alves de - Usinabilidade de Ferro Fundido Cinzento e Sensores de Desgaste - Tese de Mestrado - U.F.S.C., 1976
- [15] - Alvelid, B. - Cutting Temperature Thermo - Electrical Measurements - Annals of the C.I.R.P., vol 28 - pg 547/554 - Great Britain - 1970.
- [16] - Braiden, P.M. - The Calibration of Tool/Work Thermocouples - Proceedings of the 8.th International M.T.D.R. Conference - University of Manchester - Pergamon Press 1967.
- [17] - Trigger, K.J. - Progress Report N° 2 on tool chip interface Temperatures - Trans. A.S.M.E., vol. 71, 1949.
- [18] - Shaw, Milton C. - Metal Cutting Principles - the M.I.T. Press - Massachusetts Institute of Technology - Cambridge Massachusetts, 3° ed. - 1965.

- |19| - Bowker, Albert.H. e Lieberman, Gerald.J - Engineering Statistics - Prentice Hall, Inc - Englewood Cliffs, N.J - 1959.
- |20| - Boothroyd, G - Fundamentals of Metal Machining - Edward Arnold Publishers, Ltd - London - 1965.
- |21| - Vidosic, J.P - Metal Machining and Forming Technology - The Ronald Press Company - New York - 1964.
- |22| - Kronenberg, M - Machining Science & Application - Pergamon Press - Great Britain - 1966.
- |23| - Miller, Robert e Kahn, James.S - Statistical Analysis in the Geological Sciences - John Wiley and Sons, Inc - New York - 1962.
- |24| - Barrow, G - A Review of Experimental and Theoretical Techniques for Assessing Cutting Temperatures - Annals of the C.I.R.P. - vol. 22/2, pg 203/211 - 1973
- |25| - Zakaria, A.A e Elgomayel, J.I. - On the Realiability of the Cutting Temperature for Monitoring tool Wear - Int. J. Mach. tool Des. Res., vol 15, pg 195/208 - Pergamon Press - 1975.
- |26| - Manual on Cutting of Metals, with single point tools - the Americam Society of Mechanical Engineers - A.S.M.E., 2° ed. - 1952.
- |27| - Armarego, E.J.A. e Brown, R.H. - The Machining of Metals - Prentice Hall, Inc. - Englewood Cliffs, N.J - 1969.
- |28| - Baitee, Edwin.M - Engineering Experimental Design Fundamentals - Prentice Hall, Inc. - Englewood Cliffs, N.J. 1968.

- [29] - Catálogo Sandvik, 8000:2 - Ferramentas Coromant para torneiar, pg 47 e 119 - Sandvik do Brasil S.A. - 1974.
- [30] - Le Grand, Rupert - Nuevo Manual del Taller Mecánico - cap. 33, pg 50, vol II - Editorial Labor, S.A. Barcelona 1966.