

**Avaliação Perimetral da Superfície de Corte do Rebolo através
da Emissão Acústica em Operações de Dressagem**



JOSÉ EDUARDO MATSUMURA TUNDISI

Dissertação apresentada a Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. João Fernando Gomes de Oliveira

**São Carlos
1999**

Class.	TESE-EESC
Cutt.	610F.
Tombo	217/99

31100007999

S/S 1063568

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

T926a Tundisi, José Eduardo Matsumura
Avaliação perimetral da superfície de corte do
rebolo através da emissão acústica em operações de
dressagem / José Eduardo Matsumura Tundisi. -- São
Carlos, 1999.

Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia de
São Carlos-Universidade de São Paulo, 1999.

Área: Engenharia Mecânica.

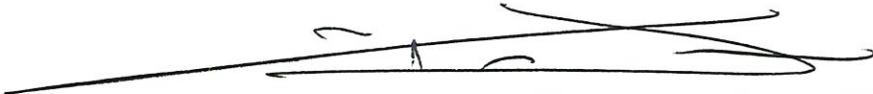
Orientador: Prof. Dr. João Fernando Gomes de
Oliveira.

1. Dressagem. 2. Monitoramento da dressagem.
I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidato: Engenheiro **JOSÉ EDUARDO MATSUMURA TUNDISI**

Dissertação defendida e aprovada em 08.07.1999
pela Comissão Julgadora:



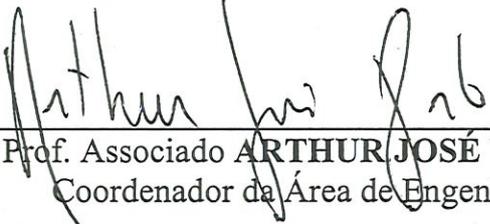
Prof. Titular **JOÃO FERNANDO GOMES DE OLIVEIRA (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



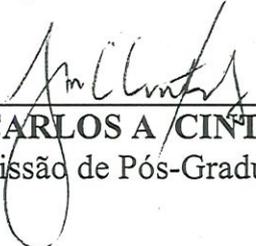
Prof. Doutor **REGINALDO TEIXEIRA COELHO**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



Prof. Doutor **JOSÉ ANTONIO EIRAS**
(UFSCar - Universidade Federal de São Carlos)



Prof. Associado **ARTHUR JOSÉ VIEIRA PORTO**
Coordenador da Área de Engenharia Mecânica



JOSÉ CARLOS A. CINTRA
Presidente da Comissão de Pós-Graduação da EESC

Agradecimentos

Ao Prof. Dr. João Fernando G. de Oliveira, pela orientação do presente trabalho e muita compreensão.

Aos meus pais, José G. Tundisi e Takako M. Tundisi pelo incentivo e apoio todos os dias de minha vida.

À minha esposa Elis Mara Grimberg, pelo carinho e amizade em todos os momentos.

À todos professores e colegas do grupo de retificação.

Ao aluno de Iniciação Científica Paulo Henrique Campos Bellini, pelo desenvolvimento do software.

Ao técnico do grupo de retificação Ronaldo pela ajuda nos experimentos.

Ao Diretor Geral do SAAE Eng^o. André L. Fiorentino pela oportunidade e pelo incentivo para finalizar a dissertação.

Aos colegas de trabalho do SAAE.

Ao CNPq pela bolsa concedida no período de seis meses (Outubro/96 à Fevereiro/97).

Ao amigo e cunhado Deyves E. Grimberg, pela ajuda na digitação do presente trabalho.

SUMÁRIO

Resumo	iii
Abstract.....	iv
Lista de Figuras	v
Notação.....	vii
1. INTRODUÇÃO	1
2. CONCEITOS BÁSICOS SOBRE RETIFICAÇÃO, DRESSAGEM E MONITORAMENTO	5
<i>2.1 Introdução</i>	<i>5</i>
<i>2.2 Problemas de retificação</i>	<i>8</i>
2.2.1 Automação na retificação	8
2.2.2 Interação entre a peça/rebolo.....	9
2.2.3 Problemas no rebolo.....	10
<i>2.3 Problemas de dressagem.....</i>	<i>11</i>
<i>2.4 Necessidade do Sistema de Monitoramento</i>	<i>13</i>
2.4.1 Conceito de Emissão Acústica	13
2.4.2 Uso da E.A. na Retificação.....	14
2.4.3 Tratamento do sinal.....	14

2.5 Tipos de Dressadores.....	17
2.5.1 Dressadores de ponta única.....	17
2.5.2 Dressadores tipo placa e multigranular.....	18
2.6 E.A. na dressagem de rebolos.....	19
2.6.1 Correlação entre a E.A. e a dureza de rebolos.....	20
2.6.2 Correlação entre a E.A. e parâmetros de dressagem.....	21
2.7 Conclusão da revisão bibliográfica.....	26
3. METODOLOGIA.....	27
4. DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA.....	29
4.1 Descrição do Banco de Ensaios.....	29
4.1.1 Banco de dados.....	30
4.1.2 Determinação das características sinal.....	32
4.1.3 Descrição do software.....	36
4.2 Testes preliminares.....	41
4.3 Condições testadas.....	44
4.4 Situações analisadas.....	47
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
6. CONCLUSÕES.....	56
7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	57
8. BIBLIOGRAFIA.....	58
9. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.....	59

RESUMO

AVALIAÇÃO PERIMETRAL DA SUPERFÍCIE DE CORTE DO REBOLO ATRAVÉS DA EMISSÃO ACÚSTICA EM OPERAÇÕES DE DRESSAGEM

Em um processo de retificação, os sistemas de monitoramento utilizados tanto na fabricação das peças como na dressagem da ferramenta de corte (rebolo) têm sido muito desenvolvidos recentemente.

A necessidade do monitoramento resulta na redução dos custos e melhoria na qualidade. Um dos critérios de monitoramento é a análise do sinal de emissão acústica que através de sua avaliação pode-se verificar problemas ocorridos durante a usinagem e a dressagem do rebolo através de um sensor, possibilitando a obtenção de peças com qualidade e dimensões corretas. Este monitoramento do rebolo em operações de dressagem através do sinal da emissão acústica analisado, permite avaliar o perfil gerado na direção axial.

Neste trabalho, através da E. A. é desenvolvido um sistema com o objetivo de mapear acusticamente toda área perimetral da superfície de um rebolo.

Palavras-chave: Dressagem, emissão acústica, superfície do rebolo

ABSTRACT

PERIMETRAL EVALUATION OF THE WHEEL SURFACE THROUGHOUT
THE METHOD OF ACOUSTIC EMISSION IN DRESSING PROCESSES

In a grinding process the utilization of monitoring systems , as well as for the fabrication of the workpieces or in the dressing of the wheel, are very developed recently.

The need of monitoring results in cost's abatement and better quality. One of the criteria for the monitoring is the analysis of the acoustic signal that across your evaluation could exam problems during the machining and dressing the wheel with the uses of a sensor which provides workpieces with the correct dimensions and quality. This monitoring of the wheel in dressing processes across the analysed acoustic signal analysed provide teh evaluation of the profile generated by the axial direction.

In this work, a system is developed using acoustic emission in order to map acoustly the whole surface of a wheel in its perimetral area.

Keywords: Dressing, acoustic emission, wheel surface

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 – PROCESSO DE FILTRAGEM RMS APLICADO AO SINAL BRUTO DE E.A.....	15
FIGURA 2.2 – DRESSADORES DE PONTA ÚNICA.....	18
FIGURA 2.3 – JANELAS E LIMITES DE MONITORAMENTO DA DRESSAGEM.....	21
FIGURA 2.4 – INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE DRESSAGEM NA E.A.....	22
FIGURA 2.5 – INFLUÊNCIA DO PASSO E DA PROFUNDIDADE DE DRESSAGEM NO DESEMPENHO DAS OPERAÇÕES DE RETIFICAÇÃO.....	23
FIGURA 2.6 – MACRO E MICROEFEITOS PRODUZIDOS PELO MECANISMO DE DRESSAGEM.....	24
FIGURA 2.7 – REPRESENTAÇÃO DE SINAIS DE E.A. NA DRESSAGEM DE REBOLOS COM PERFIL UNIFORME E IRREGULAR.....	25
FIGURA 4.1 – BANCO DE ENSAIOS PARA AQUISIÇÃO DOS DADOS.....	29
FIGURA 4.2 – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO SENSOR DE E.A....	31
FIGURA 4.3 – DISPOSIÇÃO DOS SENSORES DE E.A. E PROXIMIDADE....	32
FIGURA 4.4 – CARACTERÍSTICAS DO FENÔMENO A SER MONITORADO.....	33
FIGURA 4.5 – PAINEL FRONTAL DA UNIDADE DE MONITORAMENTO.....	37
FIGURA 4.6 – DIAGRAMA DA FERRAMENTA VIRTUAL.....	38

FIGURA 4.7 – PAINEL CENTRAL COM CONTROLE DA FERRAMENTA VIRTUAL.....	40
FIGURA 4.8 – SISTEMA UTILIZADO NA EXPERIMENTAÇÃO.....	41
FIGURA 4.9 – FALHAS LOCAIS NA SUPERFÍCIE DE CORTE DO REBOLO.....	43
FIGURA 4.10 – DEFEITO EM FORMA DE L PRODUZIDO NA SUPERFÍCIE DE CORTE DO REBOLO.....	45
FOTO – DEFEITO EM FORMA DE L PRODUZIDO NA SUPERFÍCIE DO REBOLO.....	45
FIGURA 5.1 – RESULTADOS PROVOCADOS DURANTE A EXPERIMENTAÇÃO.....	48
FIGURA 5.2 – REPETIBILIDADE DO PADRÃO GRÁFICO.....	49
FIGURA 5.3 – DESGASTE NA SUPERFÍCIE DO REBOLO.....	50
FIGURA 5.4 – OPERAÇÕES DE DRESSAGENS REALIZADOS NO REBOLO REMOVENDO DEFEITOS.....	51
FIGURA 5.5 – REBOLO DESBALANCEADO QUE GERA DEFEITOS NA PEÇA OBRA.....	52
FIGURA 5.6 – OPERAÇÕES DE DRESSAGENS REALIZADAS NA SUPERFÍCIE DO REBOLO A FIM DE OBTER UM PADRÃO GRÁFICO UNIFORME.....	53
FIGURA 5.7 – REBOLO LEVEMENTE DESCENTRADO.....	52
FIGURA 5.8 – REBOLO DESBALANCEADO E CENTRADO.....	53

NOTAÇÃO

Ds	mm	-	Diâmetro do rebolo
F	amostras/s	-	Frequência de aquisição $F=n^{\circ}$ de pontos/ $T_{1 \text{ volta}}$
P	mm	-	Perímetro do rebolo $P=\pi \times Ds$
S	mm	-	Avanço do rebolo por volta da peça na retificação de mergulho
Sd	mm/volta	-	Passo de dressagem
$T_{1 \text{ volta}}$	ms	-	Tempo de uma volta do rebolo
T_{2g}	μs	-	Tempo entre a passagem de 2 grãos pelo dressador
Ud	-	-	Grau de recobrimento de dressagem $Ud=bd/sd$
ad	mm	-	Profundidade de penetração do dressador
bd	mm	-	Largura de atuação do dressador
d	mm	-	Distância média entre 2 grãos abrasivo
vs	mm/s	-	Velocidade periférica do rebolo $vs=d/T_{2g}$

1. INTRODUÇÃO

Nas operações de retificação, as correções na peça (erros dimensionais e inspeção visual) ou no rebolo (operação de afiação usualmente designada por dressagem, diamantação, dentre outros), dependem muito da habilidade e do desempenho individual de cada operador, por isso há dificuldade em se estabelecer um padrão de qualidade uniforme. A operação de dressagem, além de influir na qualidade da peça, implica no aumento dos custos relacionados ao consumo de rebolo, perda de tempo no processo de fabricação e, conseqüentemente, diminuição da produção.

As variações na qualidade das peças produzidas no tempo entre duas operações de dressagem (vida do rebolo) e na produção, fez com que fossem desenvolvidos estudos para solucionar problemas relacionados as operações de retificação e dressagem. Com isso foram desenvolvidos os Sistemas de Monitoramento que procuram solucionar os problemas que ocorrem nas operações de retificação e dressagem. Mas a implantação destes sistemas encontram freqüentemente dificuldades relacionadas às interferências com outros sistemas de controle ou dispositivos presentes na retificadora. Por estas razões a implementação deste sistemas na retificadora e nas operações de dressagem não é simples; porém, se realizada, pode trazer resultados interessantes para o processo.

Os Sistemas de Monitoramento podem auxiliar na obtenção de resultados mais próximos de um padrão uniforme de qualidade. Para a implantação desses sistemas são necessários vários testes de desempenho.

Inicialmente, os Sistemas de Monitoramento foram utilizados em operações com ferramenta de geometria definida (como torneamento e furação) mostrando serem úteis e práticos. Sua utilização no processo de retificação foi substancialmente dificultada devido a geometria das arestas de corte dos grãos abrasivos ser aleatória.

Segundo Oliveira (1995), o processo de retificação utiliza apenas 3% dos sistemas de monitoramento instalados no mundo, enquanto que nos processos que utilizam ferramentas com geometria definida, essa porcentagem é elevada para 45% no caso do processo de furação, 38% no processo de torneamento, 8% no processo de fresamento e 6% para outros processos. A baixa utilização do monitoramento na retificação é atribuída a fatores relacionados ao funcionamento desses sistemas durante o processo. Foi detectado que dos sistemas de monitoramento instalados 46% funcionam integralmente, 25% foram eliminados por razões técnicas, 16% funcionam parcialmente e 13% foram substituídos por outros sistemas.

Na operação de dressagem, por exemplo, pode-se verificar se há regiões com falhas (desgaste acentuado) na superfície de corte do rebolo. Isto pode ser detectado quando o rebolo é dressado, pela intensidade do sinal de emissão acústica que é registrado em tempo real. A variação da intensidade deste sinal pode indicar as regiões da superfície de corte do rebolo que apresentam as falhas durante a operação dressagem. Desta forma, o operador poderá realizar

dressagens sucessivas até o momento em que o sinal de emissão acústica seja uniforme.

Este trabalho tem por finalidade desenvolver um sistema de monitoramento em operações de dressagem, capaz de analisar falhas na superfície de corte do rebolo e, portanto, verificar causas e conseqüências dos problemas que ocorrem nas operações de dressagem, procurando as soluções adequadas através do sistema de monitoramento.

O objetivo específico deste trabalho é avaliar os problemas existentes na superfície de rebolos durante as operações de dressagem, tendo como desdobramentos:

- Verificar através de outros estudos, que sistemas de monitoramento são utilizados para detectar as falhas no rebolo;
- Desenvolver um sistema de monitoramento que permita identificar falhas localizadas na superfície de corte do rebolo através da E.A nas operações de dressagem;
- Realizar estudos experimentais com uso do sistema desenvolvido visando uma avaliação do seu desempenho.

Com o desenvolvimento deste sistema pretende-se contribuir na melhoria dos problemas relacionados ao controle da operação de dressagem, tornando-a mais previsível e confiável.

Tendo em vista os objetivos descritos, o conteúdo da dissertação foi estruturado da seguinte forma:

Capítulo 2- CONCEITOS BÁSICOS SOBRE RETIFICAÇÃO, DRESSAGEM E MONITORAMENTO- através deste capítulo é feita uma revisão bibliográfica e são abordados problemas de retificação, problemas na operação de dressagem,

necessidades do sistema de monitoramento em operações de retificação e dressagem, conceitos sobre dressadores, a utilização da emissão acústica na dressagem de rebolos e a conclusão da revisão bibliográfica.

Capítulo 3- METODOLOGIA - são descritos os objetivos da dissertação com mais detalhes, e a importância do método utilizado na experimentação.

Capítulo 4- DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA - este capítulo descreve com detalhes os procedimentos de trabalho experimental, descrição do banco de ensaios, descrição do software, equipamentos utilizados, condições testadas e situações analisadas.

Capítulo 5- RESULTADOS E DISCUSSÃO - são relacionados os resultados obtidos no trabalho experimental e é feita uma discussão sobre a obtenção desses resultados.

Capítulo 6- CONCLUSÕES – são descritas as conclusões da dissertação.

Capítulo 7- SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS – este último capítulo tem como finalidade sugerir algumas pesquisas que darão continuidade ao método desenvolvido nesta dissertação.

BIBLIOGRAFIA

2. CONCEITOS BÁSICOS SOBRE RETIFICAÇÃO, DRESSAGEM E MONITORAMENTO

2.1 Tendências na retificação

Com o aumento da competitividade entre as empresas, devido a globalização da economia, torna-se ainda mais necessária a automatização dos processos de fabricação a fim de se possibilitar a fabricação de produtos com melhor qualidade e menor custo. O Brasil sente a urgência de recuperar o tempo perdido devido ao isolamento econômico e tecnológico em que permaneceu durante muitos anos, pois passa por um momento de transição para um novo padrão de desenvolvimento, associado às forças de transformação originárias de duas condições básicas: a estabilização da moeda e a redefinição das estruturas financeiras nacional e internacional.

As transformações brasileiras, são repletas de oportunidades e incertezas dependendo do grau de organização e da qualidade dos produtos fabricados. Para que as empresas nacionais sejam competitivas os produtos devem ser fabricados com melhor qualidade, menor preço e mais rapidamente, para compensar os custos de fabricação.

Um dos processos de acabamento mais utilizados na fabricação de peças de precisão é o processo de retificação, mesmo sendo este um dos processos de usinagem menos dominado tecnologicamente, se comparado aos processos convencionais de usinagem. Seu desempenho é muito dependente da habilidade e sensibilidade do operador, e das condições de usinagem e dressagem do rebolo (afiação). Isto impede, em alguns casos, que em algumas empresas sejam

instalados o terceiro turno de trabalho por falta de pessoal qualificado para este tipo de operação. As decisões durante a retificação são normalmente tomadas pelo operador da máquina que nem sempre possui conhecimentos teóricos sobre o processo, mas apenas sua experiência de muitos anos de trabalho. Este fato é ainda mais agravado porque no Brasil, ainda são muito utilizados os rebolos convencionais que possuem menor capacidade de remoção de material se comparados com os rebolos superabrasivos. Isto torna mais crítica a concorrência estrangeira que está obrigando as indústrias nacionais a atender aos padrões internacionais de qualidade e desempenho de um produto.

Segundo Nailor (1989) a usinagem com rebolos superabrasivos deve proporcionar um custo de produção inferior por peça, em média 30 à 50% em relação a usinagem com rebolos convencionais, utilizando-se condições de usinagem que promovam o menor desgaste possível da superfície de corte (superfície do rebolo responsável pela remoção de metal da peça retificada).

Entretanto, a redução de custo somente será viável se o rebolo, sob determinada condição de usinagem, proporcionar a produção de peças com qualidade aceitável, ou seja, com erros de forma e geométricos aceitáveis, rugosidade superficial adequada da peça e sem danos na sua integridade superficial.

Segundo Krar e Ratterman (1990), através de esforços contínuos para melhorar a qualidade dos produtos e os métodos de fabricação, novas máquinas-ferramenta e materiais para as ferramentas de corte têm sido desenvolvidas. Alguns tipos de peças feitas de materiais compostos, comprovadamente, proporcionam grandes dificuldades, ou até mesmo impossibilidade, quando torna-

se necessário que sejam submetidos ao processo de retificação com rebolos convencionais.

Mesmo sendo a capacidade de corte dos rebolos superabrasivos superior, se comparado aos rebolos convencionais, estes não podem ser aplicados a todas as operações de retificação. No entanto, esses têm provado ser excepcionais para a retificação de metais ferrosos endurecidos, ferro fundido e superligas de níquel e cobalto. É certo também que os rebolos superabrasivos apresentam alta eficiência de corte e podem produzir maior quantidade de peças, com elevada precisão e com o mesmo esforço físico despendido com os rebolos convencionais, proporcionando menores custos, e conseqüente aumento da produtividade.

Em operações típicas de fabricação, o rebolo é a interface entre a máquina e a peça. Para que o rebolo possa transferir a energia disponível na máquina para a operação de retificação este deve apresentar maior dureza do que a peça e, conseqüentemente, ser mais resistente ao desgaste abrasivo. Os cristais dos grãos abrasivos de CBN (nitreto cúbico de boro) se adequaram e até superaram este requisito, e por isso são usados na fabricação de rebolos para a retificação de alta eficiência de materiais difíceis de serem retificados (Difficult To Grinding - DTG).

Na retificação de materiais DTG, os rebolos convencionais perdem a capacidade de corte mais rapidamente, o que resulta em valores elevados de forças de corte, temperatura (gerada por atrito e riscamento entre o grão e a peça) e taxas de remoção de material reduzidas, afetando a rugosidade superficial e a precisão geométrica e dimensional das peças retificadas. De forma oposta, os rebolos de CBN têm prolongada a sua capacidade de corte e a alta

condutividade térmica colabora no sentido de reduzir a elevação descontrolada de calor. Desta forma, reduz-se a possibilidade de se causar danos metalúrgicos na peça.

2.2 Problemas de retificação

2.2.1 Automação na retificação

Segundo Oliveira (1994), a otimização de processos deve apresentar como objetivo principal a elevação da eficiência das máquinas retificadoras e a automação dos processos para torná-los competitivos dentro dos futuros ambientes industriais. Geralmente os custos principais de retificação são a mão de obra e as ferramentas (rebolos e dressadores).

Desta forma, num ambiente automatizado o operador não necessitará mais decidir empiricamente o momento de realizar a dressagem melhorando o desempenho das ferramentas, devido à definição tecnicamente mais precisa deste momento para a dressagem do rebolo, diminuindo seu consumo (quando a dressagem é antecipada) ou evitando a fabricação de peças fora das tolerâncias (quando a dressagem é feita após sua necessidade).

2.2.2 Interação entre a peça/rebolo

Segundo Felipe (1996), a interação inadequada entre a peça usinada e a ferramenta de corte (rebolo) pode gerar problemas de retificação. Alguns desses problemas são citados a seguir:

- A não obtenção da dimensão final com qualidade de uma peça implica na perda dessa peça. Na operação de retificação a peça bruta tem uma determinada dimensão, anterior ao processo de retificação. Essa dimensão anterior é normalmente obtida por operações de torneamento, fresamento ou forjamento. Tais operações podem gerar erros, cuja magnitude supera o sobremetal projetado, causando erros de forma no produto acabado, que não podem ser corrigidos, devido à falta de sobremetal, pela retificação.
- Colisões entre a ferramenta de corte e a máquina resultam freqüentemente em acidentes graves oferecendo perigo ao operador. A colisão pode provocar a ruptura do rebolo e estragos na máquina e seus acessórios, gerando custos altos.
- As fontes de calor geradas em uma operação de retificação provocam normalmente aquecimento na estrutura da máquina ou na peça afetando as dimensões finais do produto.
- As vibrações em processos de retificação podem gerar irregularidades na peça, comprometendo sua forma geométrica e o seu acabamento superficial. Essas vibrações podem ser causadas por desbalanceamentos do rebolo e da peça ou uma instabilidade dinâmica entre o rebolo e a peça.
- No caso de uma operação de retificação, onde a peça é fixada entre pontas, um erro em um dos furos de centro desta peça, como por exemplo

se um furo for mais profundo que o outro, pode causar colisões entre o rebolo e alguma face da peça.

- A refrigeração na operação de retificação deve eliminar o excesso de calor, caso isso não ocorra, esse calor é conduzido para a peça, surgindo queimas ou microtrincas.
- Outro problema na retificação é quando o rebolo perde a afiação e empasta junto com o material retirado da peça, isso faz com que a quantidade de calor aumente e erros dimensionais sejam aumentados.
- A retificação é por definição um processo de acabamento, por isso as dimensões finais da peça devem apresentar uma rugosidade baixa. A granulometria do abrasivo utilizado no rebolo e o seu estado de afiação, balanceamento, rigidez da máquina e vibrações influem nas condições da rugosidade. Se a peça estiver com a rugosidade fora do padrão desejado, isso implicará na sua perda.

Portanto, todos os itens acima citados são dificuldades que ocorrem em uma operação de retificação na interação entre a peça e o rebolo.

2.2.3 Problemas no rebolo

O estado do rebolo influi muito no acabamento da peça em uma operação de retificação. Os problemas que ocorrem com o rebolo são citados abaixo:

- O desbalanceamento do rebolo provoca irregularidades na peça. Um rebolo desbalanceado provoca vibrações na retificadora que se projetam na peça. O desgaste irregular do rebolo durante a usinagem e as vibrações já existentes na máquina geram seu desbalanceamento. O balanceamento do rebolo é feito por um operador através de uma compensação de pesos, ou por um sistema automático de balanceamento na própria máquina.
- A agressividade do rebolo está relacionada com sua afiação. Um rebolo que perde a afiação pode gerar calor excessivo e conseqüentemente queimar a peça.
- Em um processo de retificação o perfil do rebolo é transmitido para a peça, portanto se o rebolo estiver irregular as dimensões da peça também estarão irregulares. A afiação do rebolo corrige esse defeito e é feita por um operador experiente que “escuta o som da operação e sente” a necessidade de repetição da dressagem.

2.3 Problemas de dressagem

A dressagem é uma operação de extrema importância no processo de retificação. Consiste na afiação e correção do perfil da ferramenta de corte. Porém uma dressagem desnecessária implica em um desgaste maior do rebolo, influenciando no custo e conseqüentemente no tempo de produção. Por isso há necessidade de um sistema de monitoramento para essa operação.

Para que uma dressagem seja processada de forma correta, é necessária a determinação do contato entre o rebolo e o dressador, evitando riscos de colisão. Esse contato é normalmente estabelecido manualmente.

No início de um processo de retificação, já é necessário referenciar o rebolo e o dressador, para que não haja riscos de colisão entre eles provocando a quebra do diamante.

A dressagem é uma operação que exige muita paciência e atenção do operador, pois em certos casos, se o perfil do rebolo não estiver correto, uma dressagem não é suficiente, sendo necessária a sua repetição.

Outras dificuldades na operação de dressagem em relação ao desgaste do dressador são:

- a razão entre a largura de um dressador bd e o passo de dressagem sd que define o grau de recobrimento Ud que varia com o desgaste do dressador.
- um dressador desgastado pode diminuir a agressividade do rebolo. Um rebolo menos agressivo provoca aumento nas forças de corte e isso faz com que as deformações do sistema aumentem e ocorram variações dimensionais ou queima na peça.

Como o dressador é uma ferramenta frágil é necessário que este esteja bem fixado em seu suporte, só o desbalanceamento e as vibrações de uma retificadora podem até danificar o dressador.

2.4 Sistemas de Monitoramento

Como já foi citado, o sistema de monitoramento é muito importante, pois pode fornecer um controle dos problemas que ocorrem na retificação relacionados ao ciclo de trabalho. Por isso há necessidade de uma análise e com a finalidade de identificar o problema a ser monitorado, para então determinar o método de monitoramento a ser utilizado.

Na determinação dos métodos de monitoramento destacam-se as análises dos sinais de emissão acústica que serão citadas na descrição do tratamento do sinal. Estas análises permitem verificar a possibilidade de se monitorar problemas ocorridos na operação de retificação e na dressagem do rebolo.

2.4.1 Conceito de Emissão Acústica

Segundo Liptai et al. (1972) e Diniz (1992), a emissão acústica pode ser entendida como sendo ondas de tensão geradas por atuações dinâmicas sobre os materiais.

Blum e Dornfeld (1990) afirmam que quando o material é submetido a um estímulo externo qualquer como a formação do cavaco, o atrito entre a ferramenta e a peça ou mesmo um simples contato, ocorre a deformação e o rearranjo da sua estrutura cristalina. Isso libera uma quantidade de energia suficiente para produzir ondas de tensão que provocam mais deslocamentos sobre a superfície do material.

2.4.2 Uso da E.A. na Retificação

A E.A. vem sendo muito utilizada na operação de retificação, monitorando os parâmetros que afetam a operação como: desgaste da superfície de corte do rebolo e sua dressagem, detecção do contato entre o rebolo e a peça, tempo de acabamento da peça e contato entre dressador e rebolo. Esse contato entre dressador e rebolo é muito importante pois define as condições do perfil do rebolo.

2.4.3 Tratamento do sinal

De acordo com Felipe (1996), o sinal que é obtido pelo sensor necessita de um tratamento, pois dependendo do tipo de sensor que é utilizado ou da máquina utilizada, o sinal gerado pode conter ruídos e estes são eliminados ou minimizados através de algumas formas de tratamento:

- ❖ **Filtragem:** extrai a característica física do sinal através de filtros de frequência.

- ❖ **Retificação do sinal:** transforma o sinal alternado para um sinal positivo, onde os valores negativos são rebatidos para positivos em relação ao valor nulo.

- ❖ **RMS:** é um tratamento muito utilizado na E.A., consiste em retificar o sinal e calcular a média quadrática em intervalos de tempo determinados. A figura 2.1 ilustra o processo de filtragem RMS aplicado ao sinal bruto de E.A. segundo Blum e Dornfeld (1990).

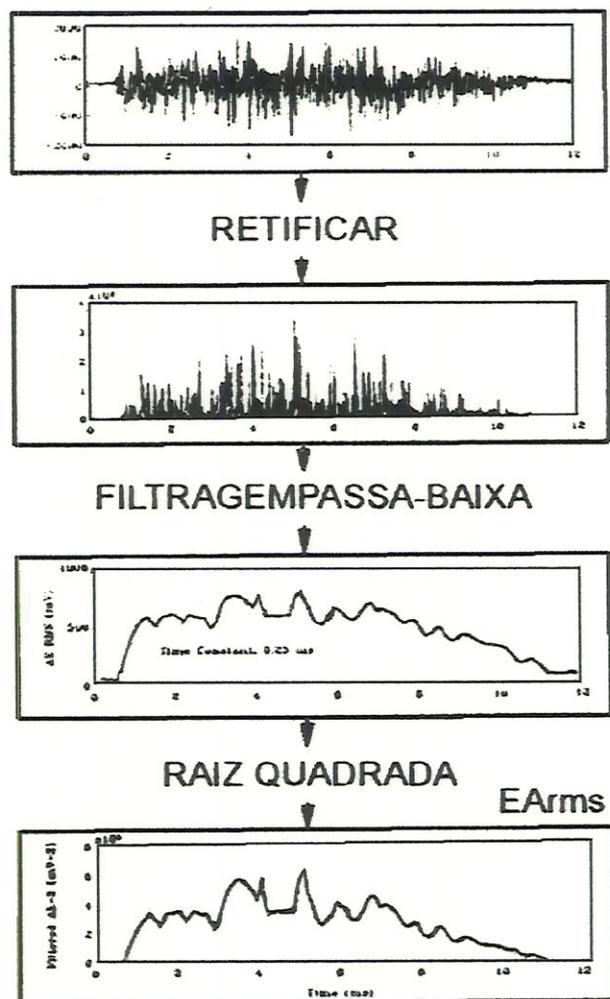


Fig. 2.1 - Processo de filtragem RMS aplicado ao sinal bruto de E.A.

- ❖ **FFT (Transformada Rápida de Fourier):** analisa a frequência do sinal, mostrando qual seria o campo de frequência que se deseja monitorar.

- ❖ **Média e Desvio Padrão:** determina o valor médio do sinal medido, relacionado a amplitude da distribuição, a simetria e sua forma. A medida de dispersão é chamada de variância e a raiz quadrada da variância é o desvio padrão.

Após o tratamento, o sinal deve ser avaliado afim de emitir as informações.

As técnicas de obtenção destas informações são descritas a seguir:

- ◆ **janela de limite estático**

É estabelecido um limite padrão do sinal e em um intervalo de tempo fixo é feita a análise do sinal mostrando se este está fora do limite.

- ◆ **janela de limite dinâmico**

É estabelecida uma faixa de tolerância para a variação típica do sinal. Analisando o desvio padrão de sinais típicos obtém-se a faixa de variação. Um novo sinal é testado verificando se este está fora da faixa.

- ◆ **redes neurais**

Utilizam multisensores para definir o comportamento do processo, possibilitando a associação de um estado de conjunto das variáveis com um fenômeno a ser monitorado.

◆ **multijanelas**

Utiliza diversos sensores analisando vários fenômenos simultaneamente e a partir destes fenômenos é montada uma tabela de decisões para estudar o que deve ser feito em cada caso.

2.5 Tipos de Dressadores

Segundo Marinelli (1997), dressadores são ferramentas utilizadas em operações de dressagem de rebolos, e são classificados em dois grupos: estáticos e rotativos.

Os dressadores estáticos efetuam movimentos de translação em relação ao eixo do rebole durante a dressagem, enquanto que os dressadores rotativos possuem movimento de rotação quando em contato com o rebole, além do possível movimento de translação em relação ao seu eixo.

Os dressadores estáticos são classificados da seguinte forma: ponta única, tipo placa e multigranular.

2.5.1 Dressadores de ponta única

Conforme Wills (1941), os dressadores de ponta única são constituídos por diamante, haste e material de preenchimento como mostra a fig 2.2, Marinelli (1997). O diamante natural é o elemento fundamental neste tipo de dressador, pois é utilizado na retirada de material na superfície de corte do rebole.

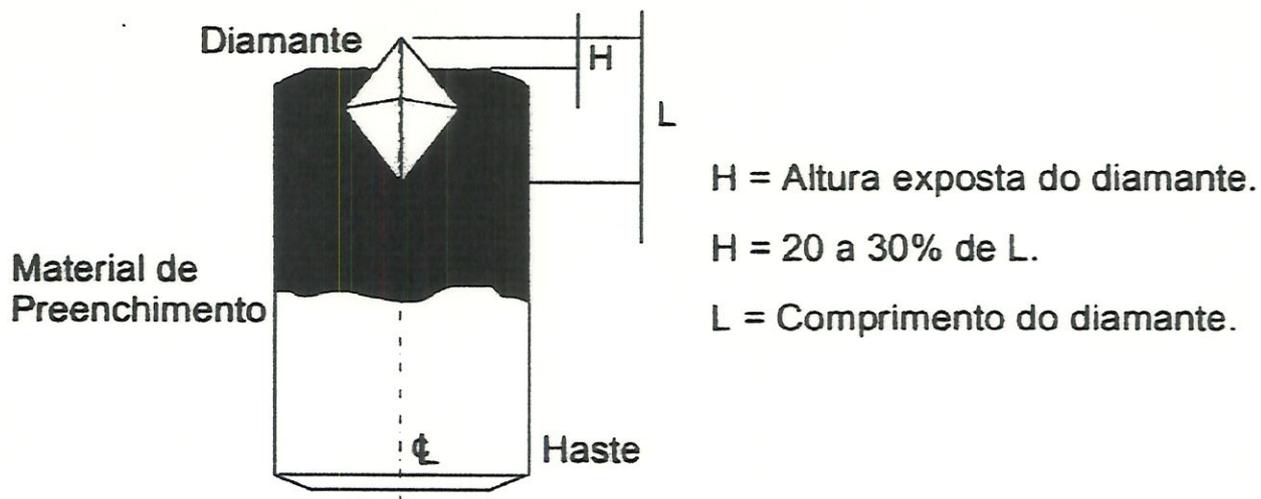


Fig. 2.2 - Dressadores de ponta única

2.5.2 Dressadores tipo placa e multigranular

Esses dressadores têm como objetivo solucionar problemas relacionados aos dressadores de ponta única como o aumento da área de contato entre dressador/rebolo devido ao desgaste do dressador de ponta única e a fragilidade que este dressador apresenta devido a choques e excesso de temperatura.

Os dressadores tipo placa são ferramentas muito utilizadas no mercado, constituídos por grãos de diamante maiores, posicionados em linha. São conhecidos por "FLIESE", que é uma marca registrada de um fabricante de ferramentas de diamante.

Os dressadores multigranulares têm grãos de diamante menores que são dispersos em uma liga metálica sinterizada, sendo estes resistentes às vibrações e às altas temperaturas.

Como há variações na forma e no tamanho dos diamantes utilizados, surgiu um outro tipo de dressador que utiliza diamantes de mesma forma e tamanho, solucionando problemas como geometria e posicionamento dos diamantes e redução do desgaste do dressador aumentando o número de diamantes e a área de contato. Esse tipo de dressador é definido como dressador de perfil de atuação constante.

Em uma operação de dressagem a escolha do tamanho do diamante depende de alguns fatores como diâmetro do rebolo, a largura do rebolo, tamanho dos grãos abrasivos, abertura do rebolo, tipo de ligante e tipo de grão abrasivo.

2.6 E.A. na dressagem de rebolos

Na operação de dressagem o monitoramento é utilizado para que o dressador não permaneça em movimentos sucessivos de translação sem contato com o rebolo com o objetivo de detectar o contato do dressador com o rebolo. Quando esse contato é detectado o rebolo é dressado. A operação de dressagem só pode ser considerada completa quando o dressador apresentar contato contínuo em toda superfície de corte do rebolo; ou seja, sem detecção de irregularidades na sua superfície. Para tornar a operação de dressagem mais eficiente, este procedimento deve ser realizado automaticamente.

Como o desgaste irregular da superfície de corte do rebolo altera seu perfil, é vantajosa a utilização da E.A. para avaliar a uniformidade na dressagem.

Segundo Inasaki (1985), a E.A. mostra que quando há um desgaste irregular na superfície de corte do rebolo, na parte onde o desgaste foi maior, durante a dressagem o sinal gerado apresenta menor intensidade, e a parte onde

o desgaste foi menor o sinal aparece mais intenso. Porém outros estudos mostram que a alteração da dureza do rebolo provoca uma variação na intensidade do sinal de E.A. durante a dressagem. De qualquer forma o monitoramento através da E.A. em operações de dressagem dos rebolos está sendo cada vez mais solicitado pois as dificuldades são muitas.

2.6.1 Correlação entre a E.A. e a dureza de rebolos

A dureza de um rebolo tem grande influência sobre a vida útil deste. A escolha da dureza de um rebolo é de fundamental importância em uma operação de retificação.

Rebolos com maior grau de dureza retêm o grão abrasivo na sua superfície de corte e o grão vai se desgastando e, conseqüentemente, perdendo a capacidade de remoção.

Rebolos com menor grau de dureza, a medida que se desgastam elevam as forças de corte e os grãos são arrancados da superfície de corte do rebolo, possibilitando o surgimento de novos grãos num processo de "auto-afiação", fazendo com que ocorra perda do perfil do rebolo diminuindo sua vida útil.

Em uma operação de retificação de precisão geralmente usam-se rebolos com maior grau de dureza, mesmo o material sendo duro, pois é necessário que o perfil do rebolo seja mantido. Rebolos que possuem maior dureza e dressadores desgastados apresentam sinal de E.A. mais intenso durante a operação de dressagem.

Assim a E.A., através da intensidade do sinal durante a dressagem, pode fornecer informações sobre a dureza de um rebolo ou sua variação ao longo da



dressagem. Para isso é importante garantir primeiro que a profundidade da dressagem está bem controlada.

2.6.2 Correlação entre a E.A. e parâmetros de dressagem

Segundo Kluft (1994), o processo de monitoramento por E.A. melhora o desempenho da dressagem, economizando tempo e custo. Este tipo de monitoramento também foi utilizado para avaliar seu potencial para detectar o contato entre o dressador e o rebolo durante o ciclo de aproximação e para prevenir colisões. Neste caso, foram estabelecidos alguns limites para serem utilizados como referência durante o processo. Estes limites estão relacionados ao sinal normal no valor de 100% do que é obtido na dressagem de um rebolo em bom estado (ou recém dressado). Um sinal de E.A. inferior ao limite inferior é utilizado para a detectar o contato entre o dressador e o rebolo. Sinais de E.A. acima do limite superior são utilizados para prevenir colisões. A figura 2.3, segundo Kluft (1994), ilustra os limites e janelas utilizados no monitoramento.

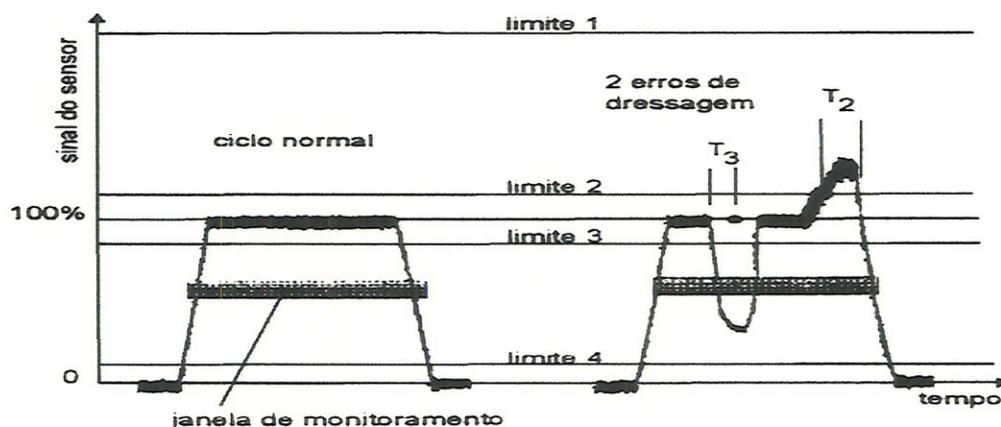


Fig. 2.3 - Janelas e limites de monitoramento da dressagem (Kluft, 1994)

Esse estudo, a partir do limite normal de retificação, mostrou que é possível avaliar através do sinal de E.A. uma colisão entre o dressador e o rebolo e a ação de uma sobrecarga no dressador e falhas na dressagem devido ao desgaste irregular do rebolo.

Em 1993, König e Klumpem avaliaram a profundidade de dressagem através da E.A.. Essa avaliação estabeleceu níveis de intensidade do sinal de E.A. para a profundidade de dressagem desejada. Se a profundidade de dressagem utilizada não for compatível com o padrão do sinal esperado, ocorre a identificação de dressagem incorreta.

Inasaki (1985) avaliou o sinal de E.A. na dressagem relacionando os parâmetros de dressagem, profundidade (ad) e o passo de dressagem (sd). Essa avaliação mostra que com o aumento da profundidade e do passo de dressagem, há um crescimento da amplitude dos sinais de Emissão Acústica como mostra a figura 2.4.

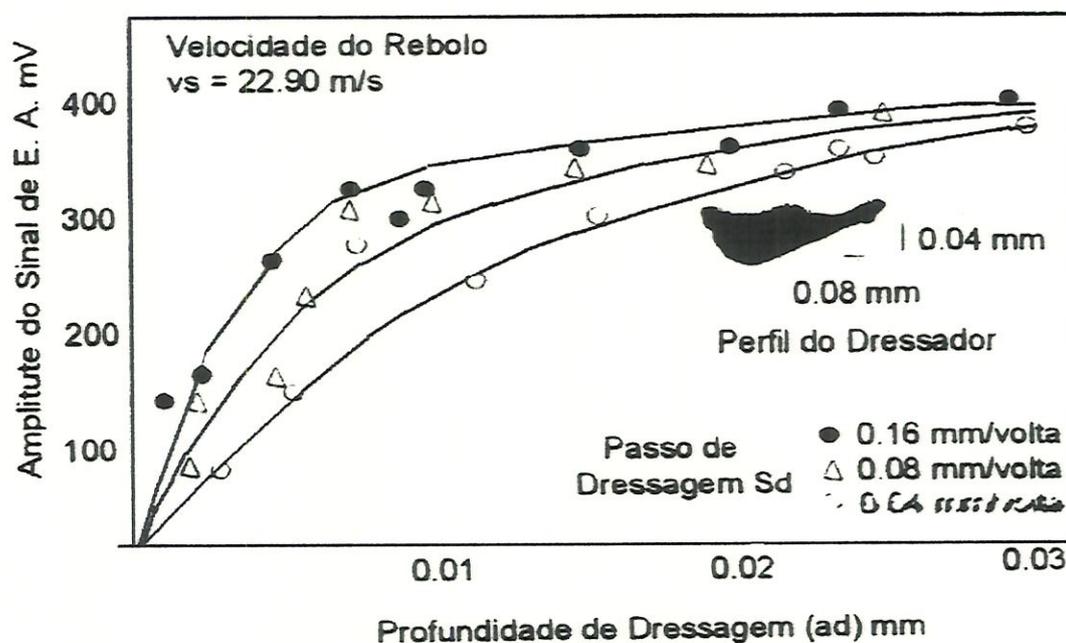


Figura 2.4 - Influência dos parâmetros de dressagem na E.A. (Inasaki,1985)

Porém o aumento da profundidade e do passo de dressagem provocam menores valores de potência de usinagem (durante a retificação) devido ao macro e micro-efeito de dressagem (Oliveira, 88), podendo proporcionar um pior acabamento da superfície usinada como mostra a figura 2.5.

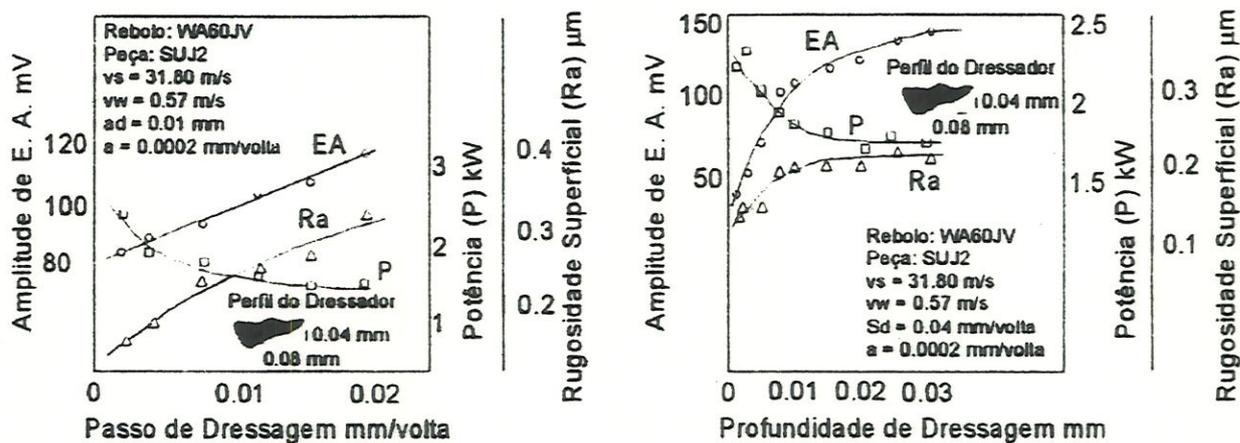


Figura 2.5 - Influência do passo e da profundidade de dressagem no desempenho das operações de retificação (Inasaki, 1985)

A figura 2.6, retirada do trabalho de Marinelli (1997) mostra quantitativamente os resultados do Macro e Microefeitos de dressagem em dois rebolos de granulometrias diferentes, segundo Oliveira (1992).

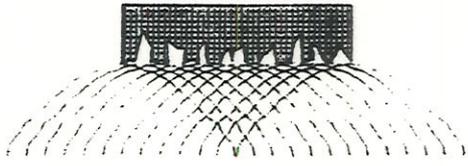
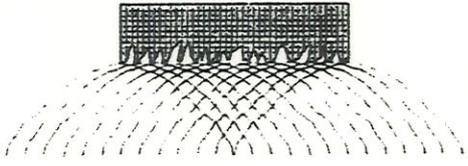
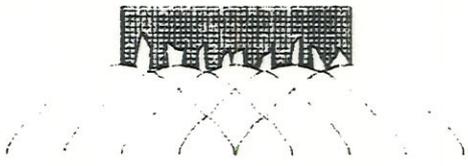
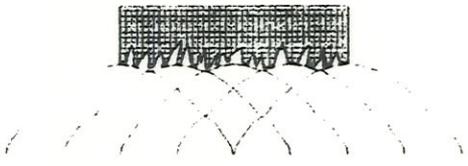
Granulometria Grossa	Granulometria Fina	
 <p>Microefeito Agressivo</p>	 <p>Microefeito Pouco Agressivo</p>	Sd pequeno ad pequeno
 <p>Microefeito Agressivo Macroefeito Agressivo</p>	 <p>Microefeito Pouco Agressivo e Macroefeito</p>	Sd grande ad grande

Fig. 2.6 - Macro e Microefeitos produzidos pelo mecanismo de dressagem

König e Meyen, (1990) concluíram que, em alguns casos, após uma operação de retificação, o perfil do rebole apresentava falhas na superfície como abaulamento e concavidade. Essas falhas são corrigidas através da dressagem onde o número de passadas do dressador é o menor possível para não haver desgaste do rebole. A figura 2.7 mostra um rebole com perfil uniforme e o sinal de E. A. na dressagem deste rebole (a) e um rebole com perfil irregular e seu respectivo sinal de E. A. na dressagem (b).

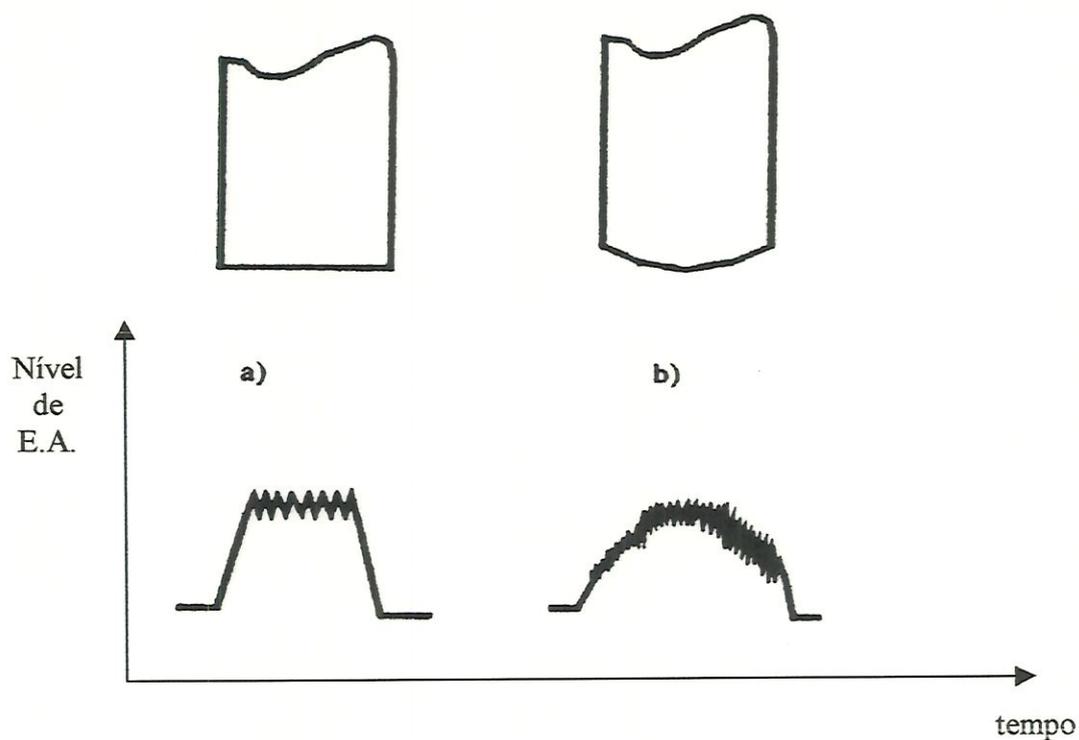


Figura 2.7 - Representação de sinais de E. A. na dressagem de rebolos com perfil (a) uniforme e (b) irregular (Inasaki, 1985)

Este estudo propôs a avaliar o sinal de E.A. durante a passagem do dressador, ou seja, corrigir o defeito (irregularidade) da superfície de corte do rebolo através do sinal.

Se o sinal for constante a falha foi corrigida, porém se o rebolo apresentar uma irregularidade no seu perfil, como um desgaste acentuado, aparecerá um corte no sinal. Se for um perfil abaulado, o sinal é mais intenso no meio e se for um perfil côncavo o sinal é menos intenso no meio.

2.7 Conclusão da revisão bibliográfica

A avaliação do sinal emissão acústica no sistema de monitoramento para dressagem tem sido muito desenvolvida ultimamente.

Em operações de dressagem, o monitoramento pode prolongar a vida útil do rebolo, pois através dos sinais limites (a partir do sinal em processo), é possível minimizar o número de passes de dressagem. Porém a E.A. identifica o desgaste do rebolo na direção axial. Falhas perimetrais produzem variações de sinal muito rápidas que seriam difíceis de serem captadas por este tipo de análise.

Portanto, não existem tecnologias disponíveis para avaliar falhas de dressagem localizadas perimetralmente. Este tipo de falhas podem ser causadas por desbalanceamentos do rebolo, por defeitos de fabricação do mesmo, ou ainda por acidentes na sua utilização.

3. METODOLOGIA

A maioria dos métodos de controle utilizados na correção do perfil da superfície de corte do rebolo, mostra que as falhas são detectadas na direção axial da superfície.

Propõe-se nesse trabalho, durante a operação de dressagem, desenvolver um sistema que detecta falhas em toda extensão perimetral da superfície de corte do rebolo. Para que esse método fosse confiável, foram feitas falhas propositalmente em alguns locais na superfície de corte do rebolo. Durante a operação de dressagem através do sinal de E.A. captado, foi feita uma avaliação na superfície de corte do rebolo, identificando em determinadas regiões as falhas que ocorreram.

Esse método desenvolvido é de extrema importância, pois proporciona uma economia de tempo, porque pode determinar o número certo de dressagens que a superfície de corte do rebolo necessita. Também economiza custos, devido a um desgaste menor do rebolo e conseqüentemente pode haver um aumento da produção, pois o tempo da dressagem é reduzido.

Portanto através do método desenvolvido, a dressagem se torna mais precisa transmitindo a qualidade desejada para as peças produzidas.

Com o desenvolvimento deste método pode ser feita uma análise na superfície de corte do rebolo onde são detectadas outras características topográficas, como regiões com maior densidade que representam as irregularidades da ferramenta.

Esse sistema auxilia na identificação precisa da forma do desgaste do rebolo, tornando mais fácil o seu entendimento e o estabelecimento de ações para a sua melhoria.

A metodologia a ser utilizada para o desenvolvimento desta pesquisa será dividida em partes, a saber:

- 1) Desenvolvimento de banco de ensaios em uma retificadora cilíndrica CNC.
- 2) Determinação de valores de constante de tempo para o cálculo do nível RMS visando a geração do mapa da superfície do rebolo e determinação das características do sistema de aquisição de dados.
- 3) Desenvolvimento de software para aquisição de dados e geração do mapa.
- 4) Testes experimentais do sistema com falhas produzidas na superfície do rebolo.
- 5) Testes experimentais com falhas produzidas por desgaste do rebolo.
- 6) Testes experimentais com falhas produzidas por desbalanceamento na dressagem.

A seguir são descritas estas etapas.

4. DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA

O procedimento experimental desta dissertação, apresenta banco de ensaios, equipamentos utilizados e condições testadas.

4.1 Descrição do banco de ensaios

A figura 4.1 mostra esquematicamente o banco de ensaios.

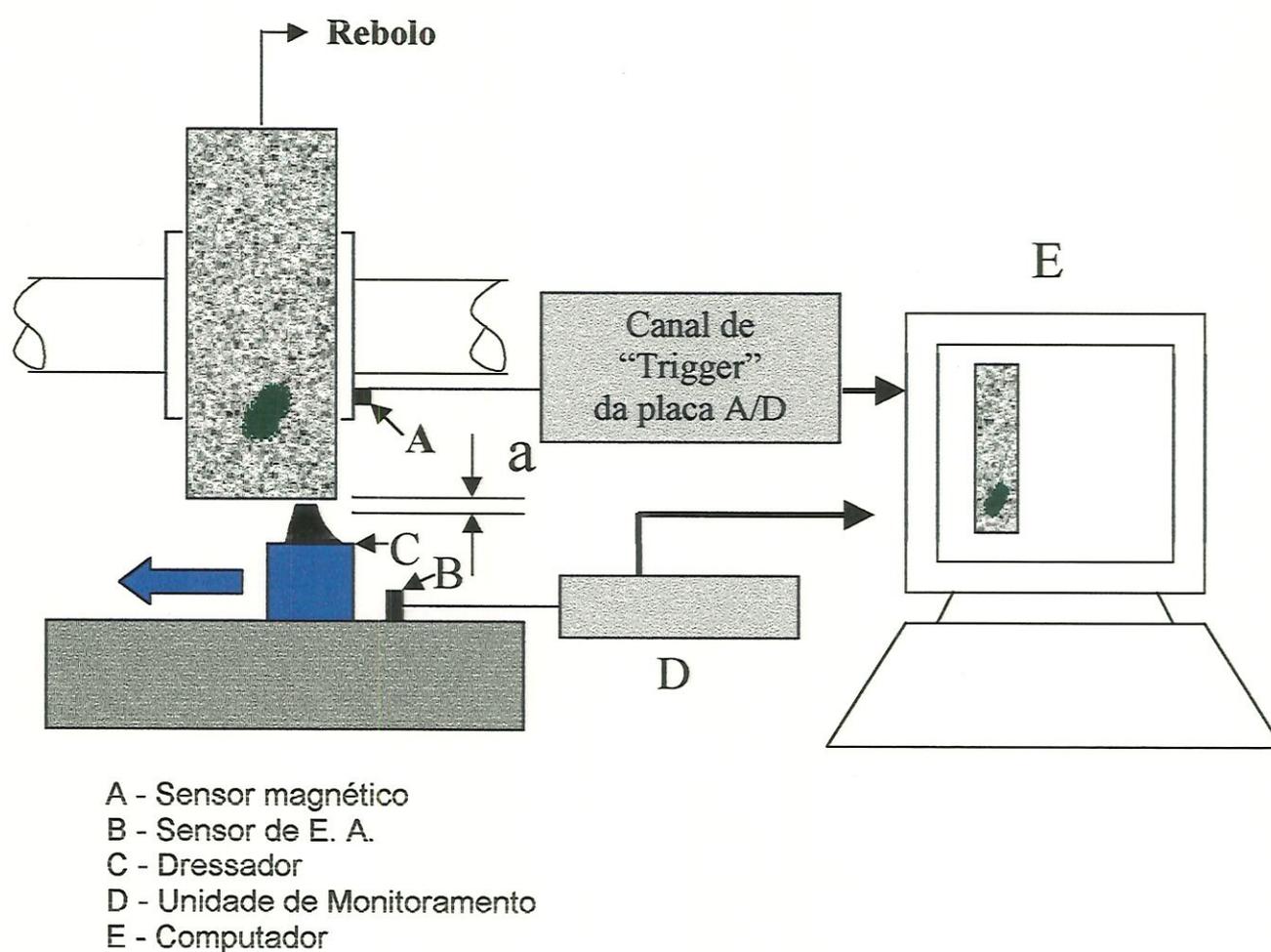


Figura 4.1 - Banco de Ensaios para aquisição dos dados

4.1.1 Banco de dados

A máquina utilizada nas experimentações é uma retificadora cilíndrica externa ZEMA G800, com CNC, adaptada para trabalhar com sinal de E.A..

O sistema desenvolvido, utilizou uma placa de aquisição de dados e dois sensores. Um sensor utilizado é de proximidade e o outro é de emissão acústica.

A placa de aquisição tem uma velocidade máxima de amostragem de 5MS/s e utiliza 2 canais para a obtenção dos dados dos sensores de proximidade e emissão acústica.

O sensor de proximidade apresenta em sua face sensora uma bobina ressonante. Este sensor funciona através de um campo eletromagnético de alta frequência e é utilizado como "trigger". A bobina faz parte de um circuito oscilador que gera um sinal senoidal. Quando um metal se aproxima do campo eletromagnético por correntes na superfície, acontece uma absorção da energia do campo, diminuindo a amplitude do sinal gerado no oscilador. A variação da amplitude deste sinal é convertida para uma variação contínua, onde esta é comparada com um valor de variação de sinal padrão passando a atuar no estágio de saída.

Este sensor de proximidade foi ligado próximo à flange da retífica onde foi fixada uma pequena peça de metal. A tensão utilizada foi de 10 volts de tal forma que placa de aquisição de dados possa receber um sinal de mesma intensidade, toda vez que a pequena peça passa pelo sensor, dando início ao armazenamento dos sinais de emissão acústica.

Durante a operação de dressagem, o sensor de emissão acústica trabalha em uma faixa de frequência de 100 a 500 KHz captando os ruídos emitidos pelo dressador e transformando os ruídos em impulsos elétricos que são adquiridos pela placa de aquisição de dados. Os dados são captados a medida que a placa recebe o sinal do sensor de proximidade. Os dados obtidos são plotados em um gráfico 3D, sincronizado com a posição angular do rebolo, que dará a representação da sua superfície de corte.

A fig. 4.2 mostra o esquema do sensor de emissão acústica e a fig. 4.3 mostra a disposição dos sensores de emissão acústica e proximidade na retifica.

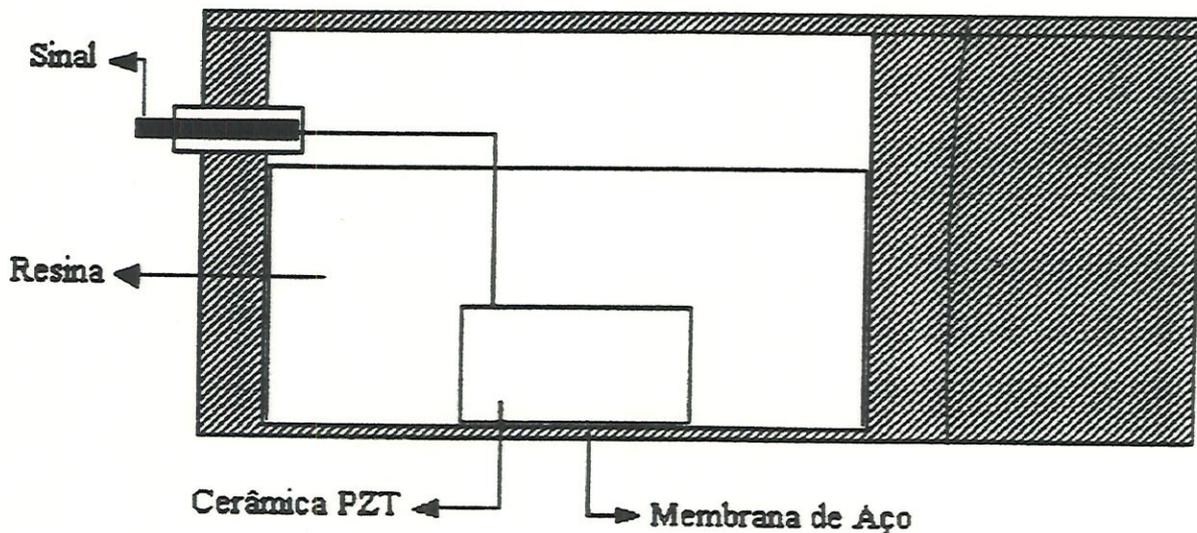


Fig. 4.2 - Representação Esquemática do sensor de E.A.

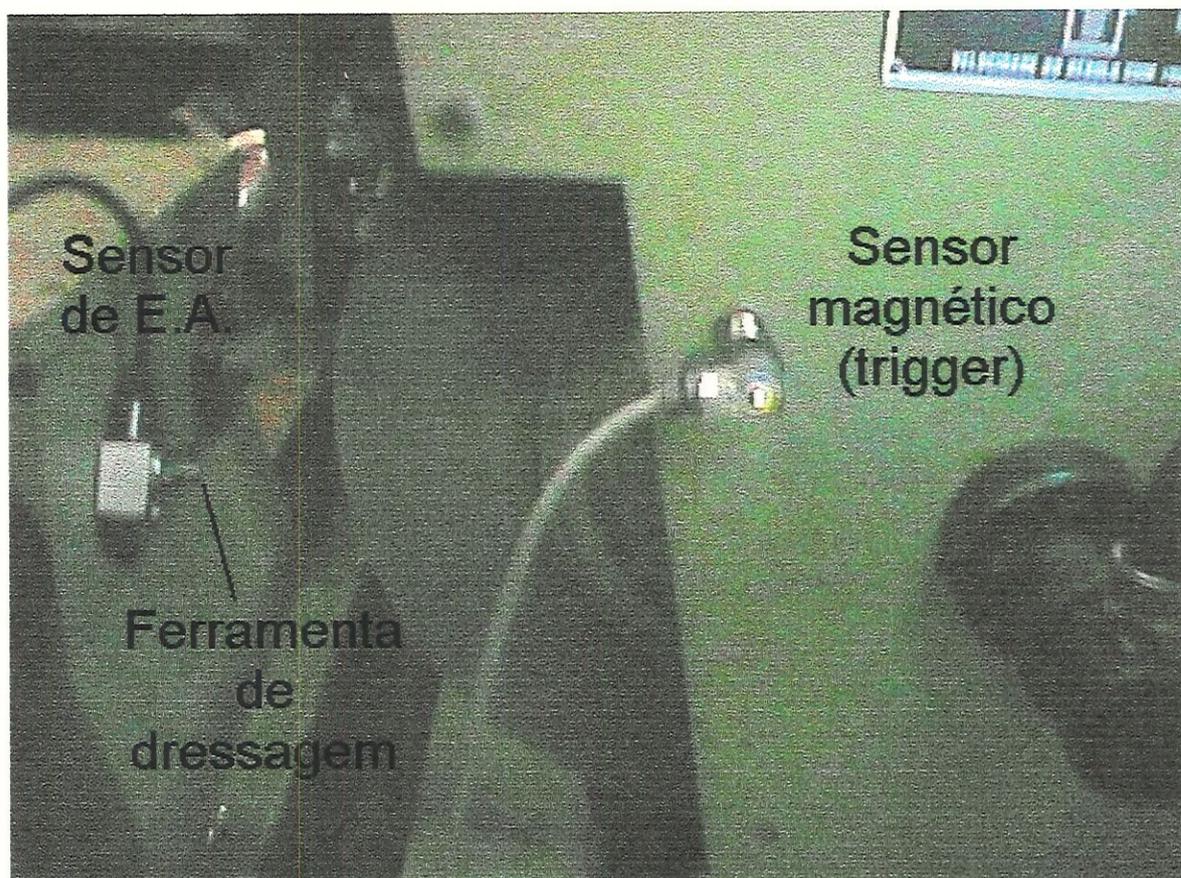


Fig. 4.3 - Disposição dos sensores de E.A. e proximidade

4.1.2 Determinação de características do sinal

Neste item são determinados os valores das constantes de tempo para o cálculo do nível RMS e são determinadas também as características do sistema de aquisição de dados. O desenho à seguir mostra a disposição do sensor de emissão acústica, do diamante de dressagem e da superfície de um rebolo. Para o cálculo da constante de tempo são utilizados a velocidade do rebolo e a distância entre dois grãos do rebolo. O cálculo também é demonstrado à seguir.

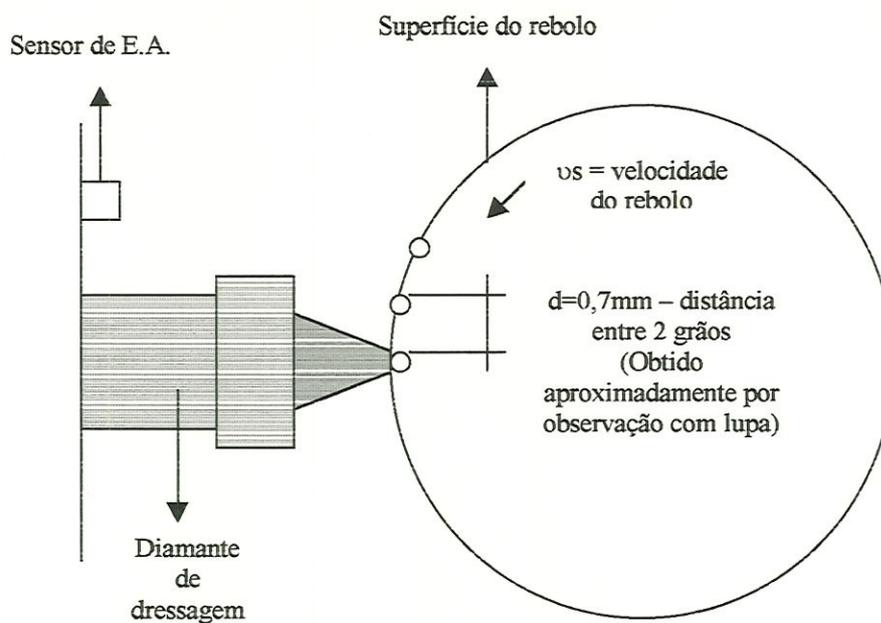


Figura 4.4 - Características do fenômeno a ser monitorado

Velocidades do rebolo utilizadas:

$$v_{s1} = 22\text{m/s}$$

$$v_{s2} = 45\text{m/s}$$

$$d = 0,7\text{mm}$$

$$D_s = 470 \text{ mm}$$

O tempo entre a passagem de 2 grãos pelo dressador pode ser calculado pela relação:

$$T_{2g} = \frac{d}{v_s}$$

Para $v_{s1} = 22\text{m/s}$:

$$T_{2g} = \frac{0,0007}{22} = 31,8\mu\text{s}$$

Portanto, este é o sistema de E.A. que deve ser ajustado para uma constante de tempo de $31,8\mu\text{s}$ no cálculo do RMS. Desta forma, estará apto à ter sensibilidade dinâmica para captar a emissão acústica decorrente da colisão de cada grão abrasivo com o dressador.

Caso seja utilizada a velocidade de retificação de 45m/s , tem-se:

$$T_{2g} = \frac{0,0007}{45} = 15,4\mu\text{s}$$

Para a determinação das características do sistema de aquisição de dados, tem-se que garantir a leitura de amostras ao longo de todo o perímetro do rebolo.

Estabeleceu-se, em função das limitações na resolução do monitor e também do desempenho do programa de aquisição, uma leitura de 2048 pontos por volta do rebolo. O tempo de uma volta do rebolo pode ser obtido pela relação entre a velocidade de corte e o perímetro do rebolo:

$$v_s = \frac{\text{Perímetro do rebolo}}{T_{1volta}} \Rightarrow T_{1volta} = \frac{\pi \times 470}{v_s}$$

Para $v_{s1} = 22\text{m/s} \rightarrow 22.000\text{mm/s}$, tem-se:

$$T_{1\text{volta}} = \frac{\pi \times 470}{22.000} = 67,7\text{ms}$$

Para $v_{s2} = 45\text{m/s} \rightarrow 45.000\text{mm/s}$, tem-se:

$$T_{1\text{volta}} = \frac{\pi \times 470}{45.000} = 32,8\text{ms}$$

Para se obter uma leitura de 2000 pontos por volta do reboło, deve-se usar uma freqüência de aquisição de:

$$\text{Freqüência de aquisição} = \frac{n. \text{ pontos}}{T_{1\text{volta}}}$$

Portanto:

$$\text{Freqüência de aquisição } (v_{s1}) = \frac{2048}{0,0677} = 30251 \text{ amostras/s}$$

e

$$\text{Freqüência de aquisição } (v_{s2}) = \frac{2048}{0,0328} = 62439 \text{ amostras/s}$$

Foram adotados então as taxas de amostragem de 30Kamostras/s e 60Kamostras/s respectivamente para as velocidades de rebolo de 22m/s e 45m/s. Desta forma a figura obtida apresenta uma pequena sobreposição na leitura do sinal ao longo do perímetro do rebolo, evitando que os dados de alguma região não seja adquirida. Com estes valores obtém-se também uma compatibilidade com as constantes de tempo adotadas no cálculo RMS, o que significa que a taxa de aquisição escolhida corresponde a aproximadamente 1 leitura por cada grão abrasivo no perímetro do rebolo.

4.1.3 Descrição do software

Durante a operação de dressagem a aquisição do sinal de emissão acústica é feita utilizando um microcomputador ligado a uma saída do sistema de monitoramento. O sinal é armazenado com o auxílio do software Labview da “National Instruments” – “N.I.”, que permite a simulação de instrumentos para a aquisição de dados através da montagem de circuitos chamados instrumentos virtuais (“Virtual Instrument” – “V.I.”).

A fig. 4.6 mostra o painel central da unidade de monitoramento utilizada, onde é possível observar o nível do sinal através de 1 barra luminosa.



Fig. 4.5 - Painel frontal da unidade de monitoramento

Para esse método através do Labview foi desenvolvida uma ferramenta virtual que utiliza como disparo ("trigger") o sensor de proximidade e permite a aquisição dos dados sincronizados do sensor de emissão acústica em relação à posição angular do rebolo. A figura 4.7 mostra o diagrama da ferramenta virtual desenvolvida.

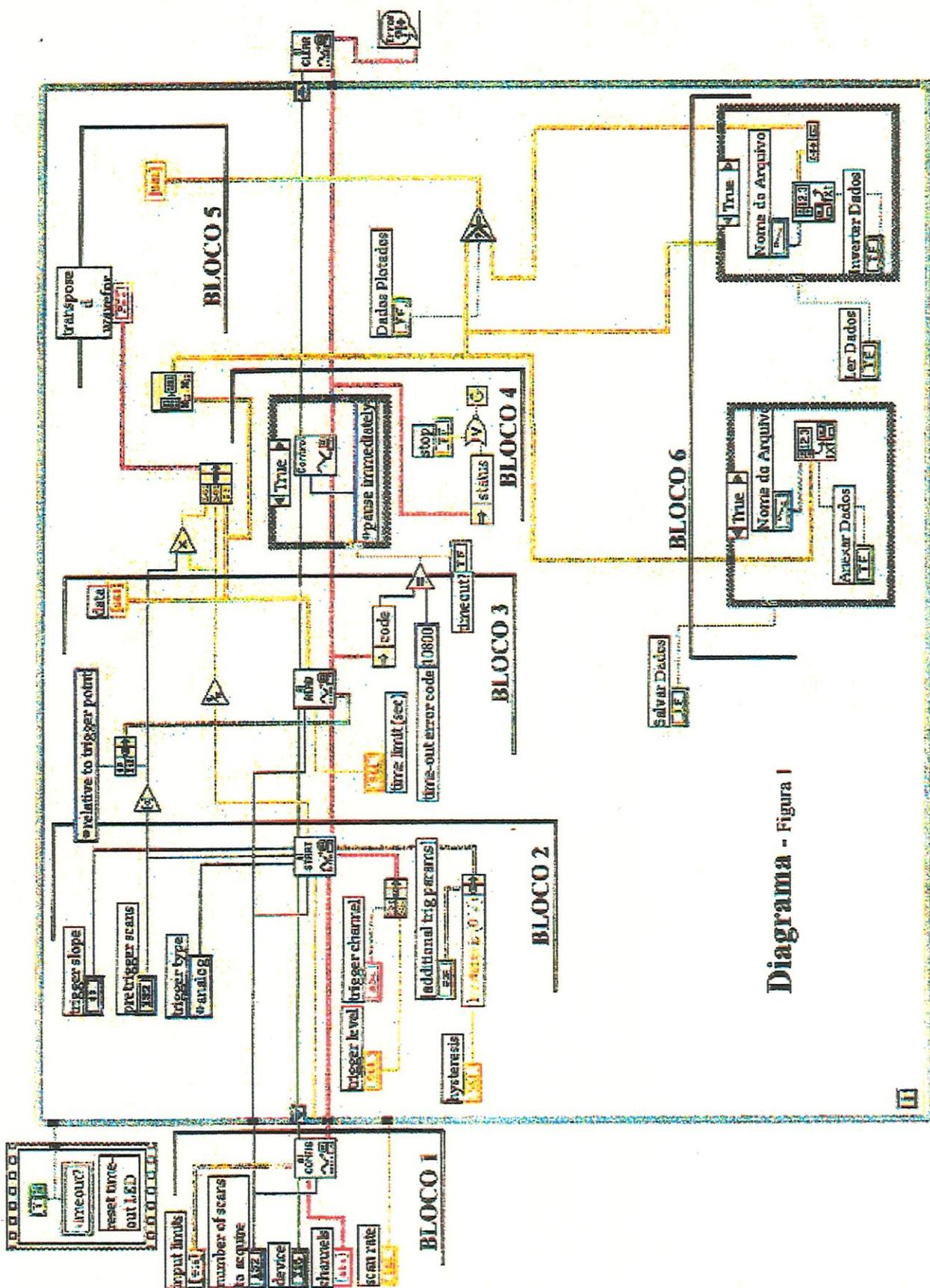


Diagrama - Figura 1

Nesta figura verifica-se um diagrama dividido em blocos.

- **No BLOCO 1:** são definidas as variáveis de controle da aquisição de dados onde são configurados o canal, a taxa e o número de pontos para cada aquisição a serem feitos.
- **No BLOCO 2:** são definidas as variáveis necessárias para a configuração e o controle do “trigger”, como canal utilizado, tipo de “trigger” (digital ou analógico), “pré-trigger”, tensão de referência que determina o disparo, tipo de sinal (crescente ou decrescente). E são definidas as variáveis que controlam as possíveis perdas por histerese, sendo que todas estas estão ligadas a sub-VI AI START.
- **No BLOCO 3:** é observada a sub-VI AI READ responsável pela leitura dos dados onde estão ligadas algumas variáveis de controle de trigger, aquisição e limite de tempo.
- **No BLOCO 4:** é feito um controle de tempo, ou seja , se após um determinado limite de tempo nenhum dado foi adquirido, o processo é interrompido.
- **No BLOCO 5:** são plotados os dados adquiridos em dois gráficos: o primeiro(2D) mostra a intensidade do sinal de emissão acústica pelo tempo em cada volta do rebolo e no segundo (3D) mostra a superfície perimetral da superfície de corte do rebolo pela largura da mesma,

sendo que a intensidade do sinal de emissão acústica é dada pela escala de cores.

- O BLOCO 6 mostra a estrutura responsável pela gravação e leitura dos dados adquiridos em arquivo texto.

A figura 4.8 mostra o Painel com o controle da ferramenta virtual, as variáveis de aquisição, trigger, gravação e leitura de arquivos. Os gráficos podem ser alterados no tamanho ou escala em que serão plotados.

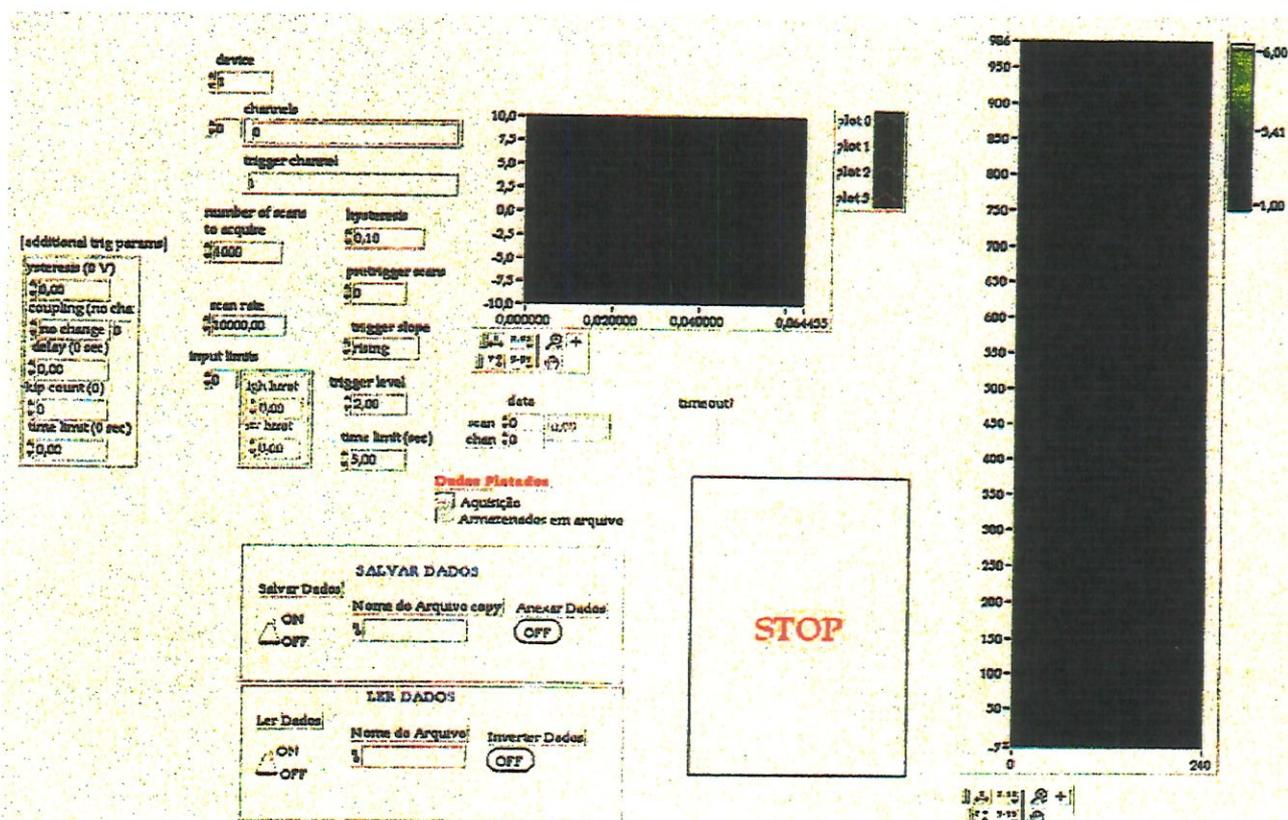


Fig. 4.7 - Painel Central com controle da ferramenta virtual

A figura 4.8 mostra uma visão geral do sistema que foi utilizado na experimentação.



Fig. 4.8 - Sistema utilizado na experimentação

4.2 Testes preliminares

A Fig. 4.10 mostra o primeiro resultado obtido em um teste preliminar. A ordenada do gráfico representa o comprimento perimetral da superfície de corte do rebolo e a abscissa a largura. A escala de cores indica a intensidade do sinal de emissão acústica. Pode-se observar duas falhas locais através do gráfico que são identificadas por dois pontos escuros, ou seja, existe nos pontos uma ausência de sinal de emissão acústica.

Verifica-se também que determinadas regiões da superfície de corte do rebolo são escuras, ou seja, possuem menor densidade de grãos abrasivos (sinal menos intenso) e determinadas regiões são claras, possuem maior densidade de grãos abrasivos (sinal mais intenso).

Após este teste, foram feitas alguns ajustes na taxa de amostragem, número de pontos/volta do rebolo e constante de tempo, de acordo com os dados obtidos no item 4.1.

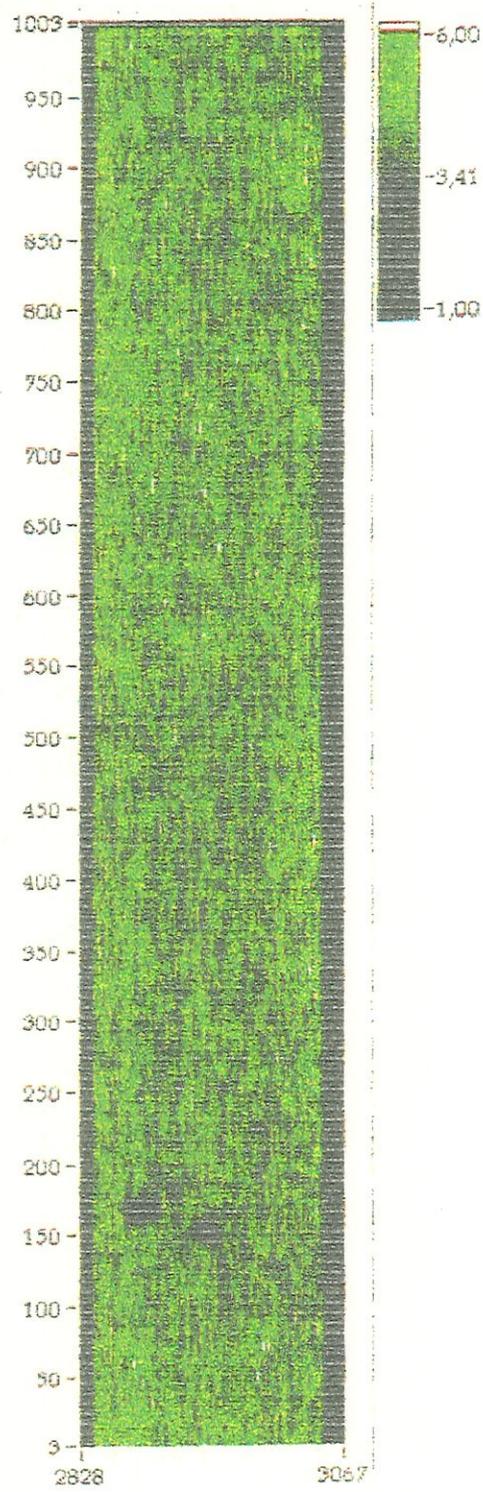


Fig. 4.9 - Falhas locais na superfície de corte do rebolo

Foi possível alterar a taxa de aquisição de dados e o número de pontos adquiridos de acordo com a velocidade de dressagem, para a obtenção de uma representação gráfica melhor.

4.3 Condições testadas

A operação de dressagem é de grande importância na vida útil dos rebolos e durante a experimentação foram realizados ensaios variando as condições de dressagem.

➔ Condições de medição

A. A velocidade de corte do rebolo nessa retificadora é variável e foram feitos testes de medição nas operações de dressagem com duas velocidades de corte.

B. Uma com velocidade de corte de 22 m/s e profundidade de dressagem de $5\mu\text{m}$ e outra com velocidade de corte de 45 m/s e profundidade de dressagem de $1\mu\text{m}$.

A velocidade de avanço é de 0,01mm/min.

➔ Condições de aquisição

A partir das condições de medição foram determinados o número de pontos para a aquisição dos dados durante a operação de dressagem.

Na velocidade de corte do rebolo de 22 m/s e profundidade $5\mu\text{m}$ foram adquiridos numa taxa de 30000 pontos/segundo e na velocidade de corte de 45 m/s e profundidade $1\mu\text{m}$ foram adquiridos 60000 pontos/segundo.

4.4 Situações analisadas

Neste experimento foram analisadas 3 tipos de situações, com o objetivo de detectar durante a operação de dressagem, defeitos na superfície de corte do rebolo e corrigi-los determinando o número de dressagens necessárias.

Na primeira situação é produzido um defeito geométrico na superfície de corte do rebolo em forma de L, como mostra a foto abaixo, onde durante a dressagem através do uso do sistema, o defeito é visualizado por um gráfico que representa a superfície de corte do rebolo. (figura 4.11)

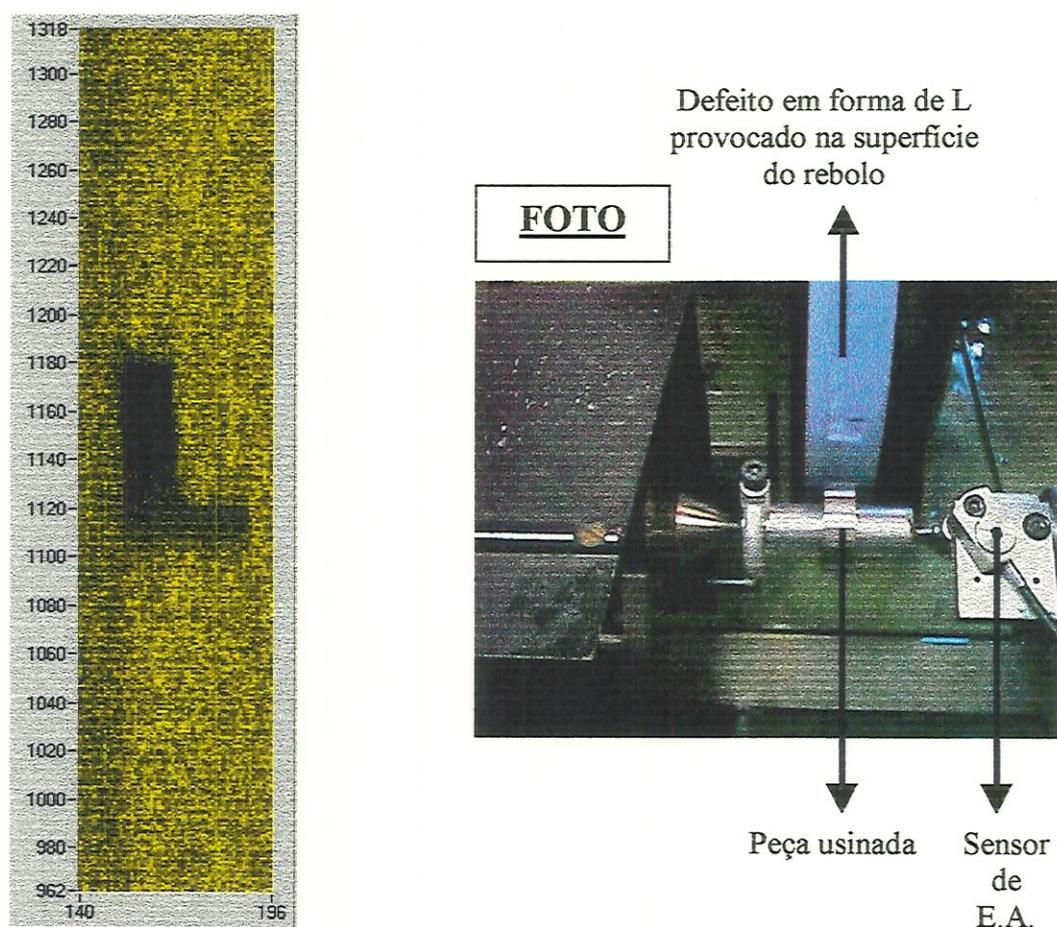


Figura 4.10 - Defeito em forma de L produzido na superfície de corte do rebolo e mapa obtido pelo sistema

Na situação seguinte o rebolo é desbalanceado e durante a dressagem foram visualizadas as falhas na sua superfície de corte, provocadas pelo desbalanceamento. Na superfície de corte do rebolo desbalanceado, pode-se verificar regiões mais escuras, onde o sinal é menos intenso.

Na outra situação, a superfície de corte do rebolo sofre um desgaste produzido na operação de retificação de peças, onde a peça que está sendo retificada possui um defeito e este defeito provoca um desgaste irregular na superfície de corte do rebolo. Portanto esta situação estabelece um desgaste irregular por retificação na superfície do rebolo.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os diversos resultados obtidos possibilitam avaliar a superfície de corte do rebolo durante a operação de dressagem.

São resultados:

- ✓ marca L gerada com talhadeira com o objetivo de verificar o funcionamento do sistema;
- ✓ desbalanceamento;
- ✓ marca resultante de acidente; (não programado)
- ✓ faixa escura causada pelo desgaste do material do rebolo em operação de retificação.

Na figura 5.1 observa-se a leitura do sistema desenvolvido onde é possível se visualizar todos os defeitos obtidos.

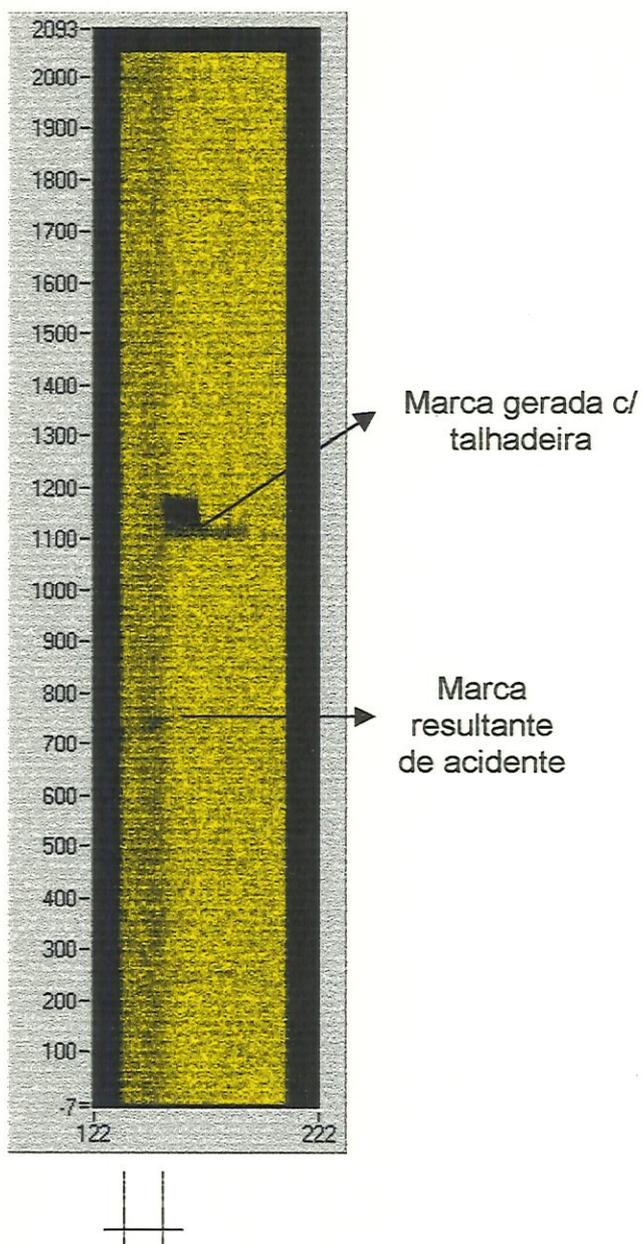
Na mesma figura, nota-se que o eixo horizontal é a largura do rebolo e o eixo vertical é o perímetro do rebolo onde as escalas tanto para o eixo horizontal como para o eixo vertical podem ser calculadas em mm/pontos.

No caso da figura 5.1, por exemplo, o cálculo do eixos horizontal e vertical é feito da seguinte forma:

$$\text{Resolução Vertical} = \frac{\text{Perímetro do rebolo}}{\text{no. pontos}}$$

O perímetro do rebolo utilizado no experimento é $\pi \cdot 470\text{mm}$

$$\text{Portanto: } \frac{\text{Perímetro do rebolo}}{\text{no. pontos}} = \frac{\pi \times 470}{2048} = 0,72\text{mm/pontos}$$



Faixa escura causada pelo desgaste
do material do rebolo em operação de retificação

Fig. 5.1 - Resultados provocados durante a experimentação (condição A)

Na direção horizontal a escala é calculada pela relação entre o número de pontos da figura nesta direção e a largura do rebolo. O nº de pontos correspondentes à largura do rebolo é de 73 pontos. Portanto a escala horizontal é igual a $50\text{mm}/73 = 0,68\text{mm/pontos}$.

Na figura 5.2, observa-se que o sistema apresenta visualmente a boa repetibilidade do padrão gráfico obtido na repetição do teste feito com a condição A.

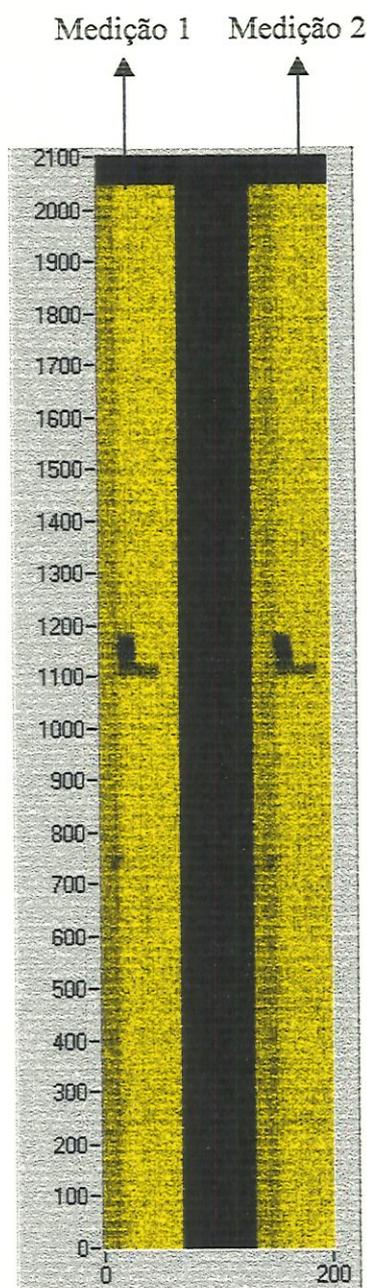


Fig. 5.2 - Repetibilidade do padrão gráfico

A figura 5.3 apresenta um resultado mostrando um desgaste na superfície de corte do rebolo, causado em uma operação de retificação por uma peça usinada que também apresenta um defeito em sua superfície. Este defeito provocou um desgaste no material do rebolo que é visualizado neste resultado como uma faixa escura. Neste caso a marca em forma de "L" ainda não havia sido impressa no rebolo.

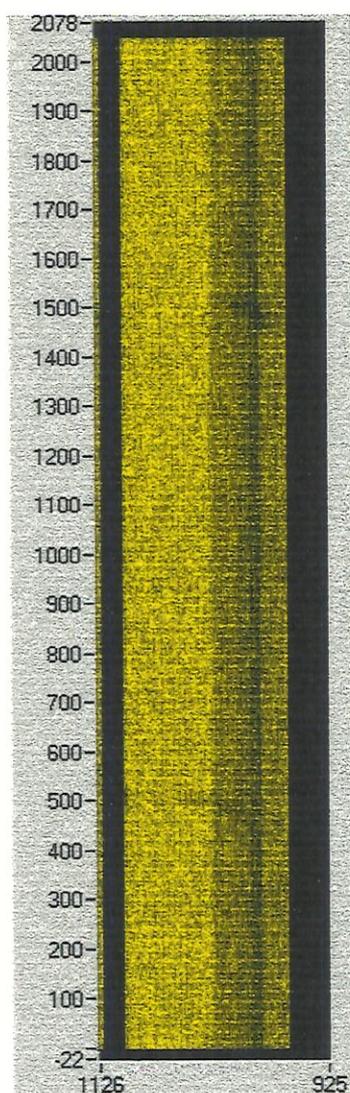


Fig. 5.3 - Desgaste na superfície do rebolo (condição B)

O gráfico da figura 5.4 mostra uma leitura após a realização de diversas dressagens no rebolo, onde o defeito causado pela usinagem pôde ser removido, restando apenas marcas de acidente e a gerada (imediatamente antes deste teste) na sua superfície.

Com este sistema é também possível avaliar a uniformidade da superfície de corte do rebolo previamente à usinagem.

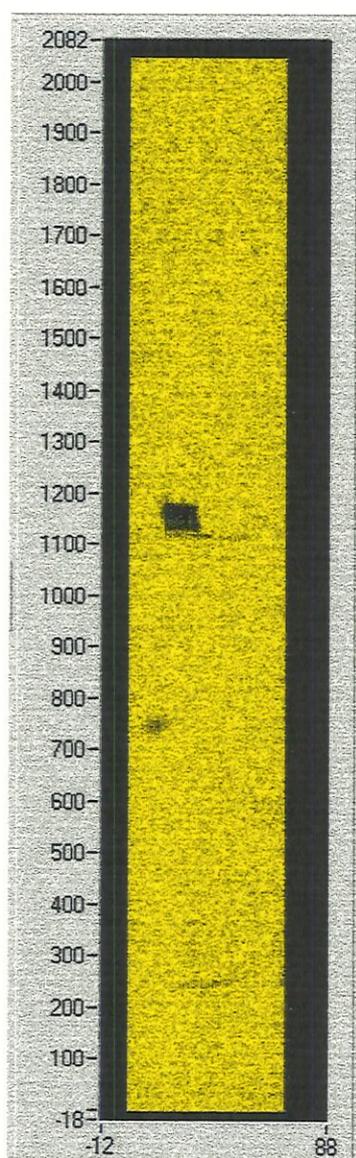


Fig. 5.4 - Operações de dressagens realizadas no rebolo, removendo defeitos (condição B)

Na figura 5.5 observa-se a medição de um rebolo excêntrico, onde nota-se a faixa escura na região central.

Este rebolo ao ser utilizado irá gerar defeitos de circularidade na peça obra.

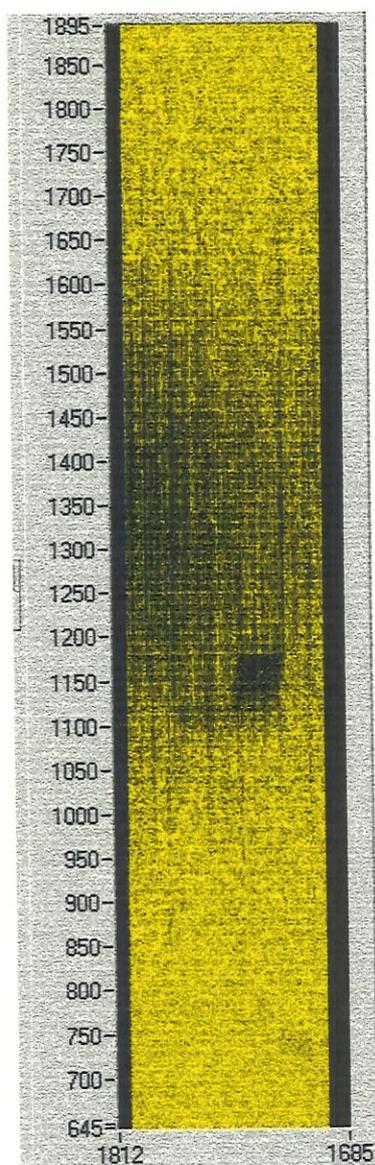


Fig. 5.5 – Rebolo desbalanceado que gera defeitos na peça obra

Com o objetivo de se conhecer o teor de excentricidade causado pelo desbalanceamento, foram feitos passes de dressagem sucessivos, até que a superfície do rebolo apresentasse padrão uniforme.

Os próximos resultados mostram a execução deste processo.

A figura 5.6 mostra que o rebolo está desbalanceado, e tal desbalanceamento provoca excentricidade em sua atuação.

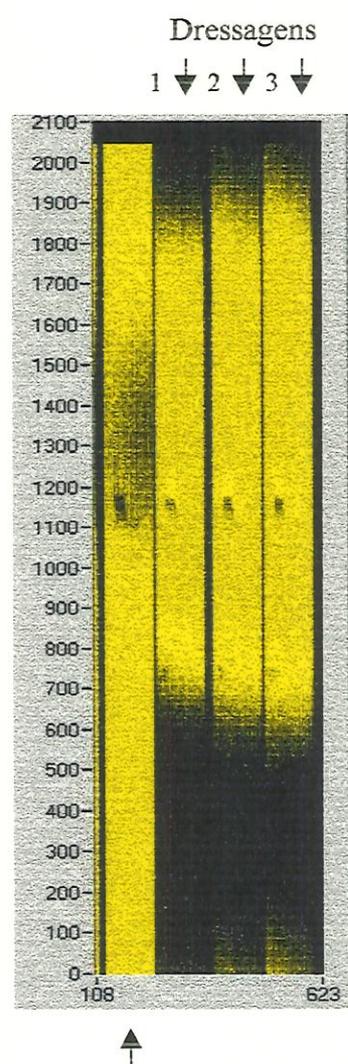


Fig. 5.6 – Operações de dressagens realizadas na superfície do rebolo excêntrico a fim de obter um padrão gráfico uniforme (condição B)

A faixa escura da figura 5.7, mostra que o rebolo continua levemente excêntrico após 7 dressagens.

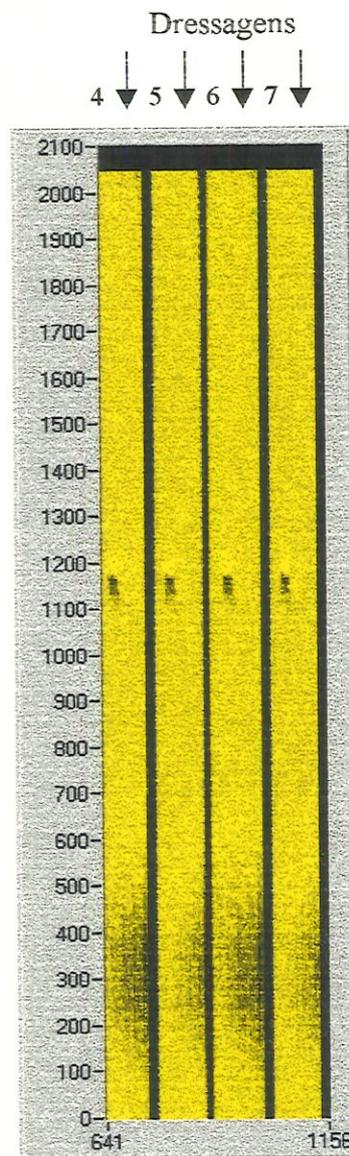


Fig. 5.7 – Rebolo levemente descentrado (condição B)

A figura 5.8 mostra que após onze dressagens, o rebolo foi finalmente centrado. Portanto, o desbalanceamento provocou uma excentricidade de cerca de 12 microns no rebolo, uma vez que na condição B a profundidade de dressagem era de 1 μm por passe.

A máquina possui um sistema de balanceamento automático que poderia ser usado após a 11^a dressagem. Entretanto, caso o rebolo seja balanceado após a última dressagem, uma nova excentricidade será gerada. Portanto deve-se tomar muito cuidado na utilização do sistema de balanceamento para que não hajam correções após a última dressagem.

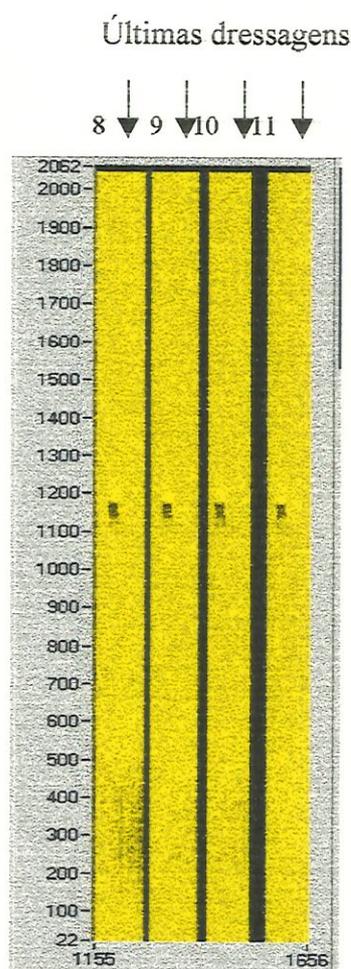


Fig. 5.8 – Rebolo desbalanceado e centrado (condição B)

6. CONCLUSÕES

Com os padrões gráficos obtidos e as discussões realizadas no presente trabalho, é possível:

- ✓ monitorar a emissão acústica na dressagem, é possível obter a qualidade da superfície de corte de um rebolo;
- ✓ mapear acusticamente a superfície de corte de um rebolo, permite o reconhecimento mais preciso de defeitos superficiais e sua geometria, como por exemplo uma marca L, que pode ser reconhecida pelo sistema;
- ✓ auxiliar no reconhecimento de um rebolo desbalanceado ou no reconhecimento de defeitos causados pela usinagem da peça obra, pois as irregularidades desta provocam defeitos na superfície do rebolo.

O sistema do presente trabalho é de fundamental importância, pois possibilita otimizar um dos fatores primordiais na operação de dressagem, que é o custo, uma vez que facilita a determinação do número mínimo de passes de dressagem.

Com o uso deste sistema em uma indústria pode-se diminuir o número de dressagens ou sua profundidade visando o aumento de sua vida útil.

Com isso, a dressagem se torna precisa, diminuindo o tempo gasto, custos e aumentando a produção e a qualidade da retificação.

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

São apresentadas algumas sugestões para trabalhos futuros a fim de dar continuidade à pesquisa do presente trabalho:

- Avaliar a qualidade do rebolo com o uso deste sistema, pois através do mapeamento acústico da superfície de corte do rebolo pode ser possível analisar a concentração de grãos abrasivos.
- Utilizar o sistema na captação da emissão acústica produzida na usinagem de peças e fazer mapas sincronizados com a peça e com o rebolo. Desta forma deve ser possível também avaliar a uniformidade de atuação da peça e do rebolo durante a usinagem.

BIBLIOGRAFIA

- AULT, W., (1986) Types of Grinding Wheels. In: King, R. I. & Hahn, R.S. (eds) *Handbook of Modern Frinding Technology*. P 72-87. Chapman and Hall Ltd.
- BIANCHI, E.C., (1990), Ação das condições de Dressagem na vida de Rebolos na Retificação de Precisão. Dissertação de Mestrado, EESC-USP.
- BLUM, T., DORNFELD, D. A. (1990) Grinding Process Feedback Using Acoustic Emission 4 th. International Grinding Conference and exposition, SME, Dearborn, Michigan, USA, October.
- CHANG, Y.P., DINIZ, A. E. & DORNFELD, D.A. (1992) Monitoring the Grinding Process through Acoustic Emission using a Squirter. JAPAN/USA Symposium on Flexible Automation vol. 1, ASME.pp 335-340.
- DINIZ, A.E. (1992) Monitoramento e Controle Automático do Processo de Usinagem. Apostila, UNICAMP, Campinas.
- DORNFELD, D. & CAI, H.G. (1984), An investigation of Grinding and Wheel Loading using Acoustic Emission, Trans. ASM, J. Eng. Industry, vol. 106, no. 1, pp. 28-33.

- FELIPE Jr., J. (1996) Contribuição para Implementação de Funções de Retificação Inteligente (R.I.) utilizando Técnicas de Monitoramento por Emissão Acústica. Tese de Doutorado. EESC/USP.
- HUNDT, W. LEUENBERGER, D. & REHSTEINER, F. (1994) An approach to monitoring of the Grinding Process using Acoustic Emission (AE) technique. Annals of the CIRP vol 43/1, pp295-298.
- HUTTON, P.H., (1972) "Acoustic Emission Applied Outside of the Laboratory", Acoustic Emission, ASTM STP 505, American Society for Testing and Materials, pp. 114-128.
- INASAKI, I. (1991), Monitoring and Optimization of Internal Grinding Process, Annals of the CIRP, vol. 40(1), pp 359-362.
- INASAKI, I. & OKAMURA, K. (1985), Monitoring of Dressing and Grinding Processes with Acoustic Emission Signals, Annals of the CIRP, vol 34(1), pp. 277-280.
- INASAKI, I. (1985) Monitoring of Dressing and Grinding Processes with Acoustic Emission Signals. Annals of the CIRP, vol.34/1.
- INASAKI, I. (1991) Monitoring and Optimization of Internal Grinding Process. Annals of the CIRP, vol. 40/1, p. 359-362.

KLUFTH, W. (1993), Monitoring the Grinding and Dressing Operations increases output and quality and Reduces Cost and Waste. SME 5th Int. Grinding Conf, Ohio.

KLUFTH, W., (1994) A Monitoração dos Processos Reduz Custos e Desperdícios. Máquinas e Metais, vol.10, pp. 60-80.

KÖNIG, W. & MEYEN, H. P., (1990) Acoustic Emission in Grinding and Dressing: Accuracy and Process Reliability. SME Technical Paper, 4 th. International Grinding Conference, Dearborn, Michigan, 20p.

KÖNIG, W.& KLUMPEN, T., (1993) Process Monitoring in Grinding, Dressing and Sharpening Processes. Production Engineering, vol.1, n.1, pp27-30.

LIPTAI, R.G., HARRIS, D.O. & TATRO, C.A. (1972) An Introduction of Acoustic Emission. Acoustic Emission, ASTM STP 505, American Society for Testing and Materials, pp. 3-10.

MARINELLI FILHO, N. (1997) Monitoramento da Operação de Dressagem de Rebolos através da Emissão Acústica. Tese de Mestrado. EESC/USP.

NAKAYAMA, K., TAKAGI, J. IRIE, E. & OKUNO, K., (1980). Sharpness Evaluation of Grinding Wheel Face by the Grinding of Steel Ball. Annals of the CIRP vol 29/1, pp227-331.



- OLIVEIRA, J. F. G. , DORNFELD, D.& SCHNEIDER, C., (1994) A Otimização da Dressagem e a Redução do Custo de Rebolos. Máquinas e Metais, pp. 32-44.
- OLIVEIRA, J.F.G., (1992) Controle do Estado de Afição de Rebolos na Retificação de Precisão. Tese de Livre Docência da EESC/USP.
- OLIVEIRA, J.F.G., (1995) Monitoramento de Operações de Retificação de Precisão. Trabalho apresentado no concurso para Professor Titular. SEM – EESC/USP, São Carlos.
- OLIVEIRA, J.F.G., DORNFELD, D.A. & WINTER, B. (1994). Dimensional Characterization of Grinding Wheel Surface through Acoustic Emission. Annal of the CIRP vol. 43/1, pp291-294.
- PARRY, D.L. & ROBINSON, D. L. (1970) "Incipient Failure Detection by Acoustic Emission, *A Development and Status Report*, IN-1398, Idaho Nuclear Corp., Idaho Falls, Idaho.
- WEBSTER, J., MARINESCU, I. BENNET, R. (1994), Acoustic Emission for Process Control and Monitoring of Surface Integrity during Grinding. Annals of the CIRP vol. 43/1, pp 299-304.
- WILLS, H.J., (1941) A Treatise on the Dressing and Truing of Grinding Wheels, Literatura Técnica The Carborundum Company – Niagara Falls N.Y., 54p.

WILSON, J.V., (1977), What you should know about Grinding Wheels.

Manufacturing Engineering, pp 40-44.