

ANDRÉ RICARDO GUIMARÃES

**SISTEMA PARA A MEDIÇÃO DAS
COMPONENTES DA FORÇA DE USINAGEM EM
OPERAÇÕES DE TORNEAMENTO**

aprovado

10.0

BC 92

20 dez 00

hm

Trabalho de Formatura apresentado a Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para a conclusão do Curso de Graduação em
Engenharia.

São Paulo

2000

ANDRÉ RICARDO GUIMARÃES

**SISTEMA PARA A MEDIÇÃO DAS
COMPONENTES DA FORÇA DE USINAGEM EM
OPERAÇÕES DE TORNEAMENTO**

Trabalho de Formatura apresentado a Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para a conclusão do Curso de Graduação em
Engenharia.

Área de concentração:
Engenharia Mecânica, Projeto e Fabricação.

Orientador:
Prof. Dr. Linilson Rodrigues Padovese.

São Paulo
2000

Aos meus queridos pais.

A minha querida Cíntia.

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho tornou-se possível devido à colaboração direta de algumas pessoas, às quais desejo formalizar os meus sinceros agradecimentos.

Ao Prof. Dr. Linilson Rodrigues Padovese, que atuou efetivamente como orientador deste trabalho;

Ao Prof. Dr. Amilton Sinatora, que soube desde o início motivar a realização deste projeto;

Ao futuro Prof. Dr. Roberto de Souza Martins, que participou efetivamente das discussões que permitiram a execução deste trabalho;

Aos alunos de Iniciação Científica do Laboratório de Fenômenos de Superfície, que auxiliaram na realização de algumas etapas deste projeto;

Aos demais integrantes do Laboratório de Fenômenos de Superfície;

Ao Engenheiro Rubens Ramires Sobrinho, ao futuro Engenheiro André Barone Rodrigues e ao Técnico de Oficina Luis Pedro Rodrigues, do Agrupamento de Mecânica dos Solos e Fundações da Divisão de Engenharia Civil do IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, pelo excelente apoio na fase de execução e calibração do protótipo;

Finalmente, devo agradecer ao bom Deus, que permitiu a conclusão de mais uma etapa em minha vida.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

RESUMO

<i>1. INTRODUÇÃO</i>	<i>1</i>
<i>2. OBJETIVOS DO TRABALHO</i>	<i>3</i>
<i>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</i>	<i>4</i>
3.1. CONSIDERAÇÕES SOBRE O PROCESSO DE USINAGEM	4
3.2. O PROCESSO DE TORNEAMENTO	5
3.3. DEFINIÇÃO DA FORÇA DE USINAGEM	6
3.4. CARACTERÍSTICAS GERAIS DE UM DINAMÔMETRO	8
3.5. CONSIDERAÇÕES SOBRE A MEDIÇÃO DE FORÇAS	9
3.5. PRINCÍPIOS DE MEDIDA UTILIZADOS EM DINAMÔMETROS	12
3.6. MODELOS DE DINAMÔMETROS	14
3.7. APLICAÇÕES EM ESTUDOS DE PROCESSOS DE USINAGEM	17
<i>4. ESTABELECIMENTO DA NECESSIDADE</i>	<i>22</i>
<i>5. APRESENTAÇÃO DO ESTUDO DE VIABILIDADE</i>	<i>23</i>
5.1. ESTIMATIVA DAS COMPONENTES DA FORÇA DE USINAGEM	24
5.2. APRESENTAÇÃO DA GEOMETRIA BÁSICA - PROTÓTIPO	26
5.3. CÁLCULO DAS TENSÕES E DEFORMAÇÕES NA REGIÃO DE MEDIDA	27
5.4. ESTIMATIVA DA FREQUÊNCIA NATURAL	28
5.5. DIMENSIONAMENTO DOS SENSORES	32

<i>6. DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO</i>	<i>33</i>
6.1. PROJETO DO CORPO DO SENSOR	33
6.2. DISPOSIÇÃO DOS SENSORES	35
6.3. SENSIBILIDADE DO CONJUNTO	38
<i>7. EXECUÇÃO DO PROTÓTIPO</i>	<i>40</i>
7.1. USINAGEM DA PARTE MECÂNICA DO SENSOR	40
7.2. MONTAGEM DAS PONTES DE WHEATSTONE	40
7.3. PREPARAÇÃO DO SISTEMA DE CONDICIONAMENTO	42
7.4. PREPARAÇÃO DO SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS	44
<i>8. CALIBRAÇÃO E TESTES</i>	<i>45</i>
8.1. PROCEDIMENTO DE CALIBRAÇÃO	45
8.2. TESTES PRELIMINARES	50
<i>9. ANÁLISE ECONÔMICA</i>	<i>51</i>
<i>10. CONSIDERAÇÕES FINAIS</i>	<i>52</i>
<i>11. BIBLIOGRAFIA</i>	<i>54</i>
<i>ANEXOS</i>	

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: ESQUEMA DO SISTEMA PARA A MEDIÇÃO DOS ESFORÇOS DE USINAGEM.	3
FIGURA 2: A FORÇA DE USINAGEM E SUAS COMPONENTES SEGUNDO A NORMA ISO 3002-4.	6
FIGURA 3: REPRESENTAÇÃO DA NATUREZA COMPRESSIVA DOS ESFORÇOS DE CORTE.	7
FIGURA 4: MÉTODOS COMUMENTE APLICADOS NA MEDIÇÃO DE FORÇAS.	10
FIGURA 5: SENSORES DE FORÇA BASEADOS EM DEFORMAÇÃO.	11
FIGURA 6: EXEMPLOS DE APLICAÇÕES DE EXTENSÔMETROS ELÉTRICOS RESISTIVOS.	12
FIGURA 7: DINAMÔMETROS PIEZOELÉTRICOS PARA A MEDIDA DA FORÇA DE USINAGEM.	13
FIGURA 8: DINAMÔMETRO PIEZOELÉTRICO MONTADO NA TORRE DO TORNO CNC.	14
FIGURA 9: MONTAGEM DO DINAMÔMETRO PIEZOELÉTRICO, REPRESENTAÇÃO DAS FORÇAS.	15
FIGURA 10: VISTA LATERAL DE UM DINAMÔMETRO BASEADO EM STRAIN GAUGES.	16
FIGURA 11: DISPOSIÇÃO DOS STRAIN GAUGES NA REGIÃO DE MEDIDA.	16
FIGURA 12: BARRAS DE MANDRILAR PARA CABEÇAS DE CORTE INTERCAMBIÁVEIS.	26
FIGURA 13: INTERCAMBIABILIDADE NA FIXAÇÃO DA CABEÇA DE CORTE NA BARRA DE MANDRILAR.	26
FIGURA 14: COMPORTAMENTO DA LINHA NEUTRA DO SENSOR EM FUNÇÃO DO COMPRIMENTO DO SENSOR (DIMENSÕES EM MM).	28
FIGURA 15: MODELO UTILIZADO PARA O CÁLCULO EXATO.	29
FIGURA 16: MODO DE VIBRAR NA FREQUENCIA FUNDAMENTAL EM FUNÇÃO DO COMPRIMENTO DO SENSOR.	32
FIGURA 17: SUPORTE DE FIXAÇÃO DO SENSOR.	34
FIGURA 18: CORPO DO SENSOR.	34
FIGURA 19: PORTA INSERTOS.	35
FIGURA 20: DISPOSIÇÃO DOS EXTENSÔMETROS.	36
FIGURA 21: DISPOSIÇÃO DOS EXTENSÔMETROS E PONTES DE WHEATSTONE.	37
FIGURA 22: DISPOSIÇÃO DOS EXTENSÔMETROS NO DINAMÔMETRO.	41
FIGURA 23: SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE SINAIS SCXI DA NATIONAL INSTRUMENTS.	43
FIGURA 24: CIRCUITO DE CONDICIONAMENTO DE SINAIS.	43
FIGURA 25: MONTAGEM DA PLACA DE AQUISIÇÃO NO MICROCOMPUTADOR.	44
FIGURA 26: ARRANJO EXPERIMENTAL PARA A CALIBRAÇÃO DO DINAMÔMETRO.	45
FIGURA 27: LIGAÇÃO DOS CABOS AO SISTEMA DE CONDICIONAMENTO.	46
FIGURA 28: CALIBRAÇÃO – FORÇA DE CORTE.	47
FIGURA 29: CALIBRAÇÃO – FORÇA DE AVANÇO.	48
FIGURA 30: CALIBRAÇÃO – FORÇA DE PENETRAÇÃO.	48
FIGURA 31: CALIBRAÇÃO – RESULTADOS.	49
FIGURA 32: ARRANJO EXPERIMENTAL PARA OS TESTES PRELIMINARES.	50

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sensor para a medição das três componentes normalizadas da força de usinagem, a saber: força de corte, força de avanço e força de penetração, executado com base em extensômetros elétricos resistivos, ou strain gauges. O dinamômetro foi projetado para a medição da força de usinagem em operações de torneamento externo, com a opção de utilização de diferentes ferramentas de corte, devido à utilização de um sistema porta-insertos intercambiável. As componentes de corte e de avanço são medidas com base nas deformações provocadas por esforços fletores, enquanto a medida da força de penetração é baseada na deformação provocada por carregamento normal compressivo.

A rigidez do sensor é semelhante àquela apresentada por um porta-ferramentas convencional, atingindo uma deformação máxima de 150 μm no contato da ferramenta com a peça de trabalho. A frequência natural do dinamômetro é bastante elevada, atingindo valores de 1.5E4 Hz. A sensibilidade obtida para as componentes de corte e de avanço é de aproximadamente 12 mV/kgf, enquanto a componente de penetração apresenta aproximadamente 2 mV/kgf. O sensor apresenta linearidade na faixa de trabalho para a qual foi projetado. A configuração adotada para os extensômetros permite a compensação de temperatura, que o torna adequado aos ensaios propostos, nos quais deseja-se analisar o comportamento ao desgaste de ferramentas de metal duro sem auxílio de fluidos de corte.

O sistema de condicionamento e aquisição de sinais utilizado foi cedido por empréstimo pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, e consiste basicamente em um bastidor para módulos de condicionamento SCXI 1001, com circuito de terminais modelo 1321 e módulo de condicionamento de sinais para strain gauges 1121, com filtro analógico Butterworth de ordem 3, frequência de corte de 1E4 Hz, além de amplificadores de 1E3 para as componentes de corte e de avanço e de 2E3 para a componente de penetração. A placa de aquisição de dados AT-MIO-16X permite a aquisição simultânea das três componentes de força. O programa de aquisição de dados foi desenvolvido com base no software LabView.

1. INTRODUÇÃO

A determinação dos esforços de corte observados em processos de usinagem apresenta fundamental importância pois possibilita a execução de projetos de máquinas operatrizes, a otimização de processos de fabricação e, em aplicações de automação, permite monitorar o desgaste da ferramenta durante o processo; além de possibilitar o estudo aprofundado dos mecanismos envolvidos no processo de corte, auxiliando na realização de pesquisas de desenvolvimento de novos materiais e recobrimentos para ferramentas. Existem basicamente duas abordagens para a determinação das forças de usinagem, a saber: o *modelamento* e a *medição*.

A complexidade do modelamento analítico ou numérico destas forças pôde ser verificada com a realização de uma detalhada pesquisa bibliográfica. Com efeito, são numerosos os métodos que se utilizam de tabelas, ábacos e gráficos obtidos experimentalmente, e poucas são as expressões que relacionam a força de corte e suas componentes a parâmetros do processo. Deve-se ainda ressaltar que, devido ao comportamento dos mecanismos envolvidos no processo de usinagem, tais forças apresentam um comportamento dinâmico que normalmente não é considerado em modelos teóricos. Desta forma pode-se perceber a importância que assume a medição, com auxílio de *dinamômetros*, dos esforços de corte atuantes em uma operação de usinagem. Dependendo do tipo de sensor utilizado, tais instrumentos de medida podem fornecer medidas estáticas, ou médias, da força de usinagem, com base nas quais pode-se executar o projeto ou seleção das máquinas, dispositivos e ferramentas utilizados em um determinado processo. Além destas medidas, torna-se relevante a verificação do comportamento dinâmico das componentes da força, possibilitando o estudo de estabilidade dinâmica de uma máquina ferramenta, bem como dos mecanismos envolvidos na formação do cavaco.

Na área de desenvolvimento de materiais para ferramentas, apesar da importância que assume a utilização de dinamômetros para a medição de forças de usinagem, deve-se sempre ter em mente que, devido à complexidade dos fenômenos que ocorrem na interface ferramenta-peça, o resultado de um ensaio baseado em um dinamômetro deve sempre ser analisado criteriosamente. Sabe-se por exemplo que devido à natureza dinâmica dos esforços, podem ocorrer fenômenos de vibração de alguma das partes solicitadas durante o processo de usinagem, o que pode alterar a

leitura fornecida pelos sensores utilizados. O pesquisador deve sempre ser capaz de separar os efeitos dinâmicos provenientes do processo de corte daqueles que possuem origem em vibrações de determinadas partes da máquina operatriz.

Em relação à utilização de dinamômetros em ambientes industriais, pode-se visualizar uma redução dos custos de produção devido principalmente ao aumento dos níveis de automação e de otimização baseado nas leituras fornecidas pelos sensores. Assim, os valores de força monitorados ao longo do processo podem ser utilizados como uma referência para a substituição das ferramentas de corte, permitindo que sua utilização se processe de forma ótima, evitando prejuízos com a troca prematura (sub-utilização do ferramental e elevação do tempo de máquina parada) ou mesmo com a troca tardia da ferramenta, que ocorre após a observação de não conformidades no produto (perda de tolerância ou acabamento), ou ainda em casos extremos, com a troca realizada apenas após a quebra da ferramenta, que além de prejudicar o produto pode comprometer o funcionamento da máquina operatriz. Em resumo, a integração de dinamômetros ao equipamento permite a realização de um procedimento semelhante à manutenção preditiva, neste caso aplicado a um processo de fabricação baseado em operações de usinagem.

Além da automação de processos industriais, o monitoramento das forças de corte permite ainda a otimização das operações de usinagem, pois sabe-se que os parâmetros de corte influenciam diretamente o comportamento destes esforços. Desta forma, com base nos valores obtidos ao longo do processo torna-se possível a determinação dos parâmetros ótimos para cada fase do processo. Esta utilização pode permitir ao Engenheiro de Processos a redução do tempo de fabricação de um componente obtido com base em processos de usinagem. Com efeito, a integração de dispositivos como o dinamômetro a equipamentos CNC permite o ajuste automático do processo, garantindo a obtenção de elevadas taxas de produtividade e qualidade.

É neste contexto que está inserido este trabalho. O seu desenvolvimento deve permitir ao autor não apenas a execução de um sensor que atenda aos requisitos de projeto, mas deve ainda proporcionar uma melhor compreensão dos processos de usinagem, permitindo assim que sua execução contribua efetivamente na formação do profissional de *Engenharia*, principalmente quando a ênfase de seu curso consiste na área de *Projeto e Fabricação*.

2. OBJETIVOS DO TRABALHO

O objetivo principal deste trabalho consiste no projeto e execução de um dinamômetro para a medição das componentes da força de usinagem em um processo de torneamento. Tal dispositivo consiste basicamente em um porta-ferramentas instrumentado com sensores capazes de medir, direta ou indiretamente, as três componentes normalizadas da força de usinagem. O sinal obtido pelos sensores é diretamente conectado a um sistema de condicionamento do sinal, que consiste basicamente em amplificadores e filtros responsáveis por conferir ao sinal as propriedades ideais para que seja adquirido por um microcomputador, no qual a análise do sinal será realizada. O esquema de ensaio é apresentado na Figura 1.

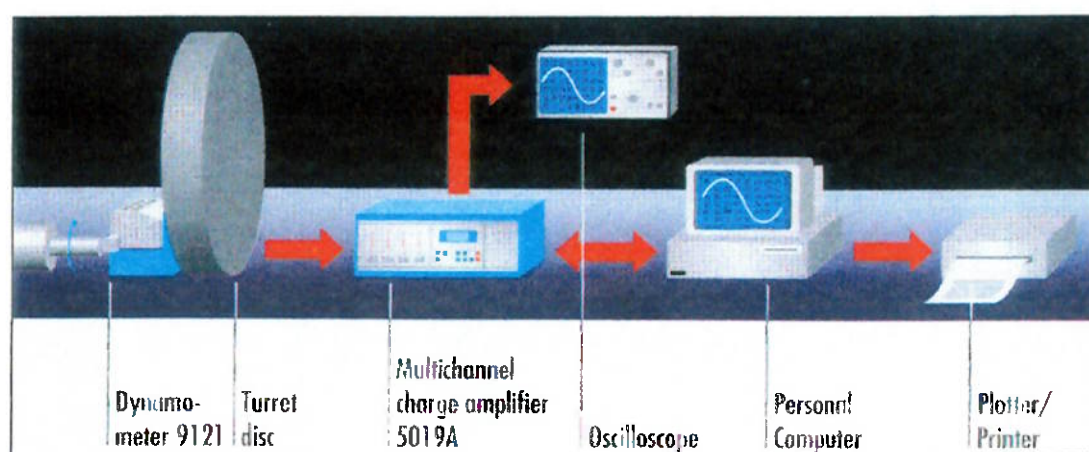


FIGURA 1: ESQUEMA DO SISTEMA PARA A MEDIÇÃO DOS ESFORÇOS DE USINAGEM [1].

A realização deste trabalho deverá auxiliar na caracterização do desgaste de ferramentas de aço rápido sinterizado, desenvolvidas pelo *Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares*, no âmbito do projeto PRONEX – PROCESSAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS DE ALTA RESISTÊNCIA MECÂNICA E AO DESGASTE, do qual também participam o *Laboratório de Fenômenos de Superfície do Departamento de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica*, onde o autor desenvolveu este trabalho, e as *Universidades Federais de Santa Catarina e do Rio Grande do Norte*. O sistema de medição consiste ainda em um passo inicial para a implementação de um sistema de monitoramento do nível de desgaste de uma ferramenta de corte, que permite a automatização e a otimização de processos de fabricação baseados em operações de usinagem.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste item são apresentados alguns tópicos fundamentais referentes à determinação de esforços de corte em operações de usinagem.

3.1. Considerações sobre o Processo de Usinagem

O termo *usinagem* representa os processos de manufatura baseados na utilização de *ferramentas de corte*, utilizadas para a remoção controlada de material da peça de trabalho, de forma a obter uma superfície previamente determinada. A ação da ferramenta de corte sobre a peça resulta na formação do *cavaco*, devido principalmente às tensões cisalhantes observadas no contato.

Atualmente, a usinagem consiste em um dos principais processos de manufatura utilizados, sendo algumas de suas principais características apresentadas a seguir ^[2]:

- ✓ a usinagem pode ser aplicada a uma grande variedade de materiais, embora seja utilizada principalmente em metais. Peças de materiais poliméricos e compósitos podem ser obtidas com base em processos de usinagem. Componentes cerâmicos apresentam maior dificuldade devido a sua elevada dureza e comportamento frágil, podendo entretanto serem trabalhados com base em ferramentas abrasivas;
- ✓ devido à existência de vários processos de usinagem, a sua combinação permite a obtenção de elementos de variedade e complexidade praticamente ilimitados, apresentando-se atualmente como um dos principais processos de fabricação devido a sua excelente adequação à produção de lotes reduzidos;
- ✓ as peças obtidas com base em processos convencionais de usinagem podem apresentar tolerâncias da ordem de 0.025 mm, além de apresentar rugosidade superficial média que pode atingir valores de até 0.4 μm . A utilização de ferramentas abrasivas permite obter acabamentos ainda melhores.

Devido a estas características, quando aliada aos processos de conformação mecânica, a usinagem é normalmente utilizada no final da cadeia produtiva de um determinado elemento, proporcionando a geometria, as dimensões e o acabamento final.

3.2. O Processo de Torneamento

O processo de torneamento é um integrante da família de processos de usinagem. A interação da ferramenta de corte com a superfície de trabalho pressupõe a existência de movimento relativo, o qual é subdividido em movimento primário, dado pela rotação da peça em torno do seu próprio eixo, e movimento secundário, o qual consiste no movimento de avanço da ferramenta em uma direção paralela ao eixo de rotação da peça [3]. As peças obtidas com base em processos de torneamento possuem axissimetria, podendo ser exemplificadas por eixos, parafusos e polias.

As ferramentas de corte utilizadas no torneamento são classificadas como ferramentas monocortantes, por apresentarem apenas uma aresta principal de corte. Tais ferramentas apresentam atualmente um grande desenvolvimento, confirmado pela grande variedade de modelos existente no mercado, que apresenta diversas opções de geometrias e materiais (substratos e revestimentos), ideais para cada tipo de operação exigida na fabricação de um determinado produto.

As máquinas operatrizes utilizadas para a realização de um processo de torneamento são denominadas tornos, e possuem uma grande variedade de modelos. A utilização de equipamentos programáveis permite a obtenção de elementos seriados com grande facilidade e elevada qualidade. A integração de processos pode ser verificada em tornos que permitem a realização de operações de fresamento além da execução de etapas convencionais de torneamento e furação.

Atualmente, o desenvolvimento de máquinas operatrizes e ferramentas de corte utilizadas em operações de torneamento tem permitido a obtenção de elementos com acabamento superficial e controle dimensional anteriormente apenas obtidos com a utilização de processos baseados em ferramentas abrasivas, como a retificação cilíndrica. O estado da arte apresenta equipamentos e ferramentas que permitem a realização de processos de usinagem sob altíssima velocidade de corte, atingindo valores próximos de 1000 m/min, na ausência de fluidos de corte.

A completa definição de uma operação de torneamento é realizada com base na determinação dos parâmetros de corte. Tais valores permitem ajustar o processo, e devem ser determinados com base nos requisitos de produção e custos exigidos pela organização. Assim, se a produção de um determinado produto deve ser maximizada, os parâmetros de corte deverão ser escolhidos de maneira a obter o maior número de

peças usinadas dentro de um intervalo de tempo. Tal procedimento implica na elevação dos custos de fabricação, pois o desgaste do ferramental torna-se acelerado, implicando na utilização de um número elevado de ferramentas, além de ocasionar paradas adicionais do equipamento para efetuar a substituição das ferramentas. Em um processo de torneamento, os principais parâmetros de corte consistem na profundidade de corte, no avanço longitudinal da ferramenta e na velocidade de corte, ou taxa de remoção de material da peça de trabalho.

3.3. Definição da Força de Usinagem

A força de usinagem é definida como o esforço total que atua sobre a superfície da ferramenta sob ação da peça de trabalho [3]. Esta força é normalmente apresentada com base em suas componentes normalizadas, as quais assumem grande importância em estudos de caráter científico e tecnológico. Segundo as normas DIN 6584 e ISO 3002-4, tais componentes são as decomposições da força total que atua sobre a cunha cortante no sentido tangencial no contato ferramenta-peça (F_C), no sentido longitudinal da peça (F_A) e no sentido transversal, ou radial, da peça (F_P), formando ângulos retos entre cada par observado. A Figura 2 apresenta estas componentes conforme definições das normas internacionais.

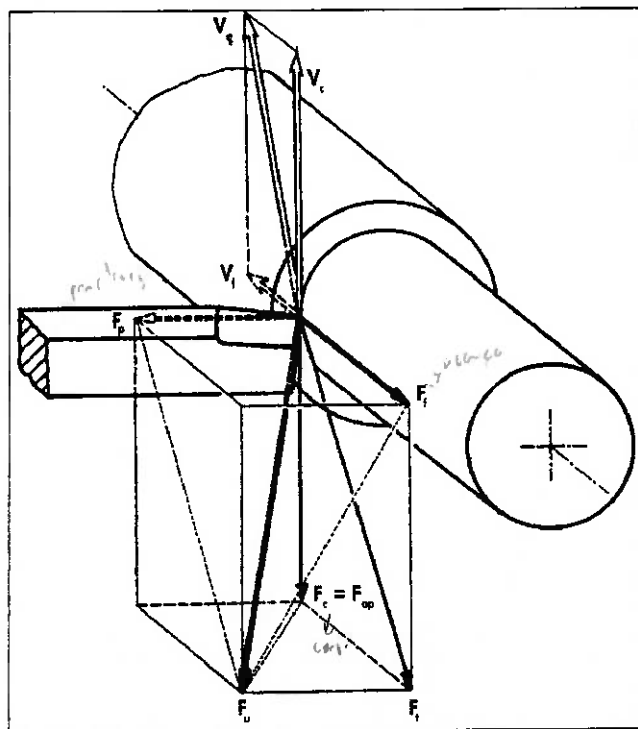


FIGURA 2: A FORÇA DE USINAGEM E SUAS COMPONENTES SEGUNDO A NORMA ISO 3002-4.

Uma breve definição de cada uma das componentes pode ser escrita da forma ^[3, 4]:

- ✓ **Força de Corte:** ou força principal de corte, consiste na componente orientada com base na direção de corte, ou seja, na direção dada pela velocidade de corte. No processo de torneamento, tal componente atua tangencialmente à peça. O produto desta componente pela velocidade de corte resulta em um valor de potência que representa mais de 90% da potência exigida durante o processo de usinagem ^[5];
- ✓ **Força de Avanço:** consiste na projeção da força de usinagem na direção de avanço da ferramenta. Em uma operação de desbaste cilíndrico externo realizada no torneamento, tal direção é paralela ao eixo de simetria da peça de trabalho;
Obs.: as direções de corte e de avanço definem um plano conhecido como *plano de trabalho*. As componentes atuantes no plano de trabalho compõem a força ativa.
- ✓ **Força de Penetração:** também conhecida como força passiva, tal componente consiste na projeção da força de usinagem em uma direção ortogonal ao plano de trabalho.

Todas estas componentes imprimem esforços compressivos sobre as superfícies da ferramenta, conforme ilustrado na Figura 3. Entretanto, devido às elevadas pressões na região do contato ferramenta-peça e ao coeficiente de atrito, atuam tensões cisalhantes combinadas aos esforços compressivos.

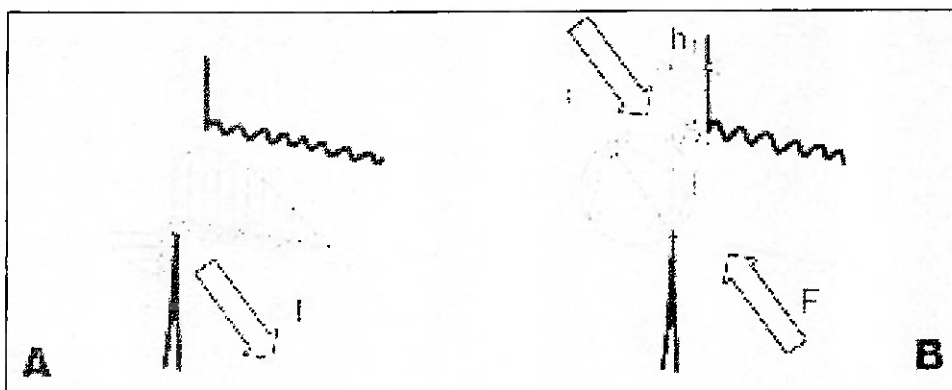


FIGURA 3: REPRESENTAÇÃO DA NATUREZA COMPRESSIVA DOS ESFORÇOS DE CORTE ^[6].

A literatura expressa ainda a dependência da força de corte, e de suas componentes, em relação aos parâmetros e condições de corte. De forma geral, a força de corte é sensível a variações impostas ao avanço e à profundidade de corte, pois estes definem a área específica de corte; sendo também função da velocidade de corte. O material da peça de trabalho também influencia diretamente no comportamento dos

esforços de usinagem. A geometria da ferramenta e os materiais utilizados em sua fabricação, além a utilização de fluidos de corte também influenciam no comportamento dos esforços observados nas operações de usinagem ^[4]. Esta grande quantidade de fatores dificulta o modelamento da força de usinagem.

3.4. Características Gerais de um Dinamômetro

Para que um dinamômetro funcione de forma satisfatória algumas características básicas devem ser respeitadas. O conhecimento prévio destas exigências permite ao projetista a concepção de um instrumento capaz de medir as forças de natureza estática e dinâmica que são observadas durante o processo de corte.

A primeira das características fundamentais em um sensor desta natureza consiste na *sensibilidade*. De maneira geral, a sensibilidade de um instrumento fornece a relação entre a grandeza lida pelo observador, ou saída do sensor, e a grandeza que se deseja determinar, ou entrada do sensor. Em um dinamômetro baseado em extensômetros elétricos resistivos, por exemplo, a sensibilidade pode ser representada em *mV/kgf*. É desejável que a sensibilidade de um sensor apresente linearidade na faixa de medição de trabalho, ou seja, a curva característica do aparelho pode ser representada por uma reta. Assim, se o sensor citado anteriormente possui boa linearidade na faixa de 5 a 500 kgf, e sensibilidade de 0.0037 mV/kgf, uma leitura de 1.11 mV indica que a força aplicada é de 300 kgf.

A segunda característica fundamental em um dinamômetro para a medição da força de usinagem consiste na *rigidez* do sistema. Tal característica relaciona-se diretamente com um dos princípios básicos da *instrumentação*, segundo o qual um instrumento não deve influenciar a grandeza a medir, ou seja, o sistema deve ser minimamente afetado pela presença do sensor. Particularmente no caso da medição de esforços de usinagem, deseja-se que o sensor possua rigidez semelhante àquela apresentada pelo porta-ferramentas original utilizado em uma determinada operação.

Assim, ao se utilizar um porta-ferramentas instrumentado como sistema de medição da força de usinagem, deve-se garantir que a deformação do sensor não seja excessiva a ponto de prejudicar o posicionamento da ferramenta no contato com a peça. Utilizando os conceitos da resistência dos materiais pode-se determinar a variação de posicionamento para um determinado carregamento dado principalmente

pelas componentes da força de usinagem. Para verificar a rigidez dinâmica do dinamômetro deve-se determinar sua frequência natural de vibração. É desejável que o sensor projetado apresente valores elevados para a frequência natural, o que implica em elevados valores para a sua constante de mola. A literatura apresenta valores para referência ^[3], tais como deslocamento máximo da ferramenta inferior a 15 µm e frequência natural de vibração superior a 6000 cps. Desta forma, pode-se notar que as exigências de sensibilidade e de rigidez são antagônicas, e surge neste ponto a primeira *relação de compromisso* à qual o projetista deverá estar atento.

Outro par de características importantes consiste na precisão e repetibilidade do sistema de medição. O projeto do sensor será considerado satisfatório se as medidas fornecidas pelo sistema aproximarem-se dos valores reais das forças, o que implica em um sistema de medição preciso. Neste ponto torna-se importante a calibração do sensor ao final de sua execução. Além disto, o sistema apenas poderá ser utilizado para a realização de ensaios de monitoramento do desgaste se apresentar boa repetibilidade, ou fidelidade.

Um sensor projetado para a medida de forças pode basear-se na medida das deformações de um determinado elemento para, com base na teoria da elasticidade, determinar as tensões e conseqüentemente os esforços nele atuantes. Em um dinamômetro para a medição de esforços de usinagem as dilatações devido à variação de temperatura podem alterar as leituras finais. Assim, o projeto deve levar em consideração que elevadas temperaturas são esperadas na região da ferramenta, podendo atingir valores superiores a 1000 °C ^[6]. Dependendo da duração do ensaio, a transferência de calor ao longo do sensor pode causar deformações consideráveis na região de posicionamento dos sensores, o que exige que a sua montagem apresente condições de compensação de variação de temperatura.

3.5. Considerações sobre a Medição de Forças

Dentre os diversos métodos empregados para a medição de forças podem ser destacados (1) a balança analítica, que compara a força com a força gravitacional atuante sobre uma massa conhecida; (2) a medição da aceleração do corpo e de sua massa, determinando a força com base na expressão $F=m.a$; (3) o balanceamento da força com a utilização de uma força magnética conhecida; (4) a transformação da força em valores de pressão atuantes sobre um fluido confinado, medindo esta última com

auxílio de manômetros; ou ainda (5) aplicando a força diretamente sobre elementos elásticos e medindo a sua deformação, obtendo o valor da força com base na teoria de elasticidade. Este último método é o único que possibilita a medição de forças de natureza dinâmica em frequências elevadas, além de valores de carregamentos estáticos ou variáveis sob baixas frequências. A Figura 4 apresenta cada um dos métodos citados.

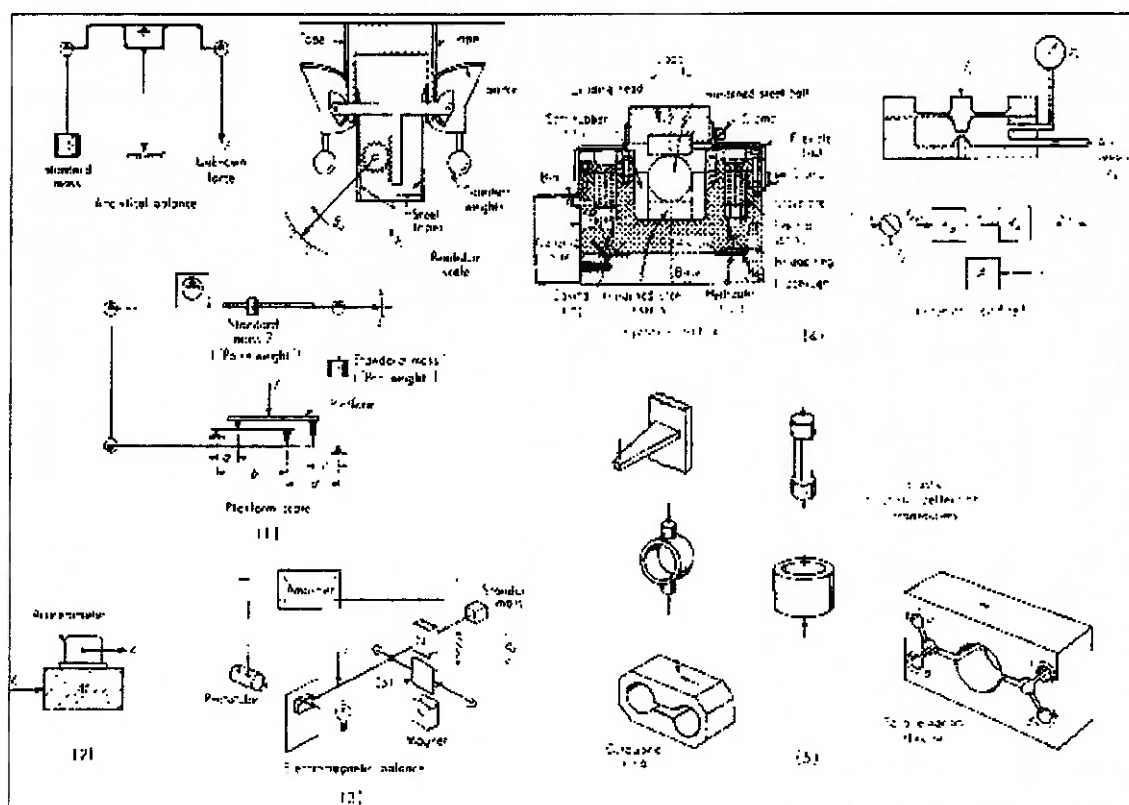


FIGURA 4: MÉTODOS COMUMENTE APLICADOS NA MEDIÇÃO DE FORÇAS [7].

Os sensores baseados em deformação podem ser representados pela Figura 5. Tais elementos são conhecidos como *células de carga* baseadas em strain gauges, neste caso projetada para a medição de esforços exclusivamente compressivos (configuração à esquerda) ou exclusivamente fletores (configuração à direita).

No primeiro caso, os sensores 1 e 3 estão orientados no sentido de aplicação da força, enquanto os sensores 2 e 4 estão posicionados a 90° de maneira a permitir a medição do *efeito de Poisson*. Assim, de acordo com a montagem destes elementos na ponte de Wheatstone, a sensibilidade resultante é $2(1+\nu)$ vezes superior a utilização de apenas um elemento orientado no sentido de aplicação da força.

Além disto, tal configuração permite a realização da compensação da variação de temperatura, se considerada a mesma temperatura atuante em cada um dos sensores. Os elementos R_{gc} e R_{mc} são utilizados como compensadores de temperatura adicionais, permitindo à célula uma leitura mais fiel da força atuante. Assim, estes resistores sensíveis à temperatura são montados no interior da célula de carga, compensando os desvios observados entre as respostas de cada um dos quatro sensores principais, além da compensação da variação do valor do módulo de elasticidade sob efeito da temperatura, atuando diretamente sobre a tensão aplicada na ponte (e_{ex}). Outros dois elementos, R_{ss} e R_{iss} , são utilizados para ajustar a sensibilidade e a resistência de entrada da célula.

As configurações projetadas para a medição de esforços de flexão, conforme apresentado na Figura 5, resultam em uma sensibilidade 4 vezes superior em relação à utilização de apenas um elemento orientado no mesmo sentido. Além disto, tal configuração permite a compensação de variação de temperatura e não é influenciada por componentes ortogonais à força cortante.

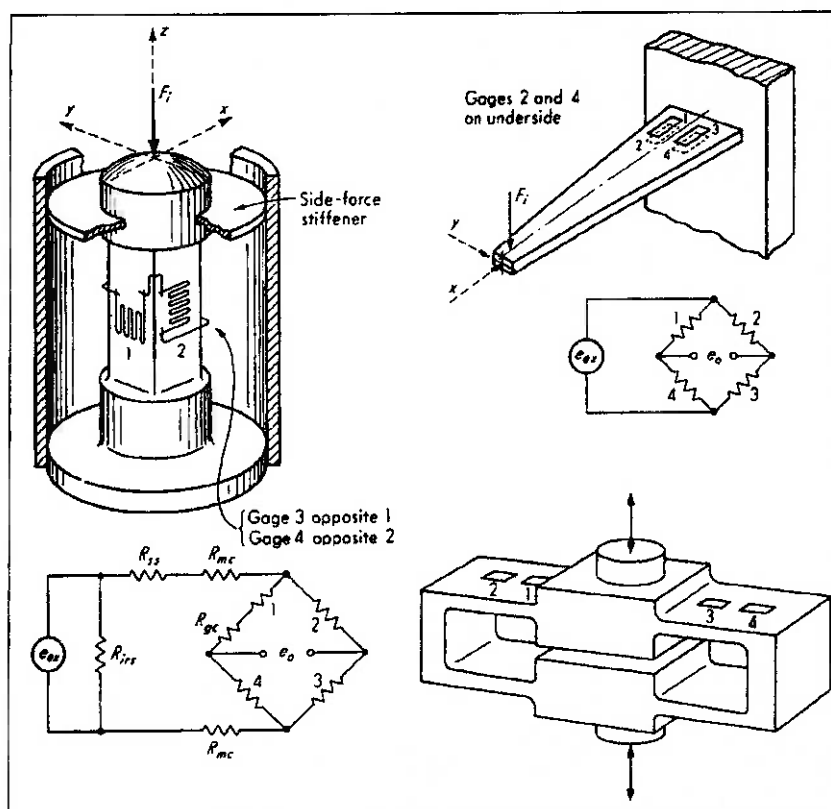


FIGURA 5: SENSORES DE FORÇA BASEADOS EM DEFORMAÇÃO [7].

3.5. Princípios de Medida Utilizados em Dinamômetros

Existem diversos princípios de medida empregados na construção de dinamômetros. Historicamente ^[3], a primeira utilização de dinamômetros para a medição de esforços de usinagem em operações de torneamento data de 1882, com a utilização de modelos rudimentares baseados em contrapesos. Vale ainda ressaltar que o primeiro dinamômetro construído para a medição das componentes da força de usinagem (1904) utilizava o princípio hidráulico, no qual uma ferramenta de barra estava conectada a uma membrana, que comprimia o óleo diretamente a um manômetro. A rigidez deste sistema apresentava um valor muito inferior em relação aos valores adequados, provocando grandes deslocamentos da ferramenta, inviabilizando o processo de corte. Houve também modelos que utilizaram o princípio pneumático, no qual os esforços de usinagem alteravam as dimensões de um orifício, variando a resistência de saída do ar proveniente de um reservatório. A variação, como no modelo hidráulico, era medida com auxílio de manômetros. Outros modelos utilizaram o princípio mecânico, com a utilização de relógios comparadores para a medição dos deslocamentos. Possuíam construção simples, porém não eram capazes de efetuar a medida dinâmica das forças de usinagem. Parte dos modelos atualmente utilizados baseiam-se em extensômetros elétricos. Nestes modelos, os sensores são montados em uma ponte de Wheatstone, conforme apresentado na Figura 6.

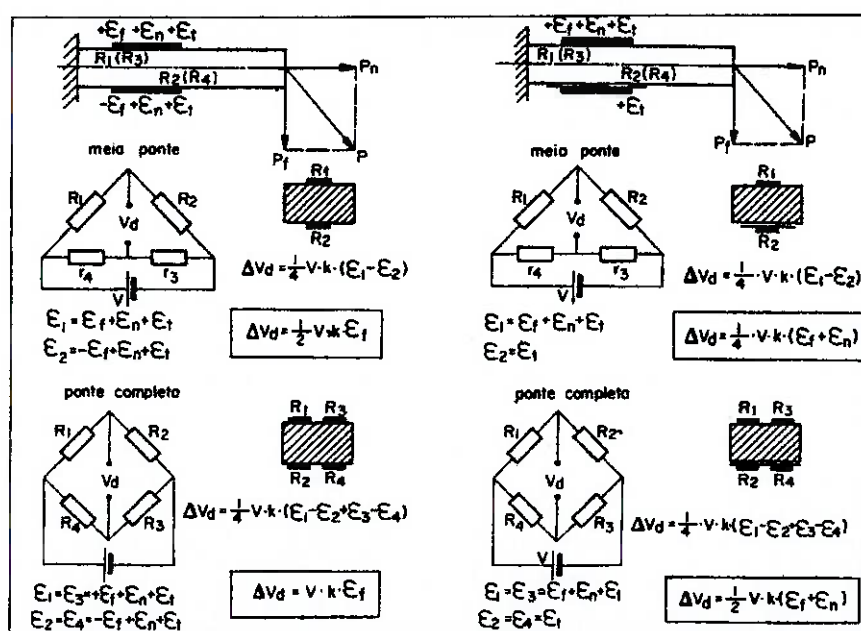


FIGURA 6: EXEMPLOS DE APLICAÇÕES DE EXTENSÔMETROS ELÉTRICOS RESISTIVOS ^[3].

Quando os sensores são excitados provoca-se um desbalanceamento da ponte, sendo a leitura baseada nos valores apresentados pelo galvanômetro. Os princípios utilizados nestes modelos podem ser *indutivos*, no qual a variação da posição do núcleo de ferro no interior das bobinas permite o desbalanceamento da ponte; *capacitivos*, no qual a variação da distância entre as armaduras de um condensador ocasiona o desbalanceamento da ponte; e podem ser ainda *resistivos*, baseados na utilização de *strain gauges*. A deformação deste tipo de sensor ocasiona alterações na sua resistência, o que permite o desbalanceamento da ponte.

Finalmente, existem sistemas de medição baseados em sensores piezoelétricos, que permitem a transformação direta do carregamento atuante sobre os elementos de quartzo em sinais elétricos. A sensibilidade destes elementos permite a leitura baseada em deformações da ordem de centésimos de milímetros, o que torna os sistemas extremamente rígidos. Outra característica de sensores piezoelétricos consiste na inexistência de correção de zero, pois as cargas elétricas são diretamente proporcionais a variação do carregamento atuante sobre os elementos de quartzo. A Figura 7 apresenta um modelo de dinamômetro comercialmente disponível baseado em cristais piezoelétricos.

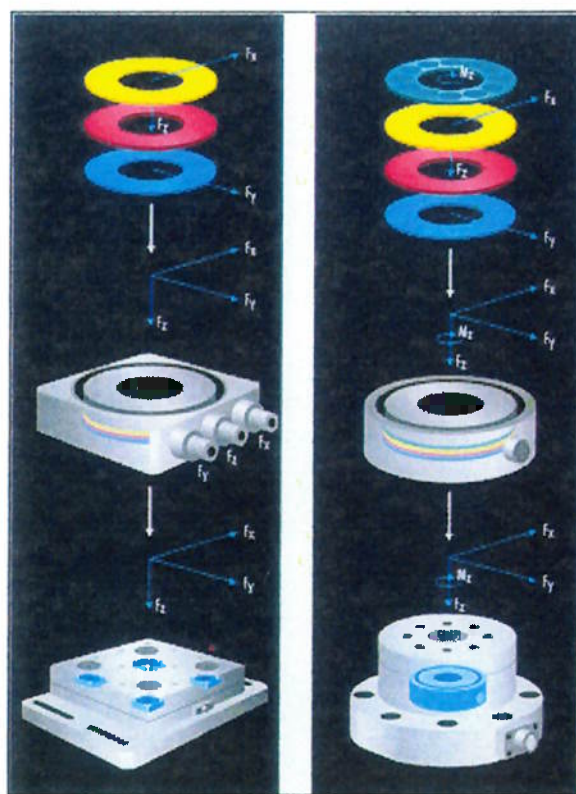


FIGURA 7: DINAMÔMETROS PIEZOELÉTRICOS PARA A MEDIDA DA FORÇA DE USINAGEM [1].

3.6. Modelos de Dinamômetros

Existem diversos modelos de dinamômetros. Com base na revisão bibliográfica realizada pelo autor, o modelo comercialmente disponível normalmente utilizado em ensaios de usinagem utiliza sensores piezoelétricos. Sistemas de medição baseados em sensores piezoelétricos permitem a transformação direta do carregamento atuante sobre os elementos de quartzo em sinais elétricos. Nestes sensores, as cargas elétricas são diretamente proporcionais a variação do carregamento atuante sobre os elementos de quartzo. Devido às propriedades anisotrópicas do quartzo, há elementos sensíveis a esforços normais ou a esforços tangenciais. Assim, para a obtenção de um sistema de medição das três componentes são necessários dois conjuntos sensíveis a esforços tangenciais (F_x e F_y) e um conjunto sensível a esforços normais (F_z).

A montagem utilizada pelo fabricante apresenta duas placas idênticas montadas sobre um eletrodo comum, resultando em uma sensibilidade dobrada. O sistema possui quatro conjuntos de três sensores dispostos sobre a base do equipamento, conforme pode ser verificado na Figura 7. A Figura 8 apresenta um dinamômetro piezoelétrico montado na torre de um torno CNC.

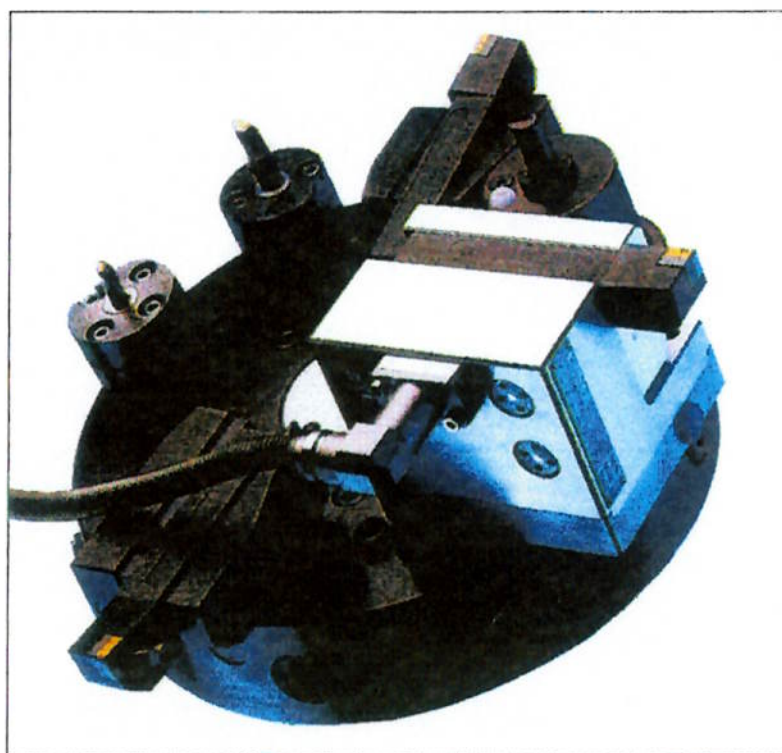


FIGURA 8: DINAMÔMETRO PIEZOELÉTRICO MONTADO NA TORRE DO TORNO CNC [1].

A Figura 9 apresenta o esquema de montagem indicado pelo fabricante. Em resumo, as principais características dos dinamômetros piezoelétricos são apresentadas a seguir:

- ✓ elevada rigidez, permitindo elevada frequência natural;
- ✓ ampla faixa de medidas (range);
- ✓ sensibilidade linear;
- ✓ livre de histerese;
- ✓ facilidade de manuseio;
- ✓ dimensões reduzidas.

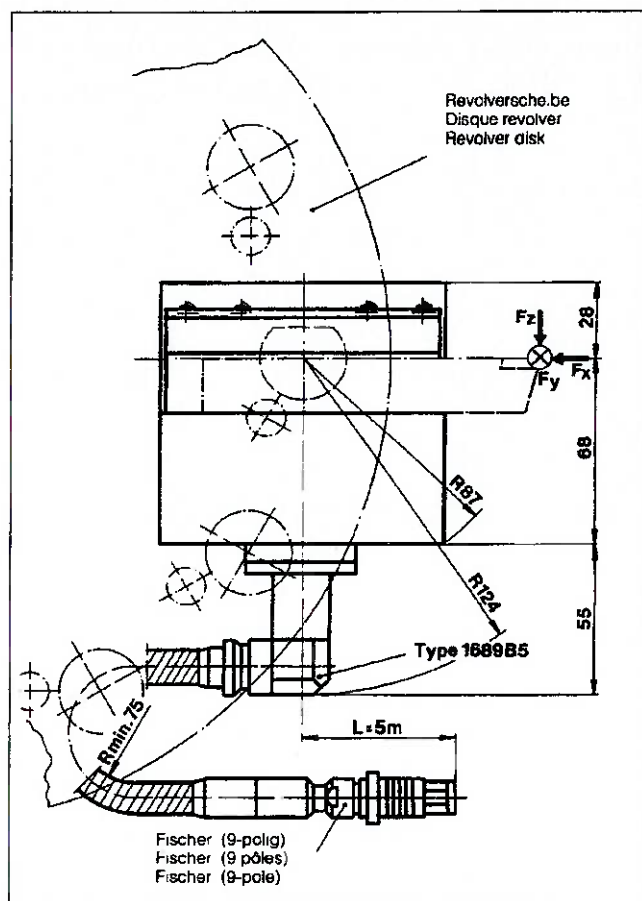


FIGURA 9: MONTAGEM DO DINAMÔMETRO PIEZOELÉTRICO, REPRESENTAÇÃO DAS FORÇAS ^[1].

Existem ainda diversos outros modelos baseados em princípios citados no item anterior. Na Figura 10 apresenta-se um modelo baseado na utilização de extensômetros elétricos resistivos, ou strain gauges. Este modelo permite a medição das três componentes, baseado na disposição dos sensores na região de deformação.

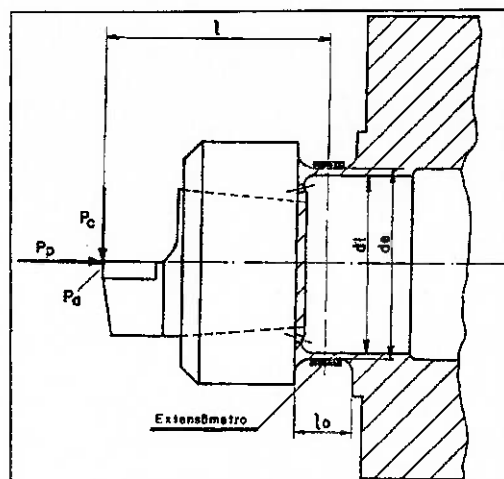


FIGURA 10: VISTA LATERAL DE UM DINAMÔMETRO BASEADO EM STRAIN GAUGES [8].

A disposição dos elementos de medida é apresentada na Figura 11. Os extensômetros R1 e R2 são responsáveis pela medida da força de corte, ou principal de corte, e podem ser visualizados na Figura 10. O par R5 e R6 é responsável pela medida da força de avanço. Os extensômetros R9, R10, R13 e R14 permitem a medição da força de penetração. Este modelo prevê ainda a utilização de extensômetros adicionais (R3, R4, R7, R8, R11, R12, R15 e R16) para a compensação de possíveis variações de temperatura na região de medida. Como os extensômetros baseiam-se em medidas de deformação, a variação de temperatura na região onde estão posicionados os strain gauges pode ocasionar dilatações significativas, as quais podem influenciar diretamente as leituras de deformação resultantes da ação das componentes das forças de corte.

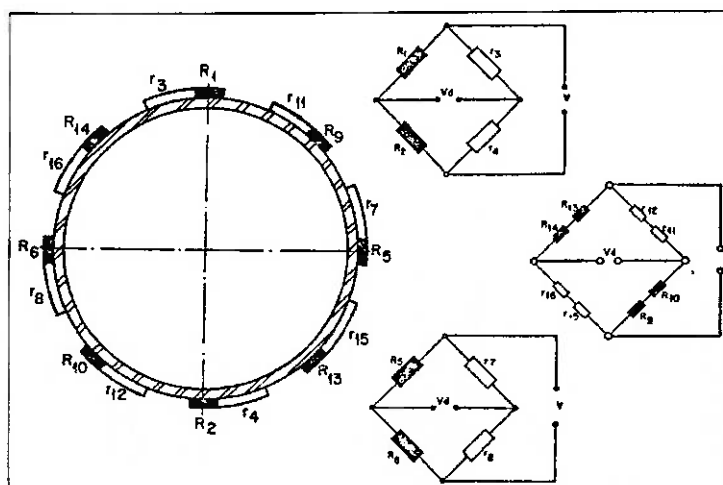


FIGURA 11: DISPOSIÇÃO DOS STRAIN GAUGES NA REGIÃO DE MEDIDA [8].

3.7. Aplicações em Estudos de Processos de Usinagem

Neste tópico são apresentados alguns estudos publicados recentemente em revistas internacionais que utilizam dinamômetros para a medição de esforços em operações de usinagem. Diversos autores têm buscado relacionar o comportamento da força de usinagem com o desgaste das ferramentas utilizadas em operações de usinagem. Entretanto, cada autor apresenta uma forma particular de analisar os resultados obtidos experimentalmente. Assim, a forma escolhida para o tratamento dos sinais adquiridos ao longo dos experimentos atua como elemento diferenciador para cada um dos trabalhos analisados.

O trabalho apresentado por DIMLA ^[9] consiste em uma detalhada revisão dos métodos utilizados para monitorar o desgaste de ferramentas de corte em operações de usinagem. O autor apresenta inicialmente uma breve revisão sobre as formas de desgaste observadas em ferramentas monocortantes, os mecanismos de desgaste dominantes em cada um dos casos típicos, bem como sua relação com os parâmetros de corte. Além das diversas formas de desgaste observadas em ferramentas de usinagem, há outros fatores que tornam o processo de monitoramento complexo, a saber: a não homogeneidade do material usinado, a sensibilidade do processo às condições de corte e a não linearidade observada nas relações do desgaste da ferramenta com os parâmetros de trabalho. Os métodos de monitoramento da condição da ferramenta são agrupados pelo autor em cinco seções que apresentam trabalhos baseados na utilização de sensores de emissão acústica, de temperatura, de força (estática e dinâmica), de aceleração e, para finalizar, diversos métodos tais como monitoramento da corrente do motor de acionamento das máquinas-ferramenta e das condições superficiais da peça usinada. O autor apresenta ainda o conceito de sinergia de integração de diferentes sinais no monitoramento do desgaste de ferramentas, que permite a minimização dos efeitos de ruído e o aumento da confiabilidade da leitura obtida.

O artigo apresentado por DIMLA e LISTER ^[10] descreve um método de monitoramento do desgaste de ferramentas em uma operação de torneamento, baseado na leitura das componentes da força de usinagem e do sinal de vibração obtido por meio de acelerômetros montados no porta-ferramentas. Para a obtenção dos sinais, foram utilizados sensores comercialmente disponíveis, consistindo de mini acelerômetros capazes de fornecer leituras em três direções e uma plataforma dinamométrica capaz de fornecer os valores de força segundo três planos de trabalho. As ferramentas

utilizadas consistem em insertos de metal duro P15 e P25 revestidas. Os ensaios foram executados na ausência de fluidos de corte, com diferentes valores para os parâmetros de corte, mas mantendo em cada experimento a velocidade de corte constante. A medição do desgaste das ferramentas foi realizada com auxílio de um microscópio. Os resultados obtidos pelos autores são apresentados por meio de tabelas e gráficos. Foram utilizados métodos de análise de sinais nos domínios do tempo e da frequência (FFT). Há diversos gráficos que apresentam o comportamento do desgaste da ferramenta em relação ao tempo de corte, a correlação observada entre o desgaste de flanco e as componentes de força estática, componentes de força dinâmica, e aceleração. Os espectros de frequência das leituras de força e aceleração foram plotados em sequência de maneira a permitir a visualização do desenvolvimento do processo de desgaste da ferramenta. Ao final do trabalho, os autores apresentam suas conclusões, das quais podem-se destacar: as leituras da componente tangencial da força de usinagem e da aceleração nesta direção mostraram maior sensibilidade ao desgaste da ferramenta; apesar da variação dos parâmetros de corte implicar diretamente na variação dos valores medidos, é possível separar esta alteração daquelas provocadas pela degradação do ferramental de corte.

O trabalho apresentado por GHASEMPOOR et al. ^[11] consiste no desenvolvimento de um sistema para o monitoramento em tempo real da condição da ferramenta em uma operação de torneamento, baseado na medição das componentes da força de usinagem. Os autores apresentam um dado de caráter econômico que, embora tenha sido originalmente apresentado em 1984, reflete a importância do tema: em operações de usinagem, em média, *aproximadamente 7% do tempo de máquina parada resulta de falhas de ferramental de corte*. Uma breve revisão bibliográfica referente a trabalhos que relacionam o desgaste da ferramenta ao comportamento das componentes da força de usinagem é apresentada, ressaltando a influência dos parâmetros de corte neste processo. Além disto, os autores ressaltam que os mecanismos de desgaste dominantes dependem não apenas destes parâmetros, mas também de propriedades dos materiais da ferramenta e da peça usinada. Em relação à sensibilidade dos valores de força com a variabilidade do processo, os autores propõem a utilização da normalização por meio de quocientes que relacionam as componentes, minimizando assim a importância de cada um dos valores absolutos. Os experimentos foram realizados na ausência de fluidos de corte. As ferramentas são de metal duro revestido. São apresentados ainda os dados experimentais utilizados, bem como a frequência de corte do filtro analógico, a saber 1000 Hz, e a frequência de amostragem dos sinais, a saber 3000 Hz. Foram usinadas peças de aço carbono AISI

1045 e de aço liga AISI 4340. Ao final, são apresentados gráficos do comportamento do desgaste ao longo do tempo de corte. A comparação dos valores de desgaste estimados com os valores medidos permite concluir que a previsão do desgaste por crateramento, dominante no corte do aço ligado, é menos precisa, provavelmente devido ao efeito do desgaste de flanco no comportamento das componentes da força de usinagem. Trabalhos semelhantes foram apresentados por LEE e LEE ^[12] e LIU e ALTINTAS ^[13], utilizando redes neurais alimentadas com os sinais de força para a previsão do desgaste de flanco em ferramentas monocortantes.

O artigo apresentado por DAVIM e BAPTISTA ^[14] consiste em um bom exemplo do estudo da relação existente entre a força de usinagem e o desgaste da ferramenta. O trabalho foi desenvolvido em operações de furação e torneamento do compósito A356/20/SiCp-T6 (matriz de alumínio A356 e reforço de partículas de Carbetto de Silício), com ferramentas de diamante policristalino. A medição dos esforços de corte foi realizada com base na utilização de dinamômetros piezoelétricos. A medição do desgaste das ferramentas foi realizada com auxílio de um microscópio óptico com 30 vezes de aumento e 0.1 μm de resolução. O mecanismo dominante de desgaste consiste no desgaste abrasivo, e sua medição foi realizada com base na norma ISO 3685. Os autores apresentam as curvas de desgaste e das componentes da força de usinagem obtidas sob diferentes parâmetros de corte, permitindo a avaliação da sensibilidade da ferramenta a cada um dos parâmetros estudados.

No trabalho proposto por OBIKAWA et al. ^[15], o monitoramento da força de avanço em uma operação de torneamento alimenta duas redes neurais responsáveis pela determinação do desgaste e da taxa de desgaste de flanco de uma ferramenta monocortante. Ao espectro de potência do sinal de força são adicionadas as informações referentes às componentes tangencial e de profundidade, além das informações geométricas básicas da peça. Desta forma, cada uma das redes recebe as informações de entrada e responde com apenas uma saída. O sistema composto pelas redes é chamado sistema de monitoramento do desgaste da ferramenta. Com base nestas informações, um segundo sistema determina os parâmetros ideais de trabalho para a operação. A integração dos sistemas consiste em uma poderosa ferramenta para o funcionamento autônomo da máquina-ferramenta.

A análise do comportamento dos esforços de usinagem pode auxiliar no desenvolvimento de novas tecnologias de fabricação. As técnicas de usinagem sob altíssimas velocidades de corte (*high speed machining* ou *high speed cutting*), por

exemplo, implicam em grandes vantagens tais como elevadas taxas de remoção de material, baixos esforços de usinagem, baixos valores de rugosidade obtida, além de não provocar danos à superfície de trabalho, conforme trabalho apresentado por DEWES e ASPINWALL ^[16]. Entretanto, as ferramentas utilizadas apresentam elevado custo e seu comportamento ao desgaste ainda não está completamente caracterizado. Desta forma, a medição dos esforços de usinagem e da temperatura da ferramenta pode permitir, entre outras realizações, a otimização do uso do ferramental em operações desta natureza. Alguns trabalhos desenvolvidos recentemente nesta área são resumidamente apresentados a seguir.

Uma das áreas que apresentam maior potencial para a aplicação desta tecnologia consiste na fabricação de moldes e matrizes de materiais de elevada resistência mecânica e ao desgaste. Neste contexto torna-se relevante o trabalho de comparação do desempenho de ferramentas para fresamento sob altíssimas velocidades de corte. No artigo apresentado por URBANSKI et al. ^[17], o desgaste das ferramentas, o acabamento superficial das peças e os níveis de força de usinagem foram escolhidos como parâmetros para a comparação. A medição do desgaste das ferramentas foi realizada com base em um analisador de imagens com 50 vezes de ampliação, um sistema de impressão a laser em branco e preto e uma mesa de medição capaz de fornecer 1 μm de resolução. As medidas de força foram realizadas com base na utilização de uma plataforma dinamométrica, acoplada diretamente a um sistema de amplificadores de carga e a um osciloscópio. Os testes de usinagem foram executados segundo a norma ISO 8688-2, 1989. São apresentadas diversas curvas que relacionam o desgaste das ferramentas com o comprimento total de corte, além do comportamento das forças de usinagem ao longo da operação. Com base nestes resultados pôde-se realizar o trabalho de comparação anteriormente citado, bem como pôde-se obter um melhor conhecimento do processo de fresamento sob altíssimas velocidades de corte.

Atualmente, devido à constante preocupação com os aspectos ambientais da produção, técnicas de usinagem com a mínima utilização de fluidos refrigerantes podem ser associadas a tecnologias de fabricação tais como a usinagem sob elevadas velocidades de corte. No texto apresentado por D'ERRICO et al. ^[18], o estudo do comportamento de ferramentas ao desgaste é realizado para a verificação da viabilidade econômica do processo. Além da verificação visual da ferramenta, o monitoramento das forças de usinagem é realizado ao longo do processo, permitindo

avaliar a potência de corte consumida para a remoção de um determinado volume de material.

Outro foco de estudos observado consiste no desenvolvimento de sistemas auxiliados por computador para a seleção dos parâmetros de processo em operações de usinagem sob altíssimas velocidades de corte. Como exemplo, pode-se citar o sistema desenvolvido por KALDOS et al. ^[19], com base na utilização de bancos de dados para a alimentação de um modelo computacional. Os resultados finais são confrontados com valores obtidos experimentalmente. O autor apresenta os resultados para a força principal de corte, bem como para potência consumida, e a comparação com os valores experimentais indica um erro de aproximadamente 10%. Este trabalho auxilia no entendimento do comportamento da força de usinagem em operações sob altíssimas velocidades de corte.

Com base na revisão bibliográfica realizada pode-se destacar a existência e a atualidade de duas importantes linhas de pesquisa diretamente relacionadas a este trabalho, a saber: o *desenvolvimento de sistemas de monitoramento on-line da condição da ferramenta* que utilizam, por exemplo, as correlações entre o desgaste do ferramental e o comportamento das componentes da força de usinagem, o comportamento vibracional do porta-ferramentas ou mesmo a temperatura da ferramenta, para obter um sistema que proporcione ganhos de automatização e de otimização dos processos de fabricação baseados em operações de usinagem; e ainda a *investigação dos mecanismos de desgaste dominantes em operações que envolvam a utilização de novos materiais, seja da ferramenta ou da peça, ou mesmo em processos inovadores de fabricação*, casos nos quais a caracterização do desgaste possibilita a verificação da viabilidade técnico-econômica destas operações.

4. ESTABELECIMENTO DA NECESSIDADE

A realização deste trabalho foi motivada pela necessidade de obtenção de uma ferramenta que permitisse a medição das três componentes da força de usinagem, para aplicação em estudos de mecanismos de desgaste observados em ferramentas de corte. Devido principalmente ao elevado custo apresentado pelos modelos comercialmente disponíveis, como se pode comprovar no Anexo VIII, optou-se pelo desenvolvimento do modelo baseado na utilização de extensômetros elétricos resistivos, ou strain gauges, apresentado neste texto.

A execução deste projeto permitiu ainda a verificação de diversos temas relacionados ao desgaste de ferramentas de usinagem, tais como o desenvolvimento de sistemas de monitoramento da condição do ferramental, utilizados para a otimização e para a automatização de processos de fabricação baseados em operações de usinagem; o desenvolvimento de novas técnicas de fabricação tais como os processos realizados sob elevadas velocidades de corte ou ainda os processos realizados sob condições de mínima lubrificação e a seco; além da verificação de estudos de caráter tribológico nestas ferramentas; o que resultou na preparação do autor para a realização do trabalho de mestrado, a ser iniciado imediatamente após a conclusão do Curso de Graduação.

5. APRESENTAÇÃO DO ESTUDO DE VIABILIDADE

Neste item será apresentado o estudo de viabilidade de um dinamômetro que utiliza extensômetros elétricos resistivos. As informações aqui apresentadas auxiliam na verificação da viabilidade técnica do projeto.

Deve-se ressaltar que o projeto deve permitir a execução de um protótipo simplificado, com base no qual deseja-se estudar o comportamento dos sensores e do sistema de condicionamento e aquisição que se deseja utilizar. Paralelamente ao desenvolvimento deste protótipo, o autor verificou outras configurações possíveis para o dinamômetro, buscando a otimização das características que um sensor desta natureza deve apresentar. Desta forma, ao final deste projeto há dois resultados principais, a saber: um modelo otimizado do dinamômetro, com geometria bem definida, que permita boa adequação aos requisitos de projeto; e o domínio do comportamento do sistema de sensores e condicionadores de sinal, incluindo o projeto dos circuitos utilizados no sistema de condicionamento e aquisição. A integração destes dois grupos de informações permite a obtenção de um sensor adequado para a medição dos esforços de usinagem.

Alguns requisitos de projeto de um sensor desta natureza foram apresentados no item REVISÃO BIBLIOGRÁFICA, e devem ser cuidadosamente estudados. As estas características devem ser acrescentadas as considerações apresentadas a seguir:

- ✓ o sensor deve fornecer um sinal claro e confiável;
- ✓ a medição deve ser realizada em condições tão próximas quanto possível das condições reais de usinagem;
- ✓ o sensor não deve implicar em nenhuma redução na rigidez estática e dinâmica da máquina-ferramenta;
- ✓ o dinamômetro não deve implicar em nenhuma restrição do espaço de trabalho e dos parâmetros de corte utilizados;
- ✓ o sistema deve apresentar mínimas exigências de manutenção;
- ✓ deve ainda possibilitar trocas fáceis e baixos custos;
- ✓ o conjunto deve ainda apresentar resistência às influências de processo, tais como presença de cavacos, fluidos de refrigeração e lubrificação, entre outros;
- ✓ seu funcionamento deve ser independente da ferramenta ou peça de trabalho.

A seguir são apresentados alguns cálculos iniciais utilizados no desenvolvimento do protótipo para a medição das componentes da força de usinagem em uma operação de torneamento.

5.1. Estimativa das Componentes da Força de Usinagem

Para a estimativa das forças de corte algumas considerações iniciais foram realizadas. O material de trabalho aqui considerado é o SAE 1045 e os parâmetros de usinagem são limitados pela capacidade da máquina operatriz utilizada, a saber, um torno CNC Mazak QT8N. Neste equipamento, o torque máximo aplicado à peça é de 9 kgm e o diâmetro máximo usinado é de 100 mm.

Assim, pode-se realizar uma primeira estimativa da força de corte, conforme apresentado a seguir:

$$F_c = T_{\max} / r_{\text{usinado}}$$

O diâmetro da peça usinada durante o ensaio pode ser considerado 50 mm nesta primeira aproximação. Assim:

$$F_c = 9 \text{ kgm} / 0.025 \text{ m} = 3.6 \text{ kN}$$

As ferramentas a serem utilizadas são de metal duro, e as velocidades de corte normalmente utilizadas para estas ferramentas não superam 200 m/min para ferramentas não recobertas, podendo chegar até 300 m/min com a utilização de revestimentos cerâmicos. Para a realização de um ensaio acelerado, pode-se utilizar uma velocidade de corte da ordem de 400 m/min.

Desta forma, a rotação de trabalho será obtida pela relação:

$$n = 1000 \cdot V_c / \pi \cdot D \quad , \quad \text{onde } n \text{ é fornecida em rpm quando se utiliza } V_c \text{ em m/min e } D \text{ em mm.}$$

Assim:

$$n = 1000 \cdot 400 / \pi \cdot 50 \approx 2500 \text{ rpm}$$

Tal rotação pode ser obtida no equipamento utilizado. A potência requerida nestas condições pode ser calculada pela expressão:

$$N_{req} = T \cdot \omega = T \cdot (n \cdot 2\pi / 60)$$

Assim:

$$N_{req} = 9 \text{ kgm} \cdot (2500 \cdot 2\pi / 60) \approx 2.4 \text{ kW}$$

O limite de potência do torno é de 5.5 kW para funcionamento contínuo e 7.5 kW para funcionamento em sobrecarga (30min rating). A relação entre as forças de corte, de avanço e de profundidade para uma operação de desbaste cilíndrico externo pode ser aproximada como 4:2:1 ^[5]. Para uma força de corte de 4 kN, a força de avanço seria de aproximadamente 2 kN, e a força de profundidade de 1 kN. Outra estimativa para os valores destas componentes pode ser realizada com base nos valores dos parâmetros de usinagem e das propriedades do material usinado. Para o aço SAE 1045 a pressão específica de corte vale aproximadamente 200 kgf/mm². Para uma operação de desbaste o avanço pode assumir valores de aproximadamente 0.5 mm/rev, e a profundidade de corte pode assumir o valor de 2 mm. Desta forma, a força de corte pode ser verificada com base na relação:

$$F_c = k_s \cdot A_s = k_s \cdot (a \cdot p)$$

Para os valores assumidos nesta avaliação preliminar:

$$F_c = 200 \text{ kgf/mm}^2 \cdot (0.5 \text{ mm/rev} \cdot 2 \text{ mm}) = 2 \text{ kN}$$

Para os cálculos apresentados a seguir, o valor da força de corte é de 4.0 kN. Para as forças de avanço e de penetração, o valor assumido é de 2.0 kN e 1.0 kN, respectivamente.

5.2. Apresentação da Geometria Básica - Protótipo

O modelo resultante da fase inicial de projeto baseia-se em uma barra de seção cilíndrica anular, a qual deverá estar submetida a esforços de flexão e compressão. Sobre esta barra serão posicionados os sensores para a medida das deformações resultantes da ação dos esforços de usinagem. Com o objetivo de simplificar o projeto, a barra inicialmente considerada consiste em um porta-ferramentas utilizado para a usinagem interna de furos. A Figura 12 apresenta dois modelos da barra de mandrilar.

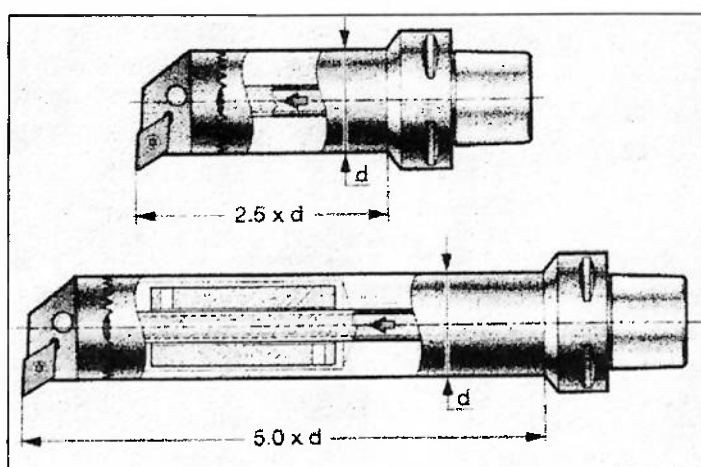


FIGURA 12: BARRAS DE MANDRILAR PARA CABEÇAS DE CORTE INTERCAMBIÁVEIS [20].

A escolha deste tipo de elemento permite a obtenção de um sistema flexível para o ensaio de diversos tipos de ferramentas, pois o porta-insertos é intercambiável. A Figura 13 apresenta o sistema de fixação da ferramenta.

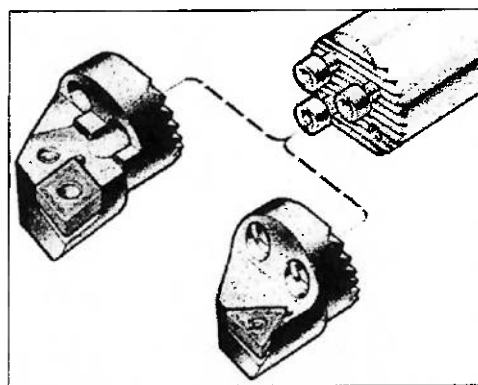


FIGURA 13: INTERCAMBIABILIDADE NA FIXAÇÃO DA CABEÇA DE CORTE NA BARRA DE MANDRILAR [20].

A montagem desta barra, devidamente instrumentada, seria realizada em uma peça semelhante às aquelas apresentadas nas Figuras 8 e 9, a qual possui a única finalidade de permitir a sua fixação no torno Mazak QT8N em uma das posições do magazine reservadas para ferramentas de barra (20x20 mm).

5.3. Cálculo das Tensões e Deformações na Região de Medida

Uma primeira aproximação do valor das tensões e deformações na região de medida foi realizada com base na utilização de expressões que relacionam os esforços atuantes à geometria e propriedades mecânicas do porta-ferramentas. Assim, a tensão de compressão gerada pela ação da força de penetração pode ser escrita como:

$$\sigma_c = \frac{F_p}{A_s} \quad , \text{ onde } A_s \text{ é a área da seção transversal.}$$

A tensão de flexão atuante devido às forças de corte e de avanço pode ser expressa como:

$$\sigma_f = \frac{M}{W_s} \quad , \text{ onde } M \text{ é o momento fletor causado pela ação da força cortante, medido na posição de leitura dos extensômetros, } W_s \text{ é o momento resistente da seção transversal.}$$

As deformações foram obtidas diretamente da Lei de Hooke, pois a ação das forças não obriga o porta-ferramentas a trabalhar fora do regime elástico. Assim:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} \quad , \text{ onde } E \text{ é o módulo de elasticidade transversal (de Young).}$$

Uma planilha eletrônica foi utilizada para a determinação destes valores, fornecendo ainda uma estimativa da variação de posição da ponta da ferramenta devido à ação da força de usinagem. Tal abordagem permite a verificação das diversas dimensões fornecidas pelo fabricante do porta-ferramentas. Esta planilha é apresentada ao final deste texto, no Anexo IV. Além disto, um programa que utiliza o método dos elementos finitos foi utilizado para a verificação do comportamento da barra quando submetida aos esforços de usinagem.

O resultado é apresentado na Figura 14, na qual pode-se notar que a variação de posição da ponta da ferramenta pode atingir até 150 μm . Tal valor apresenta-se próximo ao valor da flecha calculada para o porta-ferramentas original, modelo CTGPR2020K16, que atinge 100 μm de variação para as mesmas forças aplicadas.

deslocamento vertical do sensor [mm]

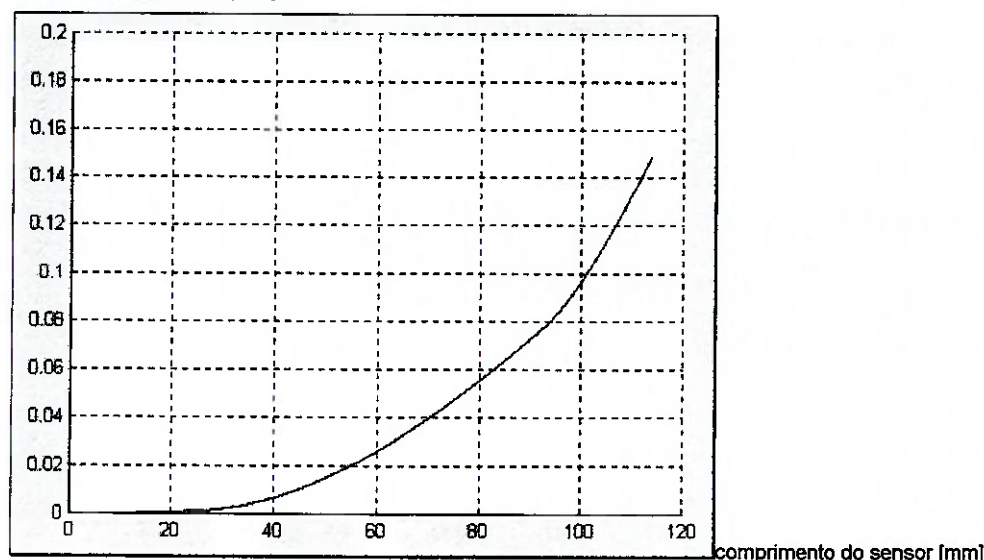


FIGURA 14: COMPORTAMENTO DA LINHA NEUTRA DO SENSOR EM FUNÇÃO DO COMPRIMENTO DO SENSOR (DIMENSÕES EM MM).

A escolha das dimensões finais deve ser realizada após a verificação das frequências naturais de cada uma das alternativas consideradas. O cálculo de tal frequência é apresentado a seguir.

5.4. Estimativa da Frequência Natural

O cálculo da frequência natural de oscilação do dinamômetro foi realizado com base no método exato. Além disto, foi utilizado um programa que utiliza o método dos elementos finitos, que permite a visualização do primeiro modo de vibrar do sensor.

A Figura 15 apresenta o modelo simplificado do sensor, representado por uma viga em balanço de comprimento ' L ', momento de inércia ' I ', módulo de elasticidade ' E ' e densidade linear ' ρ '. Para o cálculo da frequência natural de oscilação pelo método exato, foram considerados constantes os valores de ' I ' e ' E '.

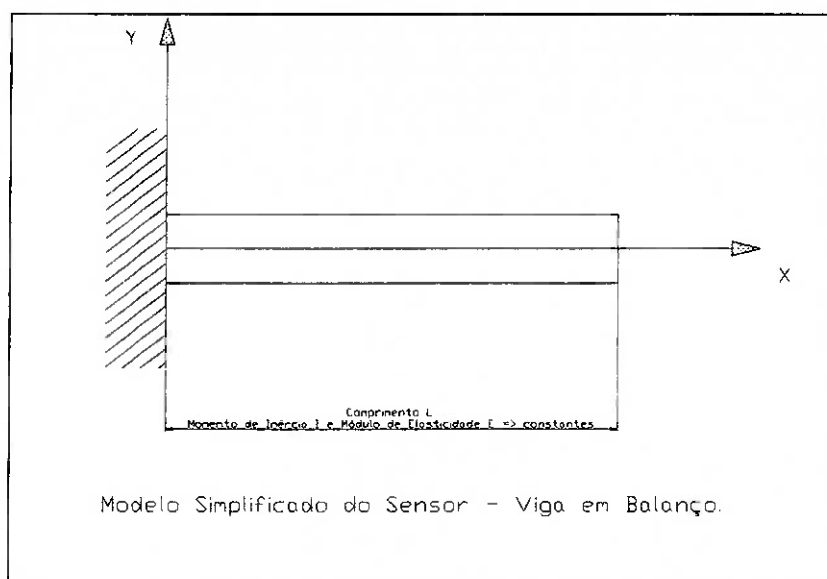


FIGURA 15: MODELO UTILIZADO PARA O CÁLCULO EXATO.

A equação a derivadas parciais que representa a deformação de uma viga segundo o eixo 'y' pode ser entendida com base na expressão 1:

$$-\frac{\partial^2}{\partial x^2} \left[EI(x) \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right] + f(x,t) = \rho(x) \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \quad (1)$$

Considerando nulas as forças atuantes ($f(x,t)=0$), e uma viga homogênea e de seção transversal constante, pode-se obter a expressão 2:

$$EI \cdot \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + \rho \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = 0 \quad (2)$$

Utilizando a técnica de separação de variáveis, pode-se buscar a solução $y(x,t)$ tal que seja válida a relação:

$$y(x,t) = \varphi(x) \cdot f(t) \quad (3)$$

Assim, com base nas expressões 2 e 3, para a variável x, tem-se:

$$\frac{d^4 \varphi}{dx^4} - \frac{w^2 \rho}{EI} \cdot \varphi = 0 \quad (4)$$

Tomando $\frac{w^2 \rho}{EI} = \beta^4$, pode-se facilmente obter a relação 5:

$$\frac{d^4 \varphi}{dx^4} - \beta^4 \cdot \varphi = 0 \quad (5)$$

Uma boa estimativa de $\varphi(x)$ é apresentada a seguir:

$$\varphi(x) = C_1 \sin(\beta x) + C_2 \cos(\beta x) + C_3 \sinh(\beta x) + C_4 \cosh(\beta x) \quad (6)$$

As condições de contorno para uma viga em balanço, engastada em $x=0$, são apresentadas a seguir:

$$\varphi(0) = 0 \quad (7)$$

$$\left. \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right|_{x=0} = 0 \quad (8)$$

$$\left. \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} \right|_{x=L} = 0 \quad (9)$$

$$-\left. \frac{\partial^3 \varphi}{\partial x^3} \right|_{x=L} = 0 \quad (10)$$

A relação 7 indica que não há deslocamento vertical no engastamento. A relação 8 indica que não há deslocamento angular no engastamento. A relação 9, válida para a extremidade livre, representa a inexistência de momento naquele ponto, enquanto a relação 10 indica que não há esforço cortante em $x=L$. Aplicando as condições de contorno à relação 6, pode-se obter o seguinte conjunto de equações.

$$\begin{aligned} C_1 \cdot \sin(\beta 0) + C_2 \cdot \cos(\beta 0) + C_3 \cdot \sinh(\beta 0) + C_4 \cdot \cosh(\beta 0) &= 0 \\ C_2 + C_4 &= 0 \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \beta C_1 \cdot \cos(\beta 0) - \beta C_2 \cdot \sin(\beta 0) + \beta C_3 \cdot \cosh(\beta 0) + \beta C_4 \cdot \sinh(\beta 0) &= 0 \\ C_1 + C_3 &= 0 \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} -\beta^2 C_1 \cdot \sin(\beta L) - \beta^2 C_2 \cdot \cos(\beta L) + \beta^2 C_3 \cdot \sinh(\beta L) + \beta^2 C_4 \cdot \cosh(\beta L) &= 0 \\ -C_1 \cdot \sin(\beta L) - C_2 \cdot \cos(\beta L) + C_3 \cdot \sinh(\beta L) + C_4 \cdot \cosh(\beta L) &= 0 \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} -\beta^3 C_1 \cdot \cos(\beta L) + \beta^3 C_2 \cdot \sin(\beta L) + \beta^3 C_3 \cdot \cosh(\beta L) + \beta^3 C_4 \cdot \sinh(\beta L) &= 0 \\ -C_1 \cdot \cos(\beta L) + C_2 \cdot \sin(\beta L) + C_3 \cdot \cosh(\beta L) + C_4 \cdot \sinh(\beta L) &= 0 \end{aligned} \quad (14)$$

Das relações 11 e 12 pode-se obter:

$$\begin{aligned} C_1 &= -C_3 \\ C_2 &= -C_4 \end{aligned} \quad (15)$$

Aplicando este resultado às expressões 12 e 13 pode-se obter a seguinte equação característica:

$$\cos(\beta L) \cdot \cosh(\beta L) + 1 = 0 \quad (16)$$

A solução desta equação leva aos valores de frequência natural. O valor da primeira frequência natural é apresentado a seguir:

$$\omega_1 = 1.875^2 \cdot \sqrt{\frac{EI}{\rho L^4}} \quad (17)$$

Tal expressão indica o valor de 1.5E4 Hz para a primeira frequência natural.

Entretanto, tal valor baseia-se em um modelo de viga em balanço, indicando duas possíveis fontes de erro, a saber: as dimensões da barra utilizada para o cálculo inicial não correspondem às dimensões finais do protótipo, são apenas aproximadas; e o contato da ferramenta com a peça não permite uma oscilação livre da ponta da barra.

Para a realização do cálculo pelo método dos elementos finitos, o sensor foi dividido em diversas seções, sendo calculado para cada uma delas os valores médios das propriedades observadas na expressão 17. O resultado obtido confirma o valor obtido no cálculo exato. A Figura 16 apresenta o modo de vibrar da barra para a frequência natural de oscilação fundamental.

deslocamento vertical do sensor [mm]

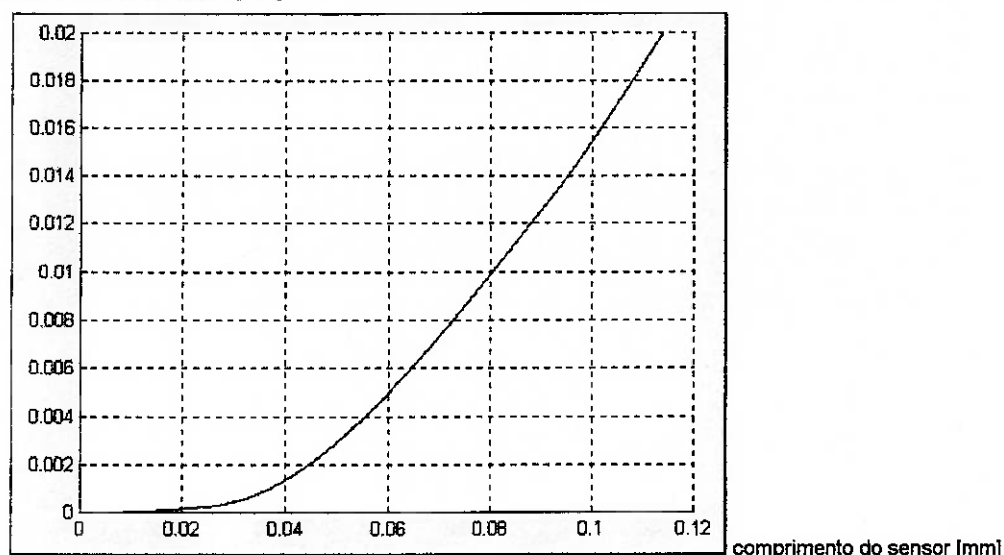


FIGURA 16: MODO DE VIBRAR NA FREQUENCIA FUNDAMENTAL EM FUNÇÃO DO COMPRIMENTO DO SENSOR.

5.5. Escolha dos Sensores

Com base nos valores de deformação obtidos, e com auxílio de catálogos, pode-se determinar o modelo dos strain gauges utilizados no sensor. Ao final deste trabalho são apresentados os textos que auxiliaram nesta determinação, nos Anexos V e VI.

O modelo a ser utilizado é apresentado a seguir: strain gauge *KIOWA KFG-2-350-C1-11*, $R=350$ Ohms, Gauge Factor=2.1, Gauge Length=2 mm, Grid Width=2 mm, Matrix Length=6.3 mm, Matrix Width=4.2 mm.

Os sensores são dispostos em pontes de Wheatstone, sendo cada uma das pontes responsável pela leitura de uma das componentes da força de usinagem. A disposição e a montagem dos extensômetros é apresentada no item DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO.

6. DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

Conforme apresentado nos itens anteriores, este projeto prevê o desenvolvimento de um protótipo de geometria simples para a verificação do comportamento dos sensores e do sistema de condicionamento e aquisição de sinais. Neste item é apresentado o desenvolvimento deste protótipo, enfocando o projeto do corpo do sensor, bem como dos sensores e do sistema de condicionamento.

6.1. Projeto do Corpo do Sensor

O chamado corpo do sensor é composto de três partes principais, a saber: o elemento responsável pela fixação do sensor na torre do torno (*PEÇA 1*), o corpo do sensor, em forma de barra semelhante àquela apresentada na Figura 12 (*PEÇA 2*), e o porta insertos, semelhante aos modelos apresentados na Figura 13 (*PEÇA 3*).

No protótipo, os elementos serão usinados em aço ABNT 1045, e não receberão qualquer tratamento térmico ou superficial que altere as suas propriedades mecânicas. Apenas uma oxidação será imposta aos elementos para que o sensor não sofra os efeitos de corrosão durante os ensaios. O projeto e a fabricação destes elementos resulta em uma diminuição dos custos envolvidos, principalmente quando comparados com os valores de elementos semelhantes encontrados no mercado de ferramentas para usinagem. Além disto, a utilização de elementos comercialmente disponíveis, tais como as barras de mandrilar apresentadas na Figura 12, impõe condições de geometria e dimensões que apenas aproximam-se dos valores ideais calculados. Os desenhos de fabricação destes elementos são apresentados no Anexo I.

A *PEÇA 1 – SUPORTE DE FIXAÇÃO DO SENSOR*, apresentada na Figura 17, possui como função principal permitir a realização da montagem do corpo do sensor na máquina-ferramenta. Para isto, tal elemento possui um corpo semelhante a uma ferramenta de barra, associado a um flange para a fixação da *PEÇA 2*. O flange possui um cone morse interno para que a rigidez resultante do acoplamento das peças 1 e 2 seja semelhante a um engastamento ideal. Além disto, a fixação é realizada por meio de 8 parafusos allen M5. Uma nervura foi adaptada na parte inferior do corpo com o objetivo de proporcionar uma elevação da rigidez estrutural do conjunto.

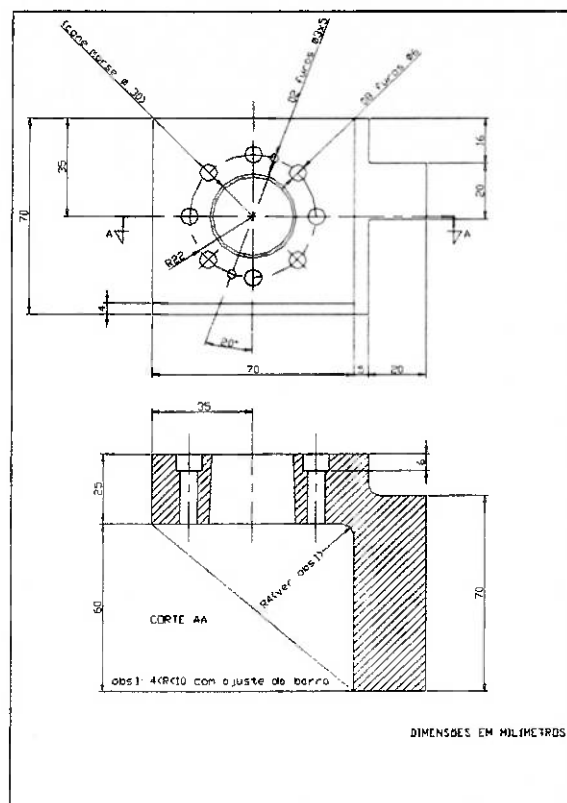


FIGURA 17: SUPORTE DE FIXAÇÃO DO SENSOR.

A **PEÇA 2 – CORPO DO SENSOR**, apresentada na Figura 18, possui como função principal suportar os strain gauges responsáveis pela medição indireta das forças atuantes durante a operação de torneamento. Para isto, tal elemento possui um corpo cilíndrico semelhante a uma ferramenta de mandrilamento de furos em tornos. Além disto, tal elemento recebe a montagem do porta-ferramentas propriamente dito.

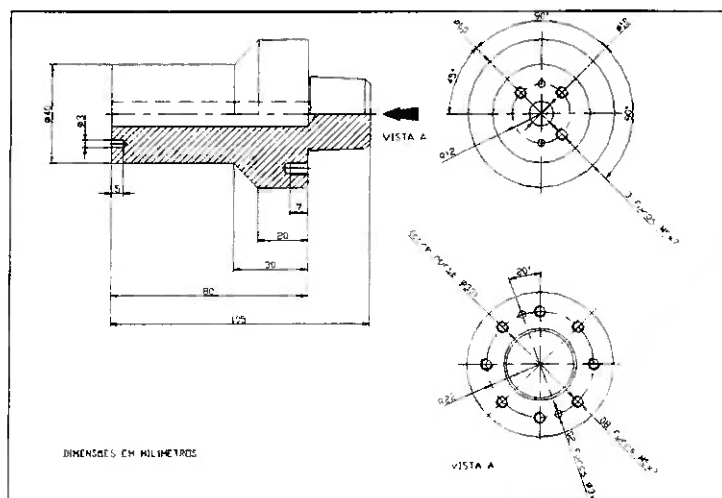


FIGURA 18: CORPO DO SENSOR.

A *PEÇA 3 – PORTA INSERTOS*, apresentada na Figura 19, foi projetada de forma a permitir a troca rápida das pastilhas, por meio de um sistema de cabeça de corte intercambiável. Assim, em cada troca, apenas o porta insertos é retirado, enquanto o corpo principal do sensor é mantido em sua posição original.

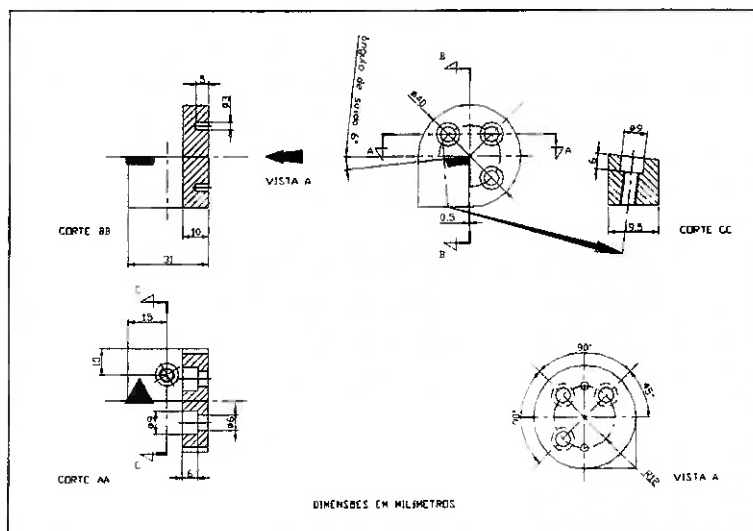


FIGURA 19: PORTA INSERTOS.

O valor final de fabricação do conjunto é apresentado ao final deste texto, no Anexo II.

6.2. Disposição dos Sensores

Os strain gauges utilizados neste projeto estão distribuídos de maneira a formar 3 pontes completas, uma para cada componente da força de usinagem. Para isto, a *PEÇA 2* possui 8 alojamentos para os strain gauges, dispostos a 45° a partir do eixo horizontal.

A componente principal, ou força de corte, é medida sob efeitos de deformação por flexão pelos extensômetros dispostos segundo o eixo vertical da face da *PEÇA 2*. Os quatro elementos são dispostos segundo dois pares, montados nas faces superior e inferior, ou posições 90° e 270° , alinhados com o eixo longitudinal da peça. A componente de avanço é medida sob efeitos de deformação por flexão pelos extensômetros dispostos segundo o eixo horizontal da face da *PEÇA 2*. Os quatro elementos são dispostos segundo dois pares, montados nas faces laterais, ou posições 0° e 180° , alinhados com o eixo longitudinal da peça. A força de penetração é medida sob efeitos de deformação por compressão pelos extensômetros dispostos

nas posições múltiplas de 45°, consideradas a partir da posição 0°. Em cada posição são montados dois elementos, de forma a obter uma melhor sensibilidade.

A disposição dos sensores permite a compensação da variação de temperatura e não é sensível ao efeito de Poisson. Além disto, a disposição dos sensores responsáveis pela medição da componente de penetração, baseada no efeito compressivo desta força, permite que não haja influência das componentes de flexão sobre esta leitura.

A Figura 20 apresenta a disposição dos extensômetros na configuração final do sistema de medição, ou protótipo.

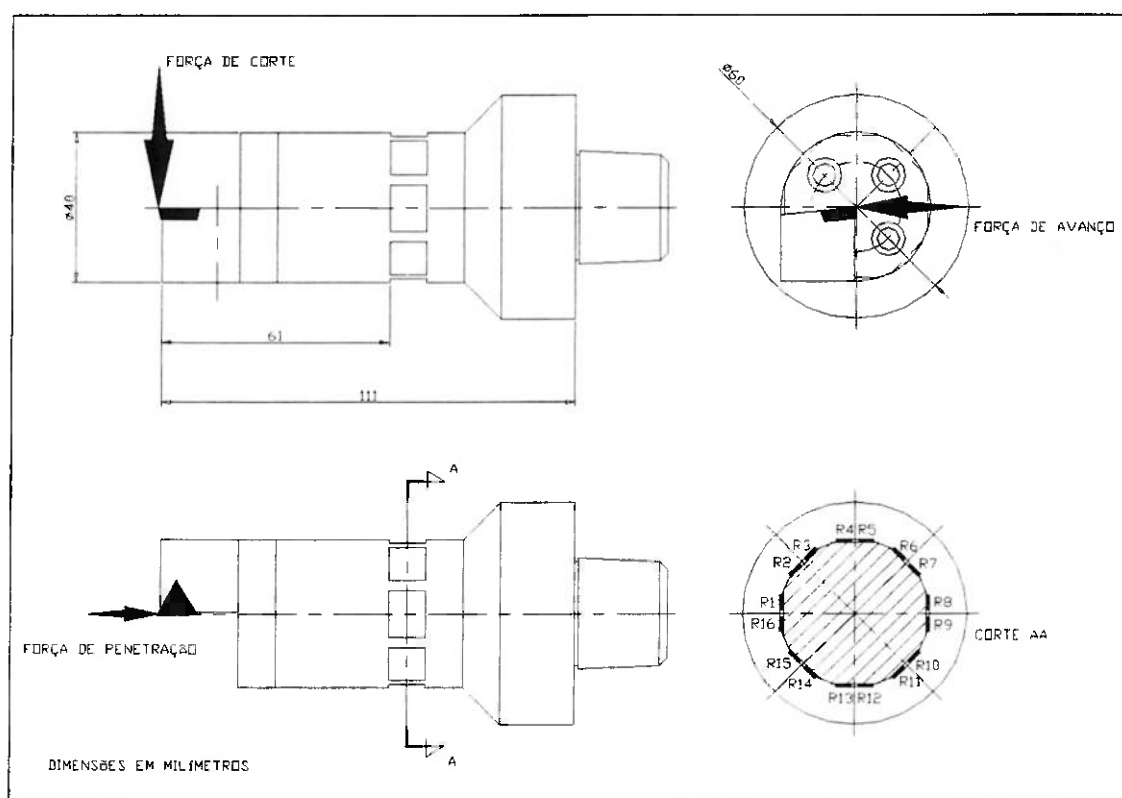


FIGURA 20: DISPOSIÇÃO DOS EXTENSÔMETROS.

Nesta figura pode-se ainda observar as componentes da força de usinagem atuando diretamente sobre a ferramenta. Com base nesta configuração pode-se visualizar a distribuição de tensões ao longo do porta-ferramentas, e consequentemente a distribuição de deformações.

Na Figura 21 são apresentadas as três pontes de Wheatstone, bem como a seção transversal do porta-ferramentas, na região de medida.

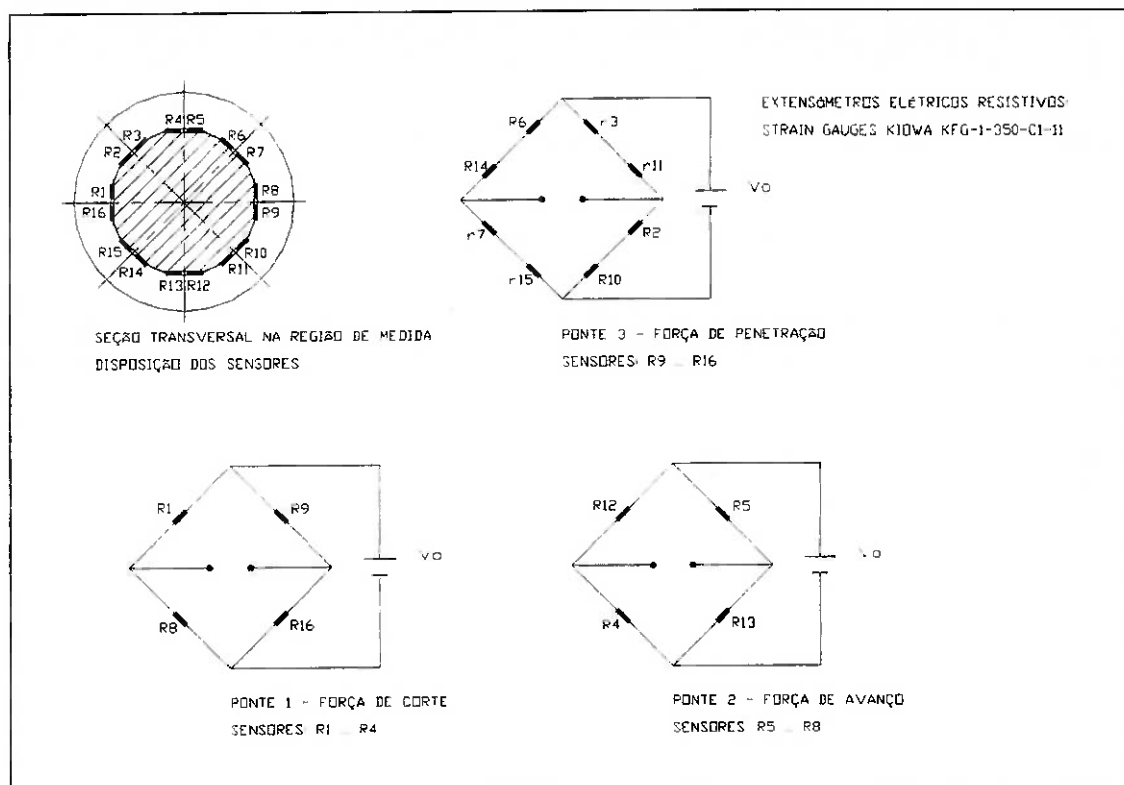


FIGURA 21: DISPOSIÇÃO DOS EXTENSÔMETROS E PONTES DE WHEATSTONE.

A **PONTE 1** é responsável pela medida da força de corte, que imprime ao porta-ferramentas tensões de flexão. Com base na Figura 21 pode-se claramente verificar que os strain gauges posicionados na face superior (R8 e R9) estão submetidos a deformações trativas, enquanto o par posicionado na face inferior (R1 e R16) está submetido a deformações compressivas. A montagem dos pares (R1 e R16) e (R8 e R9) em lados opostos da ponte permite que os sinais de cada um dos sensores sejam somados, elevando a sensibilidade resultante. Com efeito, a sensibilidade é 4 vezes superior àquela observada com a utilização de apenas 1 strain gauge. A compensação de temperatura é obtida nesta configuração pois todos os elementos estão submetidos às mesmas deformações térmicas.

A **PONTE 2** é responsável pela medição da componente de avanço, que resulta no surgimento de tensões de flexão segundo um eixo perpendicular àquele utilizado para a definição da força principal de corte. Assim, o par de strain gauges (R12 e R13) está submetido a tensões trativas, enquanto os sensores (R4 e R5) estão submetidos a

tensões compressivas. A montagem destes sensores na ponte segue as mesmas observações apresentadas para a *PONTE 1*.

A *PONTE 3* é responsável pela medida da força de penetração, que imprime ao porta-ferramentas tensões de compressão. Com base na Figura 21 pode-se verificar que os strain gauges posicionados nas posições múltiplas de 45° estão submetidos a deformações compressivas. Além disto, o par (R2 e R3) está submetido a tensões compressivas devido à ação das forças de avanço e de corte, o par (R6 e R7) está submetido a tensões trativas devido à ação da força de corte e a tensões compressivas devido à ação da força de avanço, o par (R10 e R11) está submetido a tensões trativas devido à ação das forças de avanço e de corte e, finalmente, o par (R14 e R15) está submetido a tensões compressivas devido à ação das forças de corte e a tensões trativas devido à ação da força de avanço. Para a medição da componente de penetração, apenas os efeitos compressivos devem ser considerados. Assim, em cada um dos pares apresentados monta-se apenas um extensômetro ativo, sendo o segundo responsável apenas pela compensação de temperatura. A configuração permite que as deformações devido às componentes de flexão se anulem, enquanto a deformação referente aos esforços compressivos é amplificada pela leitura de cada um dos extensômetros ativos montados nas posições múltiplas de 45°. A sensibilidade resultante é quatro vezes superior àquela observada quando apenas um strain gauge é utilizado.

O valor teórico de saída referente a cada uma das componentes da força de usinagem é apresentado no próximo item. A sensibilidade relaciona diretamente a tensão lida em cada uma das pontes quando aplicados os carregamentos.

6.3. Sensibilidade do Conjunto

Com base nas informações apresentadas nos itens anteriores, pode-se calcular a sensibilidade teórica de cada uma das medidas de força efetuadas pelo dinamômetro. As expressões utilizadas são apresentadas a seguir.

$GF = \Delta R / R_0 / \epsilon$, onde: GF é o gauge factor, ϵ é a deformação atuante sobre o strain gauge, R_0 é a resistência nominal do strain gauge e ΔR é a variação de resistência observada na deformação do strain gauge.

O desbalanceamento da ponte de Wheatstone pode ser expresso pela relação:

$$\Delta V = \frac{V_0}{4R_0} \cdot (-\Delta R_1 + \Delta R_2 - \Delta R_3 + \Delta R_4) \quad , \text{ onde } \Delta V \text{ expressa a variação de}$$

tensão lida na ponte de Wheatstone, V_0 é a tensão de alimentação, e os índices utilizados nas variações de resistência seguem o esquema da ponte de Wheatstone apresentada na Figura 5.

Para a medição das componentes de corte e de avanço, que são medidas sob carregamentos de flexão, o valor da sensibilidade pode ser assim determinado:

$$\Delta R = GF \cdot \varepsilon_{\text{CARACTERÍSTICO}} \cdot R_0$$

$$\Delta V = \frac{V_0}{4 \cdot R_0} \cdot (4 \cdot \Delta R) = GF \cdot V_0 \cdot \varepsilon_{\text{CARACTERÍSTICO}} \quad , \quad \text{com } \varepsilon_{\text{CARACTERÍSTICO}}$$

estimado com base na planilha apresentada no Anexo IV.

Para a medição da componente de penetração, medida sob carregamento normal compressivo, o valor de sensibilidade pode ser expresso da mesma forma, pois há quatro extensômetros ativos e os efeitos de Poisson se anulam pela configuração da ponte.

Assim, os valores teóricos para a sensibilidade podem ser expressos da forma:

Força de Corte: 16.96 mV/kgf;

Força de Avanço: 16.96 mV/kgf;

Força de Penetração: 1.67 mV/kgf.

Nos valores acima são admitidos ganhos de 1E3 para as componentes de corte e de avanço, bem como ganho de 2E3 para a componente de penetração.

7. EXECUÇÃO DO PROTÓTIPO

Neste item são apresentadas as etapas para a construção do protótipo detalhado no item anterior, bem como a preparação dos sistemas de condicionamento e de aquisição de dados.

7.1. Usinagem da Parte Mecânica do Sensor

A fabricação das três peças que compõem a parte mecânica do dinamômetro foi realizada com base nos desenhos apresentados no Anexo I. A *PEÇA 1 – SUPORTE DE FIXAÇÃO DO SENSOR* foi obtida a partir de um bloco de dimensões 100x90x75 mm, com base em operações de fresamento. A existência da nervura posicionada na parte inferior do elemento garante maior rigidez estrutural. A *PEÇA 2 – CORPO DO SENSOR* foi obtida a partir de uma barra de diâmetro 65x115 mm, com base em operações de torneamento externo e furação. A região de colagem dos extensômetros foi obtida a partir do fresamento de oito chatos dispostos em posições múltiplas de 45°. A *PEÇA 3 – PORTA INSERTOS* foi obtida a partir de uma barra de diâmetro 45x35 mm, com base em operações de torneamento, fresamento e, na região de montagem da pastilha, eletroerosão para garantir a obtenção das especificações de projeto. Todas as peças foram submetidas a um tratamento químico de superfície para evitar os efeitos da oxidação.

7.2. Montagem das Pontes de Wheatstone

Após a fabricação da parte mecânica do sensor, procedeu-se a colagem dos strain gauges conforme a disposição apresentada nas Figuras 20 e 21. O procedimento de montagem das pontes de Wheatstone é resumidamente apresentado a seguir:

⇒ Preparação da Superfície:

- ✓ com auxílio de uma lixa 320, efetuou-se a limpeza inicial da região de colagem dos extensômetros e dos terminais elétricos;
- ✓ com auxílio de uma lixa 320 e acetona, efetuou-se a limpeza intermediária da região de colagem dos extensômetros e dos terminais elétricos;

- ✓ com auxílio de algodão e acetona, efetuou-se a limpeza final da região de colagem dos extensômetros e dos terminais elétricos.

⇒ Colagem dos strain gauges e dos terminais elétricos, repetido para cada um dos extensômetros:

- ✓ posicionou-se o strain gauge com auxílio de uma fita adesiva;
- ✓ afastou-se parcialmente o strain gauge da superfície para a aplicação da cola (algumas gotas);
- ✓ pressionou-se o strain gauge contra a superfície com auxílio de uma fita de teflon;
- ✓ aguardou-se o tempo de secagem da cola (alguns segundos);
- ✓ posicionou-se o terminal com auxílio de uma fita adesiva;
- ✓ afastou-se parcialmente o terminal da superfície para a aplicação da cola (algumas gotas);
- ✓ pressionou-se o terminal contra a superfície com auxílio de uma fita de teflon;
- ✓ aguardou-se o tempo de secagem da cola (alguns segundos);
- ✓ com auxílio de um ferro de solda e estanho, conectaram-se os terminais do strain gauge aos terminais elétricos;

obs.: a Figura 23 apresenta o dinamômetro após a realização do procedimento de colagem dos extensômetros e dos terminais elétricos.

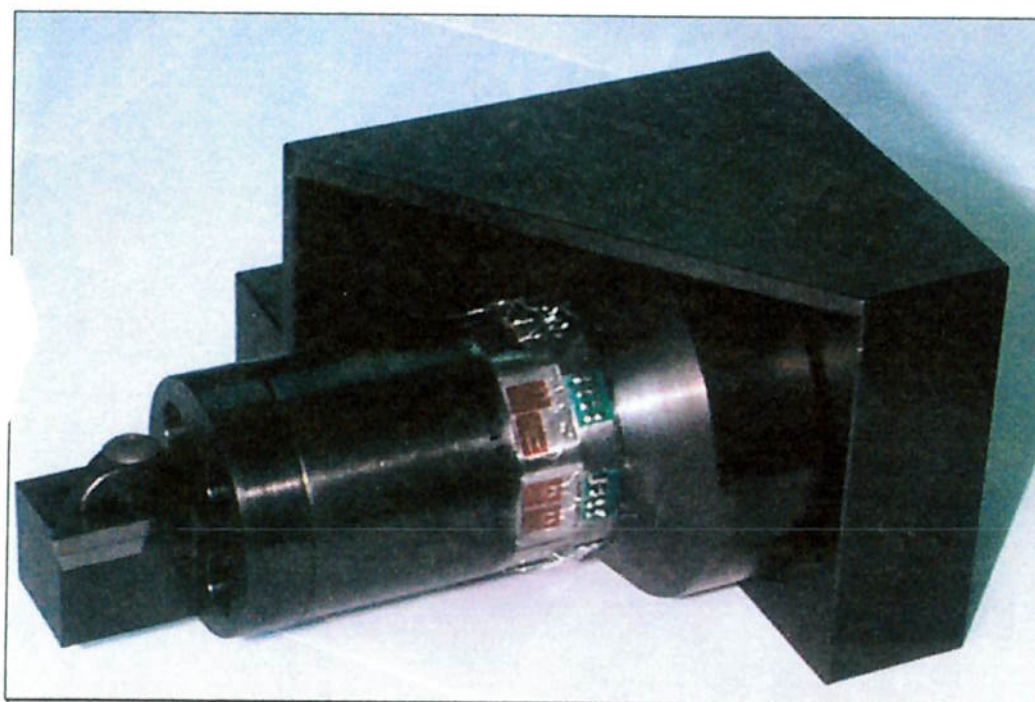


FIGURA 22: DISPOSIÇÃO DOS EXTENSÔMETROS NO DINAMÔMETRO.

- ✓ realizou-se a verificação da resistência elétrica dos strain gauges, com auxílio de um multímetro conectado aos terminais elétricos. A resistência indicada foi muito próxima àquela indicada pelo fabricante dos extensômetros.

⇒ Montagem das pontes de Wheatstone:

- ✓ com auxílio de um ferro de solda, estanho e cabos do tipo wire-up, conectaram-se os terminais elétricos conforme a indicação da Figura 21, montando assim as pontes de cada uma das três componentes de medida do dinamômetro;
- ✓ realizou-se a verificação da isolação elétrica das pontes, com auxílio de um megaohmímetro. A resistência indicada foi de 5 MΩ;
- ✓ conectaram-se os cabos blindados aos terminais de cada uma das pontes de Wheatstone;
- ✓ verificaram-se os valores de desbalanceamento de cada uma das pontes e concluiu-se a não necessidade de introdução de fios resistivos;
- ✓ efetuou-se a proteção das região de colagem com a aplicação de verniz eletrônico, cera de abelha e polímero.

7.3. Preparação do Sistema de Condicionamento

O sistema de condicionamento utilizado consiste basicamente em um bastidor para módulos de condicionamento SCXI 1001, com circuito de terminais modelo 1321 e módulo de condicionamento de sinais para strain gauges 1121, e foi preparado para fornecer um ganho de 1000 vezes aos sinais provenientes das pontes que medem as componentes de corte e de avanço, e para fornecer um ganho de 2000 vezes aos sinais provenientes da ponte responsável pela medida da componente de penetração. Tal procedimento foi utilizado pois a configuração mecânica do dinamômetro privilegia a sensibilidade das componentes de corte e de avanço, enquanto a componente de penetração é submetida a menores deformações. Os filtros analógicos são do tipo Butterworth de ordem 3 e apresentam apenas duas possíveis frequências de corte, a saber 4 Hz e 1E4 Hz. O valor ideal para ensaios de usinagem é de 1E3 Hz. Desta forma optou-se pela frequência mais elevada, com o posterior tratamento dos dados experimentais com base na utilização de filtros digitais.



FIGURA 23: SISTEMA DE CONDICIONAMENTO DE SINAIS SCXI DA NATIONAL INSTRUMENTS.

O circuito de condicionamento (SCXI 1121) é apresentado na Figura 24.

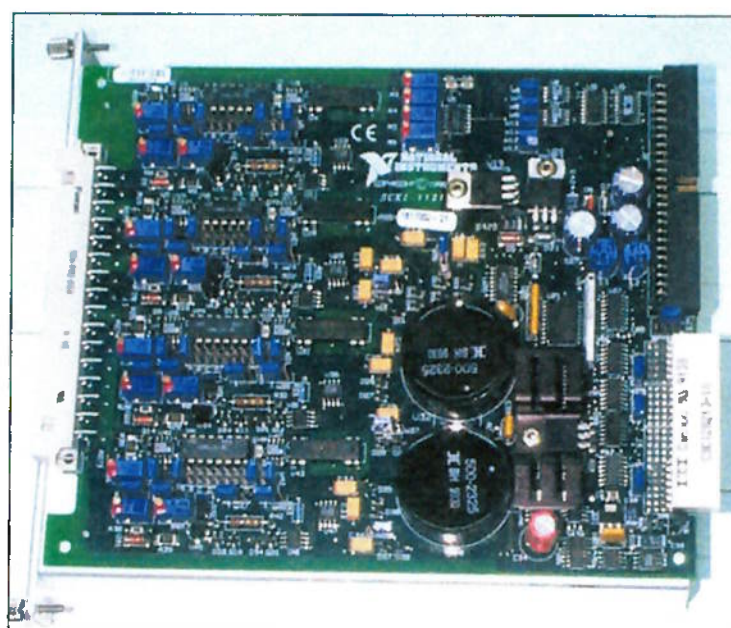


FIGURA 24: CIRCUITO DE CONDICIONAMENTO DE SINAIS.

7.4. Preparação do Sistema de Aquisição de Dados

O sistema de aquisição de dados é apresentado na Figura 25.

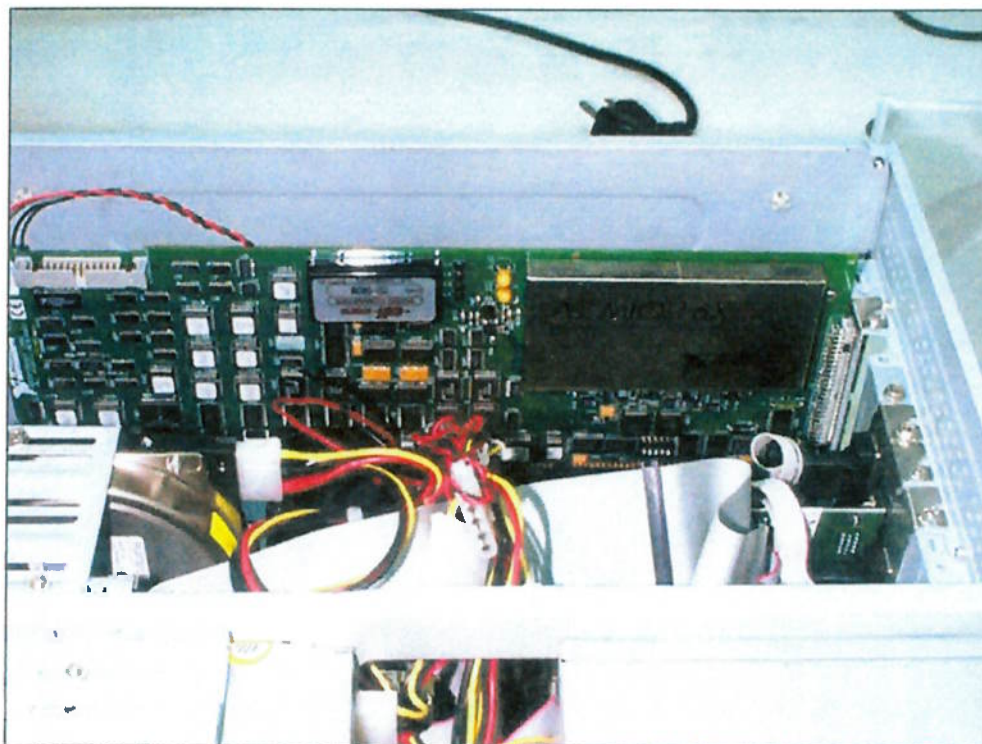


FIGURA 25: MONTAGEM DA PLACA DE AQUISIÇÃO NO MICROCOMPUTADOR.

O sistema de aquisição de dados está baseado na utilização de uma placa de aquisição de dados AT-MIO-16X da National Instruments, montada em um microcomputador. Esta placa permite a aquisição simultânea das três componentes de força, sob taxas de aquisição superiores a duas vezes o valor da máxima frequência do sinal, determinada pelo filtro analógico. Desta forma o Teorema de Nyquist ^[7] é respeitado e não há possibilidade de ocorrer distorções no sinal adquirido, tais como o efeito de aliasing.

Um programa de aquisição desenvolvido com base no software LabView é responsável pela geração de arquivos de dados para análise posterior. Tal programa é apresentado no Anexo XII.

8. CALIBRAÇÃO E TESTES

Nesta seção são apresentados os procedimentos adotados para a calibração e para os testes preliminares do dinamômetro.

8.1. Procedimento de Calibração

A calibração estática do sensor foi realizada no IPT e permitiu a obtenção da sensibilidade dinamômetro. Os equipamentos utilizados durante os ensaios são apresentados a seguir, e sua disposição física pode ser verificada na Figura 26.

- ✓ máquina universal de ensaios EMIC dotada de célula de carga com capacidade para medir esforços normais de até 500 kgf com 1% de resolução;
- ✓ condicionador de sinais SCXI da National Instruments;
- ✓ micro computador com placa de aquisição de dados AT-MIO-16X da National Instruments;
- ✓ dispositivo de fixação do dinamômetro à máquina de ensaios, fabricado no IPT para a execução deste trabalho.



FIGURA 26: ARRANJO EXPERIMENTAL PARA A CALIBRAÇÃO DO DINAMÔMETRO.

Utilizou-se um programa baseado no software *LabView* para auxiliar na aquisição de dados durante a calibração, o qual está apresentado ao final deste texto, no Anexo XII. A calibração de cada uma das componentes de força foi realizada isoladamente.

O procedimento para a calibração é descrito pela sequência apresentada a seguir:

- ✓ montagem da célula de carga de 500 kgf na máquina de ensaios;
 - ✓ verificação dos controles de avanço e recuo do cabeçote e ajuste das velocidades de avanço rápido (para posicionamento) e de aplicação de carga;
- obs.: para a aplicação do carregamento utilizou-se a menor velocidade disponível.
- ✓ montagem do dinamômetro no dispositivo de fixação conforme a componente de esforços a ser calibrada;
 - ✓ posicionamento do dispositivo na máquina de ensaios e verificação do alinhamento do cabeçote com o ponto de aplicação de carga;
 - ✓ ligação dos cabos ao sistema de aquisição, conforme Figura 27;

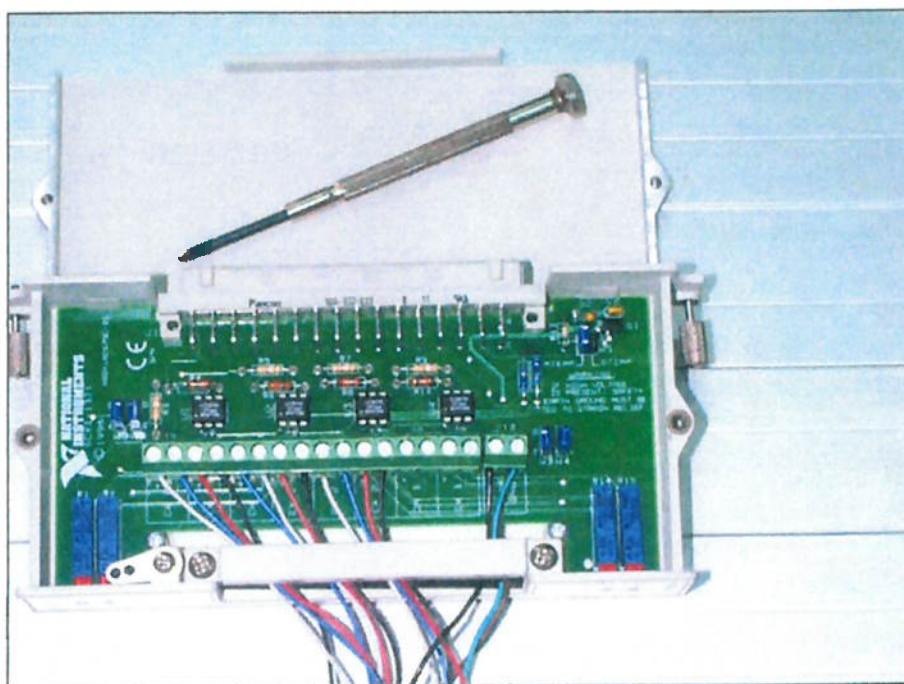


FIGURA 27: LIGAÇÃO DOS CABOS AO SISTEMA DE CONDICIONAMENTO.

- ✓ ligação do sistema de condicionamento ao sistema de aquisição de dados;
- ✓ preparação do microcomputador para iniciar aquisição, que envolve a chamada do programa de calibração e a preparação dos arquivos de dados;

obs.: algumas informações tais como o nome do arquivo gerado devem ser informadas ao programa antes do início da aquisição.

- ✓ aplicação contínua do carregamento, sob velocidade mínima de aplicação de carga, com aquisição a cada 10 kgf. As componentes de corte e avanço foram calibradas até 200 kgf, enquanto a componente de penetração foi calibrada até 100 kgf. O descarregamento permitiu verificar que o sensor não apresenta efeitos de histerese.

A posição de calibração para a componente de corte é apresentada na Figura 28.

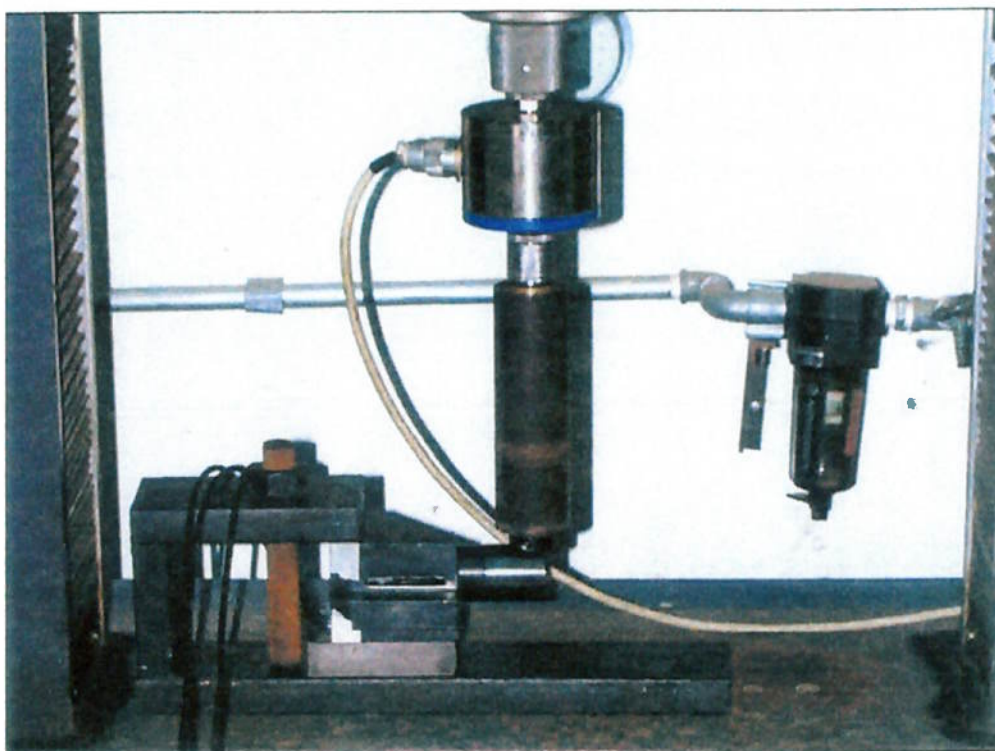


FIGURA 28: CALIBRAÇÃO – FORÇA DE CORTE.

Para garantir o posicionamento do ponto de aplicação dos esforços para a calibração das pontes responsáveis pela medição das componentes de corte e de avanço, foi utilizado um par de peças que substituem o porta insertos. Com a utilização destes adaptadores, o eixo de aplicação do carregamento passa sobre o ponto onde, nos ensaios de usinagem, estará posicionada a ponta da ferramenta de corte. Para a calibração da componente de penetração, o dispositivo foi mantido apenas para a proteção dos pinos guia do corpo do sensor. As posições de calibração para as componente de avanço e de penetração são apresentadas nas Figuras 29 e 30, respectivamente.

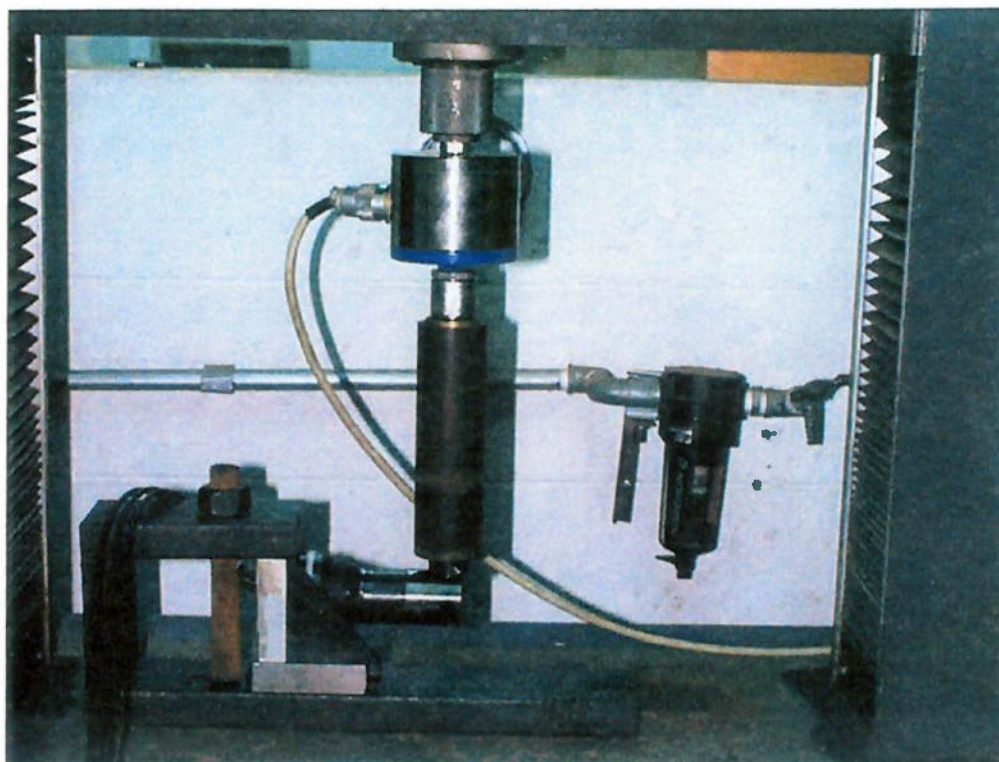


FIGURA 29: CALIBRAÇÃO – FORÇA DE AVANÇO.

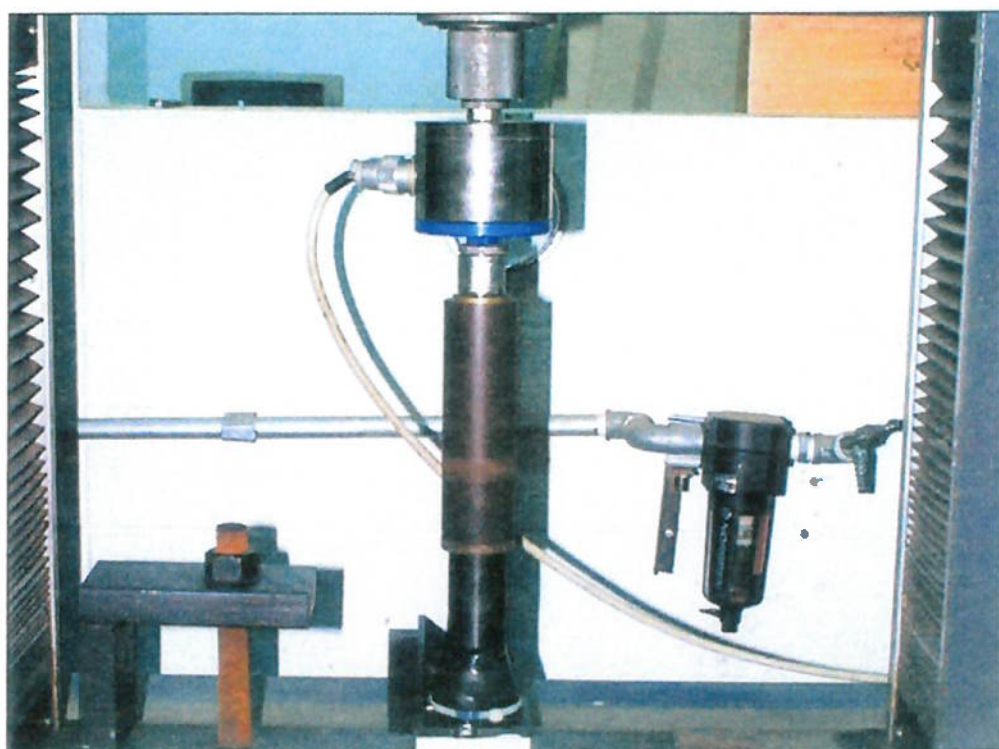


FIGURA 30: CALIBRAÇÃO – FORÇA DE PENETRAÇÃO.

As curvas de calibração para cada uma das componentes, apresentadas na Figura 31, permitem obter a sensibilidade real do dinamômetro. Tais curvas, bem como os dados utilizados na sua geração, são apresentados no Anexo XI.

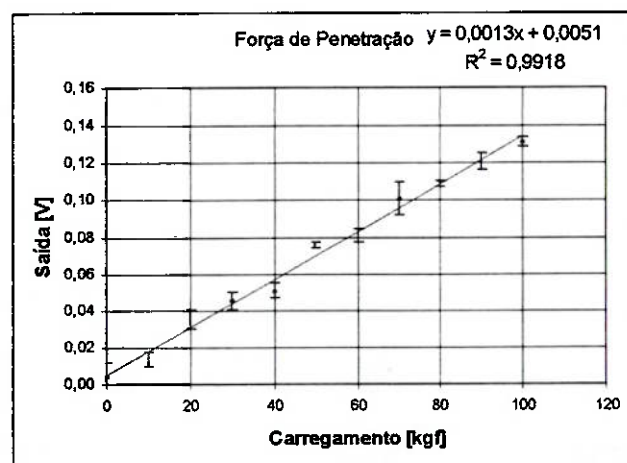
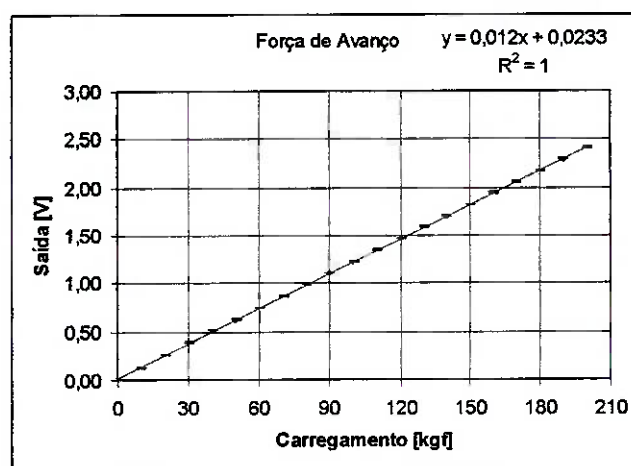
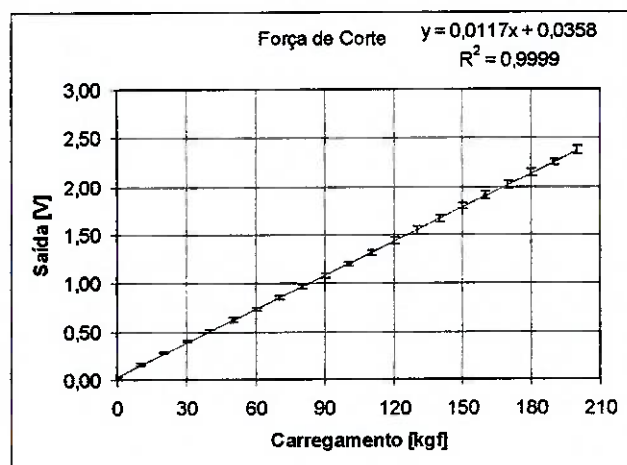


FIGURA 31: CALIBRAÇÃO – RESULTADOS.

A sensibilidade do dinamômetro, medida quando utilizados os sistemas de condicionamento e aquisição apresentados na Figura 26, pode então ser expressa:

Força de Corte: 11.93 mV/kgf ;

Força de Avanço: 12.16 mV/kgf ;

Força de Penetração: 1.37 mV/kgf .

As curvas que representam a sensibilidade de cada uma das componentes da força de usinagem são apresentadas no Anexo

8.2. Testes Preliminares

Após a realização do procedimento de calibração, o sistema de medição de esforços deve ser submetido aos testes preliminares de usinagem. A Figura 32 mostra a máquina operatriz a ser utilizada. O arranjo experimental prevê a montagem dos equipamentos conforme a Figura 26.

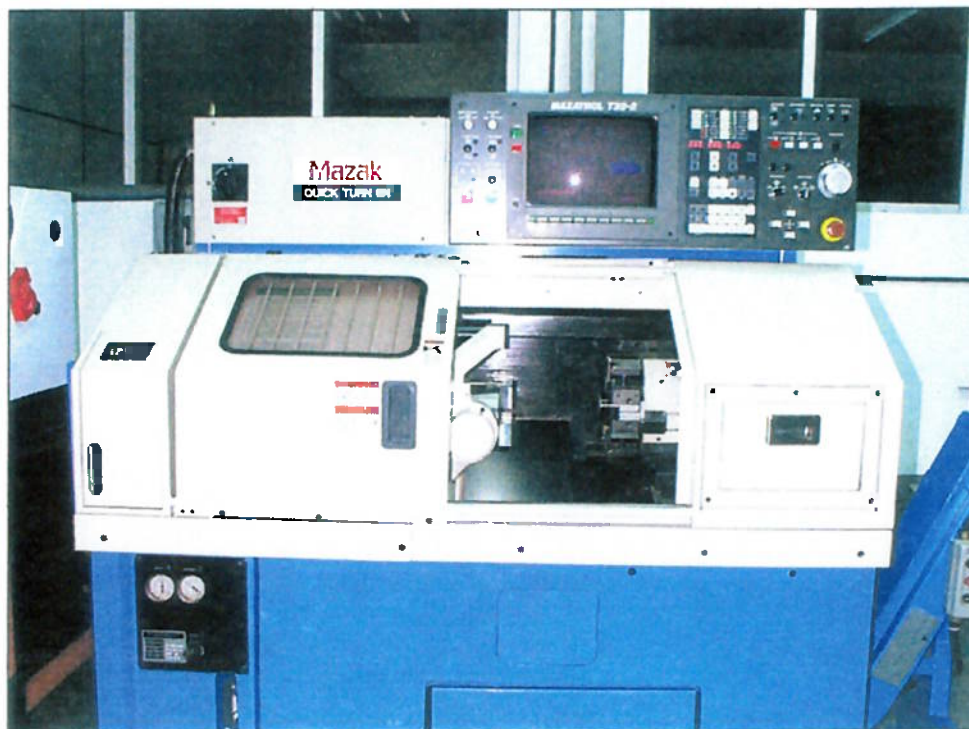


FIGURA 32: EQUIPAMENTO UTILIZADO NO ARRANJO EXPERIMENTAL PARA OS TESTES PRELIMINARES.

9. ANÁLISE ECONÔMICA

Para verificar a viabilidade econômica do projeto, pode-se avaliar o custo de obtenção de um dinamômetro comercialmente disponível. Após uma extensa verificação da bibliografia especializada, pôde-se verificar que o modelo comumente utilizado é baseado na utilização de sensores piezoelétricos, fabricado pela KIESTLER INSTRUMENTE AG WINTERTHUR. O catálogo técnico, bem como o seu orçamento, são apresentados ao final deste texto, nos anexos VII e VIII. Neste último pode-se verificar que o valor do dinamômetro é de aproximadamente R\$ 60.000,00.

O protótipo apresentado ao longo deste texto foi obtido com a utilização de verba inferior a R\$ 1.000,00, conforme pode-se verificar na seção de Anexos. Os cabos utilizados na montagem do protótipo não tiveram seu valor considerado, pois foram cedidos pelo IPT.

Para o dinamômetro comercial, o sistema de condicionamento e de aquisição de dados possui valor superior a R\$ 40.000,00. O sistema de condicionamento e de aquisição de dados utilizado neste trabalho foi cedido por empréstimo pelo IPT, porém seu valor é inferior àquele apresentado para o dinamômetro piezoelétrico.

Para a realização deste trabalho foi utilizado um microcomputador para o armazenamento dos dados e posterior tratamento, de valor igual a R\$ 1.500,00.

Desta forma, para a obtenção do sistema apresentado ao longo do texto, foram consumidos R\$ 2.500,00, considerando os custos de documentação do projeto.

10. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O cronograma inicialmente preparado para a execução deste projeto é apresentado a seguir. Os comentários indicam que todas as etapas propostas foram cumpridas dentro dos prazos inicialmente especificados, a menos da realização dos ensaios do sistema em condições reais de usinagem.

<i>Descrição da Atividade</i>	<i>fev</i>	<i>mar</i>	<i>abr</i>	<i>mai</i>	<i>jun</i>	<i>jul</i>	<i>ago</i>	<i>set</i>	<i>out</i>	<i>nov</i>	<i>dez</i>
<i>pesquisa bibliográfica</i>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
<i>geração de alternativas</i>		✓	✓			✓	✓	✓			
<i>escolha da melhor solução</i>								✓			
<i>projeto básico</i>			✓	✓	✓	✓					
<i>fabricação do protótipo</i>			✓	✓	✓	✓	✓	✓			
<i>realização dos ensaios</i>							✓	✓	✓	✓	
<i>documentação do projeto</i>		✓	✓		✓		✓		✓	✓	✓
<i>apresentação do sistema</i>					✓						✓

Em resumo, a pesquisa bibliográfica realizada permitiu a obtenção de informações utilizadas na execução do projeto, bem como possibilitou a verificação de trabalhos desenvolvidos recentemente que utilizam dinamômetros para a medição dos esforços em operações de usinagem. A geração de alternativas e a escolha da melhor solução foram realizadas para o desenvolvimento do protótipo do dinamômetro aqui apresentado. O desenvolvimento do projeto básico e a fabricação do protótipo foram concluídos dentro dos prazos inicialmente especificados.

A realização dos ensaios não foi completamente concluída. Tal fato se deve principalmente ao grande número de atividades que devem ser executadas antes do início dos testes, tais como a calibração do dinamômetro, a manutenção da máquina operatriz e a preparação para os ensaios de usinagem, todos estes concluídos. Os testes devem ser iniciados no mês de dezembro, o que indica um atraso de um mês em relação ao cronograma inicial.

O desenvolvimento deste projeto permitiu ainda a preparação de uma proposta de Trabalho de Mestrado, submetida pelo autor a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, para a realização de um estudo detalhado dos mecanismos de desgaste observados em ferramentas de usinagem. Neste trabalho, está prevista a utilização do dinamômetro desenvolvido ao longo deste ano.

No futuro, o protótipo do dinamômetro pode ser submetido a alterações com o objetivo de proporcionar uma elevação dos valores de sensibilidade obtidos, principalmente para a componente de penetração. Finalmente, deve-se ressaltar que o objetivo inicialmente proposto foi plenamente alcançado, e resultou na obtenção de um sistema que permite a medição simultânea das três componentes da força de usinagem.

O final deste texto marca a conclusão do Curso de Engenharia Mecânica, ênfase em Projeto e Fabricação. A todos que de forma direta ou indireta participaram desta longa jornada, desejo sinceramente os meus agradecimentos.

11. BIBLIOGRAFIA

- [1]Catálogo de Dinamômetros Piezoelétricos – Kiestler AG.
- [2]Groover, Mikell P. **Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes and Systems** Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 1996.
- [3]Ferraresi, D. **Fundamentos da Usinagem dos Metais**. Editora Edgard Blucher Ltda, São Paulo, 1977.
- [4]Diniz, A. E.; Marcondes, F. C.; Coppini, N. L. **Tecnologia da Usinagem dos Materiais**. MM Editora, São Paulo, 1999.
- [5]Stipkovic, M. **Apostila da Disciplina PMC 584 – Projeto de Máquinas de Fabricação I**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2000.
- [6]Sandvik Coromant **Modern Metal Cutting – A Practical Handbook**. Sandvik Coromant, Technical Editorial Dept., Sweden, 1994.
- [7]Doebelin, Ernest O. **Measurement Systems, Application and Design** International Student Edition, McGraw-Hill International Book Company, 1983.
- [8]Araújo, S. **Projeto de um Dinamômetro para a Determinação das Componentes da Força de Usinagem Utilizando Diferentes Geometrias das Ferramentas e Condições de Trabalho**. Tese apresentada para obtenção do título de Mestre em Ciências na área de Engenharia, Universidade Estadual de Campinas, 1974.
- [9]Dimla, E. **Sensor signals for tool-wear monitoring in metal cutting operations – a review of methods** International Journal of Machine Tool & Manufacture 40 (2000) pp 1073 – 1098.
- [10]Dimla, E.; Lister, P. M. **On-line metal cutting tool condition monitoring I: force and vibration analyses** International Journal of Machine Tool & Manufacture 40 (2000) pp 739 – 768.
- [11]Ghasemipoor, A.; Jeswiet, J.; Moore, T. N. **Real time implementation of on-line tool condition monitoring in turning** International Journal of Machine Tool & Manufacture 39 (1999) pp 1883 – 1902.
- [12]Lee, J. H.; Lee, S. J. **One-step-ahead prediction of flank wear using cutting force** International Journal of Machine Tool & Manufacture 39 (1999) pp 1747 – 1760.
- [13]Liu, Q.; Altintas, Y. **On-line monitoring of flank wear in turning with multilayered feed-forward neural network** International Journal of Machine Tool & Manufacture 39 (1999) pp 1945 – 1959.
- [14]Davim, J. P.; Baptista, A. M. **Relationship between cutting force and PCD cutting tool wear in machining silicon carbide reinforced aluminium** Journal of Materials Processing Technology 103 (2000) pp 417 – 423.

- [15]Obikawa, T.; Kaseda, C.; Matsumura, T.; Gong, W. G.; Shirakashi, T. **Tool wear monitoring for optimizing cutting conditions** Journal of Materials Processing Technology 62 (1996) pp 374 – 379.
- [16]Dewes, R. C.; Aspinwall, D. K. **A review of ultra high speed milling of hardened steel** Journal of Materials Processing Technology 69 (1997) pp 1 – 17.
- [17]Urbanski, J. P.; Koshy, P.; Dewes, R. C.; Aspinwall, D. K. **High speed machining of moulds and dies for net shape manufacture** Material and Design 21 (2000) pp 395 – 402.
- [18]D'Errico, G. E.; Guglielmi, E.; Rutelli, G. **A study of coatings for end mills in high speed metal cutting** Journal of Materials Processing Technology 92-93 (1999) pp 251 – 256.
- [19]Kaldos, A.; Dagiloke, I. F.; Boyle, A. **Computer aided cutting process parameter selection for high speed milling** Journal of Materials Processing Technology 61(1996) pp 219 – 224.
- [20]Catálogo de Ferramentas para Torneamento – Sandvik Coromant.

ANEXOS

Nesta seção são apresentados alguns documentos de projeto com o objetivo de permitir a análise detalhada das etapas de desenvolvimento deste trabalho.

Anexo I – DESENHOS

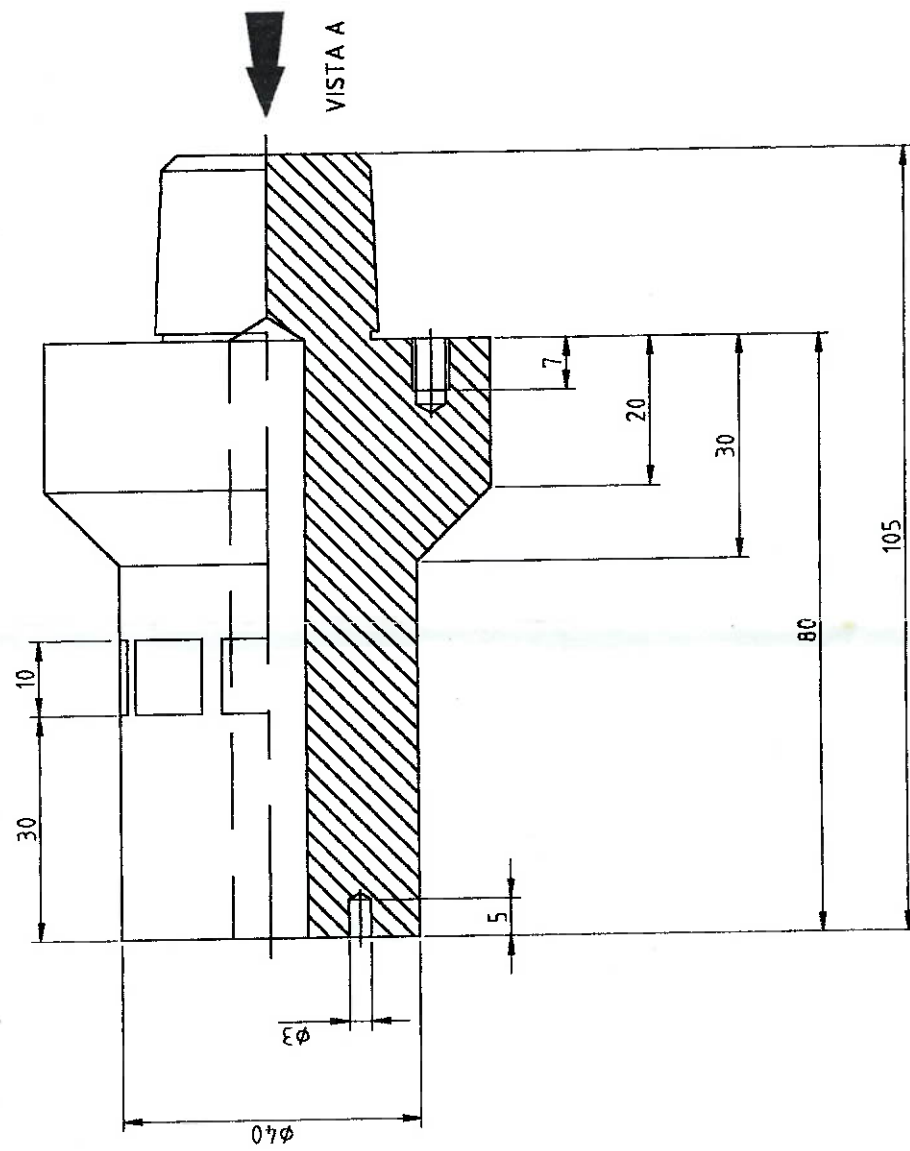
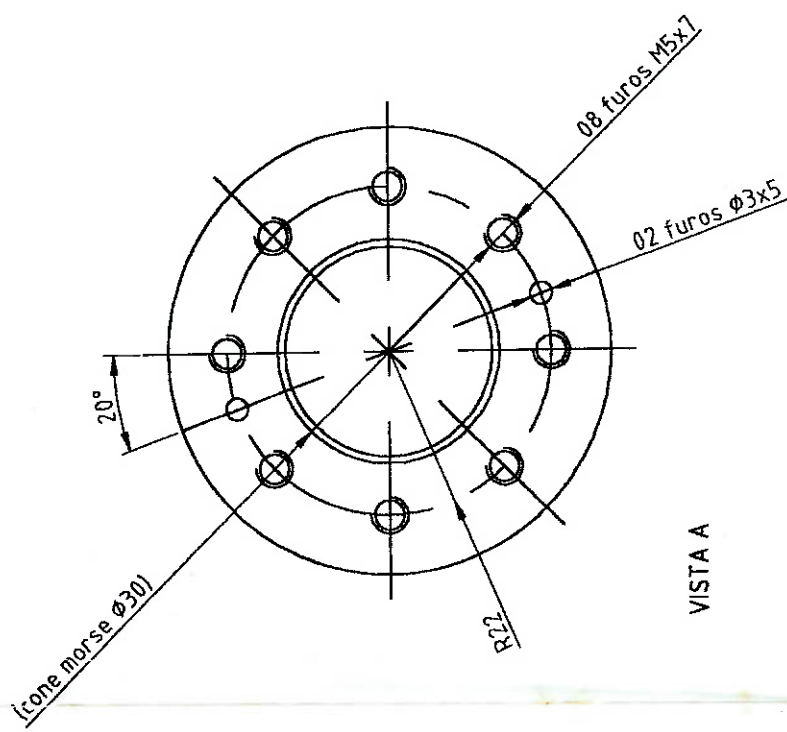
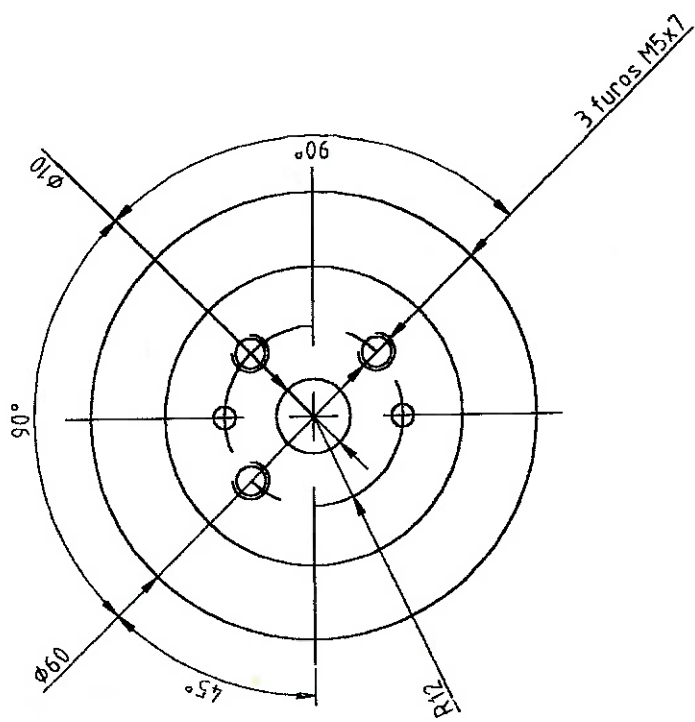
OS DESENHOS UTILIZADOS NA FABRICAÇÃO DA PARTE MECÂNICA DO SENSOR, BEM COMO AQUELES UTILIZADOS NA MONTAGEM DAS PONTES DE WHEATSTONE, SÃO APRESENTADOS NESTA SEQUENCIA.

FORÇAS DE CORTE E PONTES DE WHEATSTONE

PEÇA 1: SUPORTE DE FIXAÇÃO DO SENSOR;

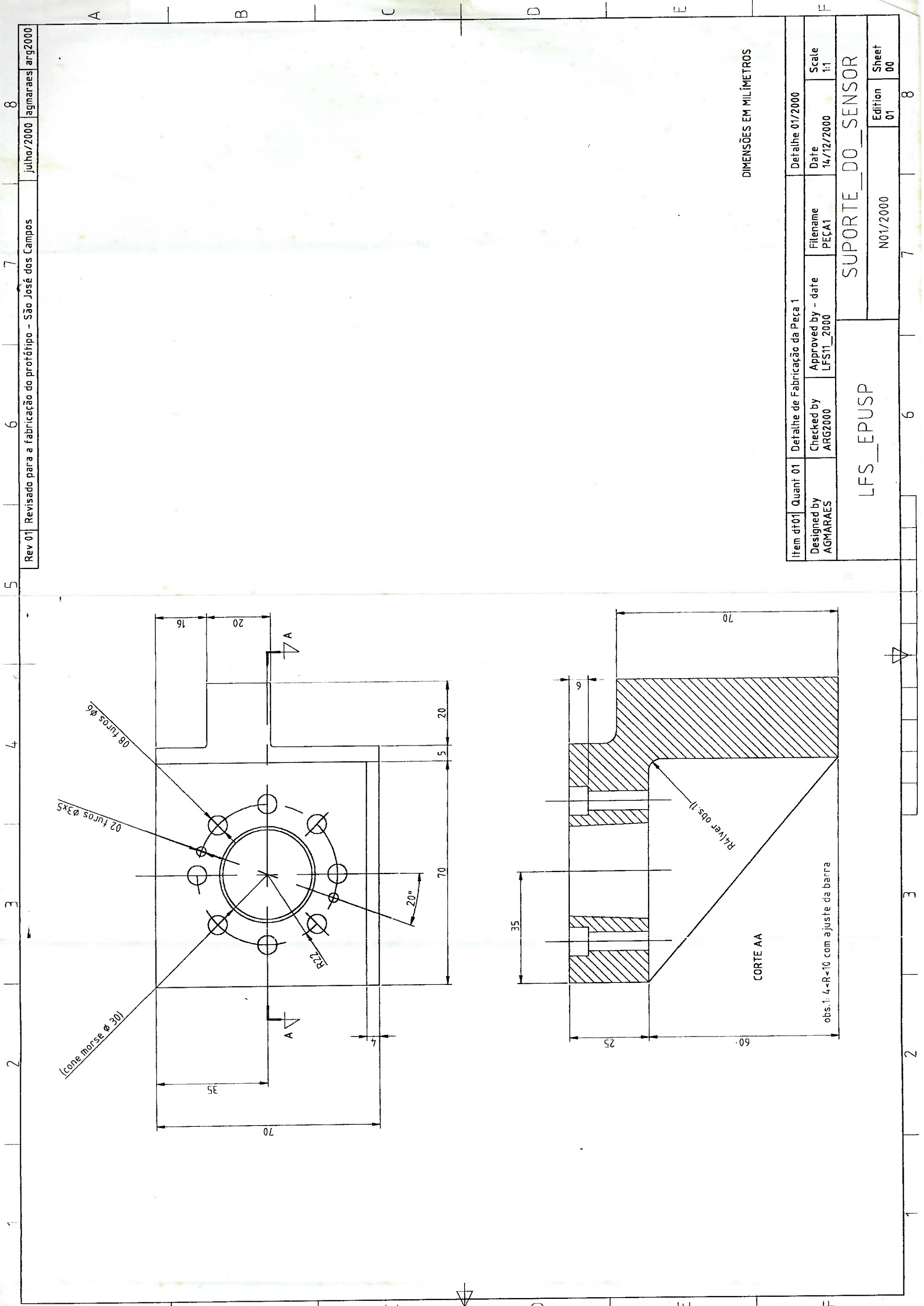
PEÇA 2: CORPO DO SENSOR;

PEÇA 3: PORTA INSERTOS.



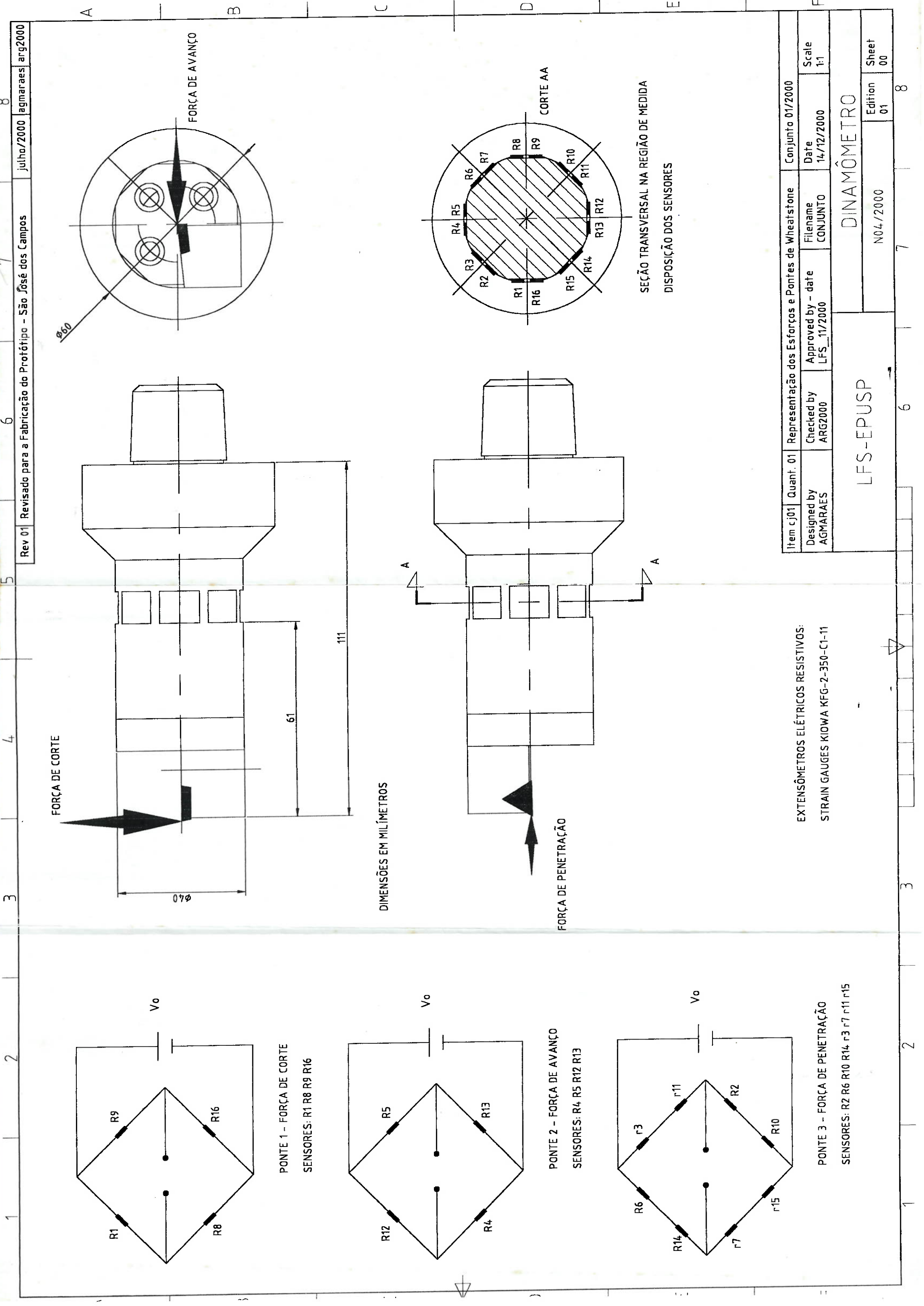
DIMENSÕES EM MILÍMETROS

Item dt02	Quant 01	Detalhe de Fabricação da Peça 2				Detalhe 02/2000	
Designed by AGMARAES	Checked by ARG2000	Approved by - date LFS_11/2000	Filename PEÇA2	Date 14/12/2000	Scale 1:1		
LFS-EPUSP			CORPO_DO_SENSOR				
			N02_2000		Edition 01	Sheet 00	



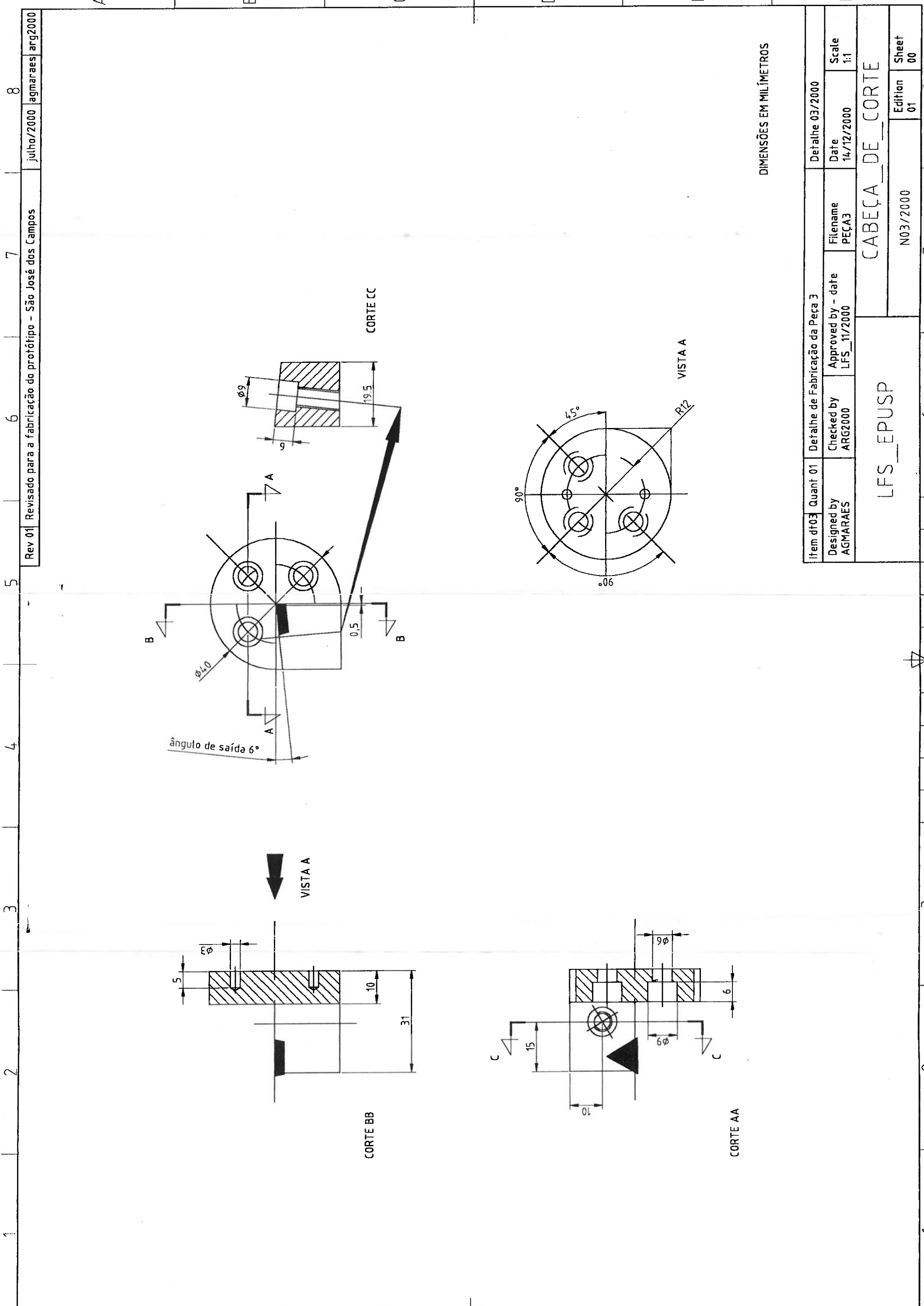
Rev 01	Revisado para a fabricação do protótipo – São José dos Campos	6	7	8	agmaraes	arg2000
DIMENSÕES EM MILÍMETROS						
Item dt01	Quant 01	Detalhe de Fabricação da Peça 1			Detalhe 01/2000	
Designed by AGMARAES		Checked by ARG2000	Approved by – date LFS11_2000	Filename PEÇA1	Date 14/12/2000	Scale 1:1
LFS_EPUSP		SUPORTE_DO_SENSOR				
		N01/2000			Edition 01	Sheet 00
		6	7	8		

DIMENSÕES EM MILÍMETROS



EXTENSÔMETROS ELÉTRICOS RESISTIVOS:
STRAIN GAUGES KIOWA KFG-2-350-C1-11

Item c j01	Quant. 01	Representação dos Esforços e Pontes de Wheatstone		Conjunto 01/2000	
Designed by AGMARAES	Checked by ARG2000	Approved by - date LFS_11/2000	Filename CONJUNTO	Date 14/12/2000	Scale 1:1
LFS-EPUSP			DINAMÔMETRO		
			N04/2000		Sheet 00
			Edition 01		



DIMENSÕES EM MILÍMETROS

Item	dt03	Quant	01	Detalhe de Fabricação da Peça 3			Detalhe 03/2000		
Designed by	AGMARAES	Checked by	ARG2000	Approved by - date	LFS_11/2000	Filename	PEÇA3	Date	14/12/2000
							Scale	1:1	
							CABEÇA DE CORTE		
							LFS_EPUSP		
							Edition 01		
							Sheet 00		

Anexo II – NOTA FISCAL DE FABRICAÇÃO DO PORTA-FERRAMENTAS

PARA AUXILIAR NO ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DESTE PROJETO, É APRESENTADO O CUSTO DE FABRICAÇÃO DA PARTE MECÂNICA DO DINAMÔMETRO.



RAYFER

RAYFER FERRAMENTAS, DISPOSITIVOS E MATRIZES LTDA.

NOVO ENDEREÇO
 Rua Crato nº 300 - Parque Industrial
 Fones: (012) 331-3678 - 331-3821

C. (000.12) 001-0021
 Rua Belmiro de Andrade, 20 - Jardim do Céu
 São José dos Campos - SP

POSTO SOBRE SERVIÇOS
 QUALQUER NATUREZA

Nota Fiscal de Serviços
SÉRIE "A"

635

FVSP - FUNDAÇÃO DE APOIO À UNIVERSIDADE DE S. PAULO
 AV. AFRÂNIO PEIXOTO, 14
 BUTANTÁ - Município: **SÃO PAULO** Estado: **S. P.**
 IB 314.830/0001-27 Inscr. Estadual: **ISENTO**
 Data da Operação: **26/07/00** Pedido nº:

14 de **Julho** de **2000**

Quant.	Unid.	Discriminação dos Serviços	Pç. Unit.	P. TOTAL
1	Pç	SERVIÇO DE USINAGEM EM SUPORTE DE FERRAMENTA	285	285,00

Não tem valor como recibo

Valor dos Serviços RS **285,00**
 RS
 Total desta Nota RS **285,00**

RAYFER Ferramentas Dispositivos e Matrizes Ltda.
 constantes desta Nota Fiscal Série "A"

635

Anexo III – FERRAMENTAS DE CORTE E NOTAS FISCAIS

AS PASTILHAS UTILIZADAS NOS ENSAIOS SÃO DE METAL DURO, CLASSES P10 E P20, DO TIPO TRIANGULAR PLANA, E POSSUEM O SEGUINTE CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO: TPGN-16 03 08, QUE PODE SER VERIFICADO TAMBÉM NA NOTA FISCAL DE COMPRA DOS INSERTOS. UM SUPORTE DO TIPO BARRA 20x20 mm CONVENCIONAL FOI UTILIZADO PARA A REALIZAÇÃO DOS TESTES PRELIMINARES DA MÁQUINA OPERATRIZ.

 FERRAWIDIA COMERCIO E IMPORTACAO DE FERRAMENTAS LTDA.		RUA FLORENCIO DE ABREU 944 CENTRO CEP 01030-001 - SAO PAULO - SP TELEFONE: (011) 225-8622 FAX: (011) 227-0285 - 227-5268		NOTA FISCAL-FATURA Nº 016248 SAIDA ☒ ENTRADA ☐ NÚMERO DE FISCAL 47.888.031/0001-40 NÚMERO DE FISCAL 109.881.595-111			
REMETENTE / REMITENTE FUNDACAO DE APOIO A UNIVERS. DE S. PAULO AV. AFRANIO PEIXOTO, 14 BUTANTA SAO PAULO		VALOR 4.986 NÚMERO DE FISCAL 88.314.830/0001-27 DATA DE EMISSAO 16/11/2000 DATA DE VENCIMENTO 16/11/2000		1ª VIA DESTINATARIO: REMITENTE DATA LIMITE PARA LANCAR 00.00.00			
ATURA CATEGORIA 015.20/1 A VISTA VALOR 94,20 1/99 VERBAL							
DADOS DO PRODUTO							
CÓDIGO DO PRODUTO	DESCRIÇÃO DOS PRODUTOS	CLAS. FISCAL	UNID.	QUANTIDADE	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL	VALOR DO IPI
./0303-9 TPGN 16.03.08 TXL=P20/BA60 ***		A 00 PC	20		4,71	94,20	0,00
NOSSO NOVO NUMERO DE TELEFONE 3315-8622							
CALCULO DO IMPOSTO VALOR DO IMPOSTO 34,20 VALOR DO IPI 0,00		VALOR DO IPI 16,95 VALOR DO IPI 0,00		VALOR TOTAL DO IMPOSTO 16,95 VALOR TOTAL DO IPI 0,00		VALOR TOTAL DOS PRODUTOS 94,20 VALOR TOTAL DA NOTA 94,20	
TRANSPORTADOR / VOLUMES TRANSPORTADOS							

Anexo IV – PLANILHA DE PRÉ-CÁLCULO DAS DIMENSÕES DO SENSOR

ESTA PLANILHA FOI UTILIZADA NA REALIZAÇÃO DO ESTUDO DE VIABILIDADE, PARA A ESTIMATIVA DOS VALORES DE DEFORMAÇÃO NA REGIÃO DE MONTAGEM DOS STRAIN GAUGES E DO DESLOCAMENTO VERTICAL DA FERRAMENTA NO CONTATO COM A PEÇA.

Modelo da Barra: 570-2 Coromant Capto, pág. A115 do catálogo

Fc = 5 kN

d externo [mm]	d interno [mm]	espessura [mm]	comprimento* [mm]	area resist [mm ²]	mom resist [mm ³]	tensao flex 1 [N/mm ²]
32,0	8,0	12,0	113	753,98	3204,42	88,16
32,0	9,6	11,2	113	731,87	3190,93	88,53
32,0	11,2	10,4	113	705,73	3168,72	89,15
32,0	12,8	9,6	113	675,57	3134,64	90,12
32,0	14,4	8,8	113	641,39	3085,07	91,57
32,0	16,0	8,0	113	603,19	3015,93	93,67
32,0	17,6	7,2	113	560,96	2922,62	96,66
32,0	19,2	6,4	113	514,72	2800,07	100,89
32,0	20,8	5,6	113	464,45	2642,74	106,90
32,0	22,4	4,8	113	410,17	2444,59	115,56
32,0	24,0	4,0	113	351,86	2199,11	128,46

tensao flex 2 [N/mm2]	tensao compr [n/mm2]	tensoes combinadas flex/compr [N/mm2] 0,90,180,270				deformacoes resultantes [mic	
		vert min	vert max	hor min	hor max	vert min	vert max
44,08	1,66	86,50	89,82	42,42	45,74	433	449
44,27	1,71	86,82	90,24	42,56	45,97	434	451
44,58	1,77	87,38	90,92	42,81	46,35	437	455
45,06	1,85	88,27	91,97	43,21	46,91	441	460
45,78	1,95	89,62	93,52	43,84	47,73	448	468
46,83	2,07	91,60	95,74	44,76	48,91	458	479
48,33	2,23	94,43	98,89	46,10	50,56	472	494
50,45	2,43	98,46	103,32	48,02	52,87	492	517
53,45	2,69	104,21	109,59	50,76	56,14	521	548
57,78	3,05	112,51	118,61	54,73	60,83	563	593
64,23	3,55	124,91	132,01	60,68	67,78	625	660

rodefs] 0,90,180,270		Mom. Inércia (m ⁴)	flecha vertical (micrometros)
hor min	hor max		
212	229	5,13E-08	234,52
213	230	5,11E-08	235,51
214	232	5,07E-08	237,17
216	235	5,02E-08	239,74
219	239	4,94E-08	243,60
224	245	4,83E-08	249,18
231	253	4,68E-08	257,14
240	264	4,48E-08	268,39
254	281	4,23E-08	284,37
274	304	3,91E-08	307,42
303	339	3,52E-08	341,73

Anexo V – CATÁLOGOS DE EXTENSÔMETROS ELÉTRICOS RESISTIVOS

PARTES DOS CATÁLOGOS UTILIZADOS NA SELEÇÃO DOS EXTENSÔMETROS UTILIZADOS NESTE PROJETO SÃO APRESENTADOS NAS PRÓXIMAS PÁGINAS.

GAGE SELECTION CHART

Measuring object	Products	Major applications	Material		Resistance (Ω)	Gage length (mm)	Gage factor (app.)
			Sensing alloy	Backing			
Strain in general	KFG general-purpose foil strain gage	Strain measuring in general	Cu-Ni foil	Polyimide	60, 120, 350	20, 10, 6, 5, 3, 2, 1, 0.3, 0.2	2.1
		Transducer sensor			350, 500, 1000	5, 3, 2, 1	2.1
		Measuring strain on concrete			120	30, 20, 10	2.1
		Measuring concentrated stress			120	2, 1	2.1
		Measuring residual stress			120	2, 1	2.1
		Measuring bolt tightening stress			120	3, 1.5	2.1
						3, 1.5	1.9
	KFGT foil strain gage with temp. sensor	Simultaneously measuring strain and temperature	Cu-Ni foil	Polyimide	120	5, 2	2.1
	KFR foil strain gage	Measuring strain at up to middle temp. range; transducer sensor	Ni-Cr foil	Polyimide	120	5, 2, 1, 0.5, 0.2	2.1
		Measuring concentrated stress			350	0.15	1.95
	KFW waterproof foil strain gage	Labor and time saving waterproof preparation (to serve outdoor or underwater measurement)	Cu-Ni foil	Paper base + phenol epoxy	120	5, 2	2.1
	KFW3 small waterproof foil strain gage	Labor and time saving waterproof preparation (to serve outdoor or underwater measurement)	Cu-Ni foil	Polyimide	120	2	2.1
	KCW weldable waterproof strain gage	Labor and time saving waterproof preparation (to serve outdoor or underwater measurement)	Ni-Cr foil	Stainless steel	120	5	2.2
	KC wire strain gage	Measuring strain on the surface of concrete or mortar	Cu-Ni wire	Paper base + phenol epoxy	120	120, 60, 70	2.1
	KIM embedment strain gage	Measuring internal strain on mortar, etc.	Cu-Ni	Acrylic	120	120 (wire)	2.0
35 (wire)						1.8	

[illegible]

Anexo VI - NOTA FISCAL DOS EXTENSÔMETROS E TERMINAIS

A NOTA FISCAL DOS EXTENSÔMETROS E TERMINAIS ELÉTRICOS UTILIZADOS É APRESENTADA PARA AUXILIAR NA VERIFICAÇÃO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DO PROJETO.

PANAMBRA		NOTA FISCAL - FATURA	
AV. DO ESTADO, 888 - CAUBUCI - CEP 01516-000 SÃO PAULO - ESTADO DE SÃO PAULO PONE (11) 346-8000 - FAX (11) 3272-8777 E-mail: p@panambra.com.br http://www.panambra.com.br		NOTA FISCAL - FATURA ENTRADA 041694 10/01/94	
DESTINATÁRIO VENDE A N/CONTRIBUINTE 3127		CNPJ/CPF 01.380.473/0001-88 104.896.115.110	
DESTINATÁRIO FUNSP - FUNDAÇÃO APOIO A UNIVERSIDADE S. PAULO AV. AFRANIO PEIXOTO, 14 SÃO PAULO		INSCRIÇÃO ESTADUAL 028299-8 00314838/0001-27 05587-808 ISENTO	
PROD: 426 33-B/ 1694		DATA DE EMISSÃO 28/06/2000 DATA DE VENCIMENTO 28/06/2000	
VALOR 487,08 A VISTA		VALOR TOTAL 487,08	
OS DO PRODUTO		VALOR	
27065107 STRAIN GAGE UNIAXIAL KFG-2-350-C1-11 PCT C/18 85334899 27110208 TERMINAL P/ STRAIN GAGE T-F2 Pct C/20 85339888		18 UN 2,00 135,00 18 UN 1,00 60,00	
COLA POLITECNICA - DEPTO DE ENGENHARIA MECANICA LABORATORIO DE FENOMENOS DA SUPERFICIE T.: SR. ANDRE GUIMARAES MS destacado conforme art. 39 Paragrafo I item III do RICMS do Decreto 33118/91 <i>Recebido o material desta NF e autuado o pagamento.</i>		VALOR DOS SERVIÇOS 1.146224-8	
CALCULO DO IMPOSTO DE EXERCÍCIO 1999 487,08 73,26 0,00 0,00 37,08		DADOS ADICIONAIS VALOR TOTAL DO IMPOSTO 378,00 VALOR TOTAL DO IMPOSTO 487,08	
TRANSPORTADOR / VOLUMES TRANSPORTADOS PORTADOR ENIDR DO ESTADO, 3508 1 VOL LETR.		VALOR TOTAL DO IMPOSTO 378,00 VALOR TOTAL DO IMPOSTO 487,08	
INFORMES DE PANAMBRA INDUSTRIAL E TECNICA S.A. PRODUTOS: 2415 DOS CRISTALIZADORES PARA FISCAL FATURA INDICADA NO PROJETO		NOTA FISCAL - FATURA 041694	

Anexo VII – CATÁLOGO DE DINAMÔMETROS KIESTLER

OS CATÁLOGOS APRESENTADOS A SEGUIR CONTÉM INFORMAÇÕES SOBRE DINAMÔMETROS PIEZOELÉTRICOS, ALÉM DE INFORMAÇÕES SOBRE O SISTEMA DE CONDICIONAMENTO E AQUISIÇÃO E SOBRE O SOFTWARE DE TRATAMENTO DE SINAIS, AUXILIANDO NA EXECUÇÃO DO ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA DESTE PROJETO.

APÓS 01/12/99 NOSSO TELEFONE
MUDARÁ DE:
Tel.: 0XX11 3272-8222 para 0XX11 3346-6300
Fax: 0XX11 3272-8777

Piezo-Instrumentation

KISTLER

Nr 6.9121 Ed 3.97 P 1 ... 4
Type

9121, 9151A..., 9153A..., 9155A...

3-Komponenten-Werkzeughalter-Dynamometer F_x, F_y, F_z
Dynamomètre porte-outil à 3 composantes F_x, F_y, F_z
3-Component Toolholder Dynamometer F_x, F_y, F_z

Quarz-3-Komponenten-Dynamometer zum Mes-
sen der drei orthogonalen Komponenten einer
Kraft.

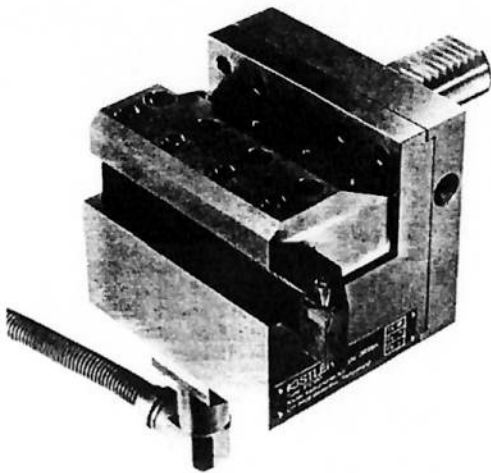
Das Dynamometer wird eingesetzt zum Mes-
sen von Schnittkräften an Drehmaschinen mit
Werkzeugrevolver.

Dynamomètre à quartz à trois composantes
pour mesurer les trois composantes orthogo-
nales d'une force.

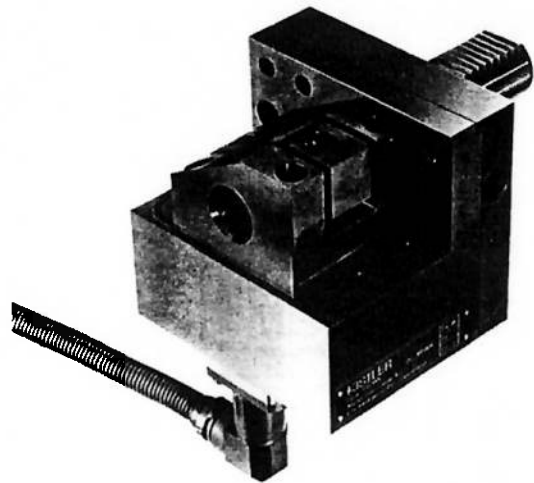
Le dynamomètre est utilisé pour mesurer les
efforts de coupe sur des tours avec tourelle
revolver.

Quartz three-component dynamometer for
measuring the three orthogonal components of
a force.

The dynamometer is used to measure cutting
forces on turning machines with tool turret.



Type 9121 + 9153A20 + 9155A30 + 1689B5



Type 9121 + 9151A20 + 9155A30 + 1689B5

Technische Daten

Données techniques

Technical Data*

Bereich innerhalb Kraftangriffsbereich I (Aussendrehen)	Gamme dans la gamme d'appl. de la force I (pour tourner l'extérieur)	Range within force application range I (for turning the outside diameter)	F_x, F_y kN	-3 ... 3
			F_z kN	-6 ... 6
Bereich innerhalb Kraftangriffsbereich II (Innendrehen)	Gamme dans la gamme d'appl. de la force II (pour tourner l'intérieur)	Range within force application range II (for turning the inside diameter)	F_x, F_y kN	-2 ... 2
			F_z kN	-4 ... 4
Kalibrierter Teilbereich	Gamme partielle étalonnée	Calibrated partial range	F_x, F_y N	0 ... 300
			F_z N	0 ... 600
Überlast Ansprechschwelle	Surcharge Seuil de réponse	Overload Threshold		% 20
Empfindlichkeit (nominal)	Sensibilité (nominale)	Sensitivity (nominal)	F_x, F_y pC/N	$\approx -7,9$
			F_z pC/N	$\approx -3,8$
Empfindlichkeits-Änderung innerhalb Kraftangriffsbereich	Variation de la sensibilité dans la gamme d'appl. de la force	Sensitivity change within force application range		% ≤ 3
Linearität , alle Bereiche	Linéarité , toutes les gammes	Linearity , all ranges		% FSO ≤ 1
Hysteresis , alle Bereiche	Hystérésis , toutes les gammes	Hysteresis , all ranges		% FSO $\leq 0,5$
Übersprechen , alle Achsen	Cross talk , toutes les axes	Cross talk , all axes		% ≤ 3
Eigenfrequenz aufgespannt im Klemmsystem, mit Werkzeughalter	Fréquence propre serré, avec porte-outil	Natural frequency clamped, with toolholder	$f_0 (x, y, z)$ Hz	≈ 1000
Stiffheit	Rigidité	Rigidity	c_x, c_y, c_z N/ μ m	≈ 600
Betriebstemperaturbereich Kapazität (pro Kanal)	Gamme de température d'utilisation Capacité (de canal)	Operating temperature range Capacitance (of channel)	$^{\circ}$ C pF	0 ... 70 ≈ 170
Isolationswiderstand , bei 20 $^{\circ}$ C Massenisolation	Résistance d'isolement , à 20 $^{\circ}$ C Isolé à la masse	Isolation resistance , at 20 $^{\circ}$ C Ground isolation	Ω Ω	$> 10^{13}$ $> 10^8$
Schutzart	Classe de protection	Protection class		IP67
Gewicht (9121 + 9153A20 + 9155A30)	Poids (9121 + 9153A20 + 9155A30)	Weight (9121 + 9153A20 + 9155A30)	kg	5,0

1 N (Newton) = 1 kg $\cdot$ m $\cdot$ s $^{-2}$ = 0,1019... kp = 0,2248... lbf; 1 kgf = 9,80665 N; 1 inch = 25,4 mm; 1 g = 0,03527... oz

* In all Kistler documents, the decimal sign is a comma on the line (ISO 31-0:1992).

Beschreibung

Das Dynamometer besteht aus 3 Teilen und kann für Schnittkraftmessungen nur eingesetzt werden, wenn alle 3 Teile und das Anschlusskabel Typ 1689B5 montiert sind.

Teil 1

Revolveradapter Typ 9155A..., angepasst auf Revolverwerkzeug-Klemmsystem, DIN 69880 (VDI 3425) mit integriertem Kühlschmiermittelanschluss.

Teil 2

Dynamometer Typ 9121 mit eingebauten Quarzsensoren.

Teil 3

Werkzeughalter für Aussendrehwerkzeuge	Typ 9153A...
oder	
Werkzeughalter für Bohrstangen	Typ 9151A...

Das Dynamometer Typ 9121 besteht aus vier Dreikomponenten-Kraftsensoren, die unter hoher Vorspannung zwischen einer Grundplatte und einer Deckplatte eingebaut sind.

Die Kraftsensoren enthalten je drei Quarzkristall-Plattenpaare, wovon das eine auf Druck in der z-Richtung und die beiden anderen auf Schub in der x- bzw. y-Richtung empfindlich sind. Die Kraftkomponenten werden praktisch weglos gemessen.

Die vier Sensoren sind masseisoliert eingebaut. Damit werden Erdschleifenprobleme weitgehend ausgeschaltet.

Das Dynamometer ist rostbeständig und gegen das Eindringen von Spritzwasser bzw. Kühlmittel geschützt. Zusammen mit dem Anschlusskabel Typ 1689B5 genügt das Dynamometer der Schutzklasse IP67.

Anwendung

- Schnittkraftmessungen an Drehmaschinen mit Werkzeugrevolver. Die hohe Empfindlichkeit und die niedrige Ansprechschwelle lassen in Verbindung mit den kalibrierten Teilbereichen auch exakte Messungen an kleinen Werkzeugen zu.
- Kalibrierung der Kraftmesseinrichtung von Werkzeugüberwachungssystemen.

Montage

Dynamometer, Revolveradapter, Werkzeughalter und Anschlusskabel sind als Einheit zusammenzubauen.

Die montierte Messeinrichtung wird dann mit dem vorhandenen Klemmsystem am Werkzeugrevolver fixiert.

Elektronik

Eine Dreikomponenten-Kraftmessenanlage benötigt neben dem Dynamometer noch drei Ladungsverstärker, welche die Ladungssignale des Dynamometers in Ausgangsspannungen umwandeln, die proportional zu den auftretenden Kräften sind.

Description

Le dynamomètre consiste en 3 parties. Il peut être utilisé pour la mesure des efforts de coupe seulement si les 3 parties et le câble de connexion type 1689B5 sont montés.

1re partie

Adaptateur revolver type 9155A..., ajusté au système de serrage pour outil-revolver, DIN 69880 (VDI 3425) avec connexion pour agent réfrigérant intégré.

2e partie

Dynamomètre type 9121 avec capteurs en cristal de quartz montés.

3e partie

Porte-outils pour outils pour tourner l'extérieur	type 9153A...
ou	
Porte-outils pour barres d'alésage	type 9151A...

Le dynamomètre type 9121 se compose de quatre capteurs de force à trois composantes montés sous précontrainte élevée entre une plaque de base et une plaque supérieure.

Les capteurs de force comprennent chacun trois paires de plaquettes en cristal de quartz: l'une de ces paires est sensible à la pression selon l'axe z alors que les deux autres sont sensibles au cisaillement selon l'axe x resp. y. Les composantes de la force sont mesurées pratiquement sans déformation.

Les quatre capteurs sont montés avec isolement par rapport à la masse. Ainsi les problèmes de circuits de retour par la terre sont largement éliminés.

Le dynamomètre est résistant à la rouille et protégé contre la pénétration de projections d'eau et d'agents réfrigérants. Ensemble avec le câble type 1689B5 il correspond à la classe de protection IP67.

Applications

- Mesure des efforts de coupe sur tours avec tourelle revolver. La grande sensibilité et le seuil de réponse bas conjointement avec les gammes de mesure partielles étalonnées permettent aussi des mesures exactes sur de petits outils.
- Etalonnage du système de mesure dans la surveillance de l'outil.

Montage

Le dynamomètre, l'adaptateur revolver, le porte-outil et le câble de connexion sont assemblés en une unité.

Le système de mesure monté est alors fixé au tourelle revolver à l'aide du système de serrage.

Electronique

Outre le dynamomètre, une installation de mesure de force à trois composantes comprend encore trois amplificateurs de charge qui transforment les signaux de charge du dynamomètre en tensions de sortie proportionnelles aux forces appliquées.

Description

The dynamometer consists of 3 parts. It can only be used for cutting force measurements if the three parts and the connecting cable Type 1689B5 are mounted.

Part 1

Revolver adapter Type 9155A..., developed for the revolver tool clamping system, DIN 69880 (VDI 3425) with integrated cooling agent connection.

Part 2

Dynamometer Type 9121 with mounted quartz sensors.

Part 3

Toolholders for tools turning the outside diameter	Type 9153A...
or	
Toolholders for boring bars	Type 9151A...

The dynamometer Type 9121 consists of four three-component force sensors fitted under high preload between a base plate and a top plate.

Each sensor contains three pairs of quartz plates, one sensitive to pressure in the z direction and the other two responding to shear in the x and y direction respectively. The force components are measured practically without displacement.

The four sensors are mounted ground-isolated. Therefore ground loop problems are largely eliminated.

The dynamometer is rustproof and protected against penetration of splashwater and cooling agents. Together with the connecting cable Type 1689B5 it corresponds to the protection class IP67.

Applications

- Cutting force measurements on turning machines with tool turret. In conjunction with the calibrated partial ranges the high sensitivity and low threshold allow also precise measurements on small tools.
- Calibration of the force measuring device of tool monitoring systems.

Mounting

Dynamometer, revolver adapter, toolholder and connecting cable are assembled as a unit.

The mounted measuring device is then fixed to the tool turret by means of the clamping system.

Electronics

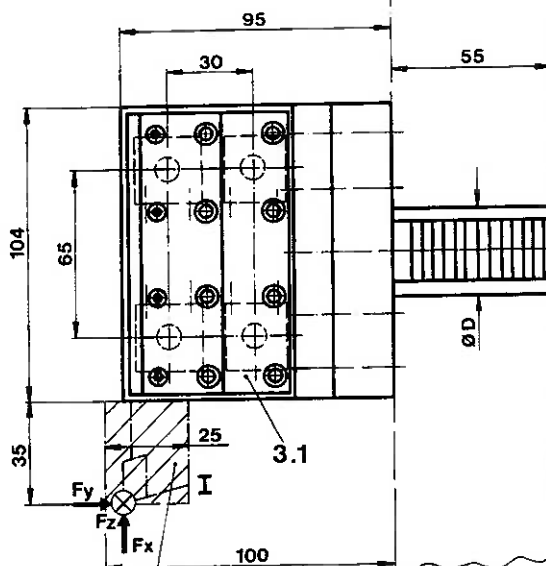
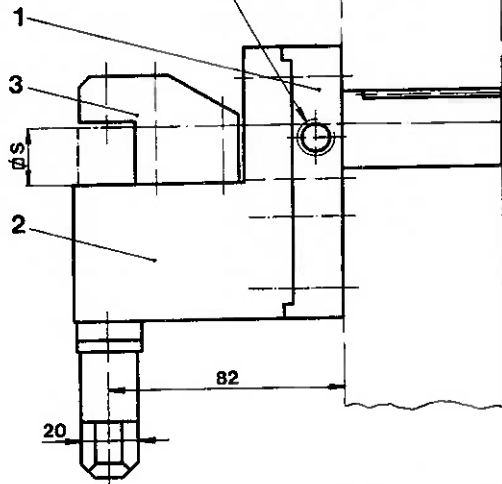
Besides the dynamometer, a three-component force measuring system also needs three charge amplifiers, which convert the dynamometer charge signals into output voltages proportional to the forces sustained.

Abmessungen

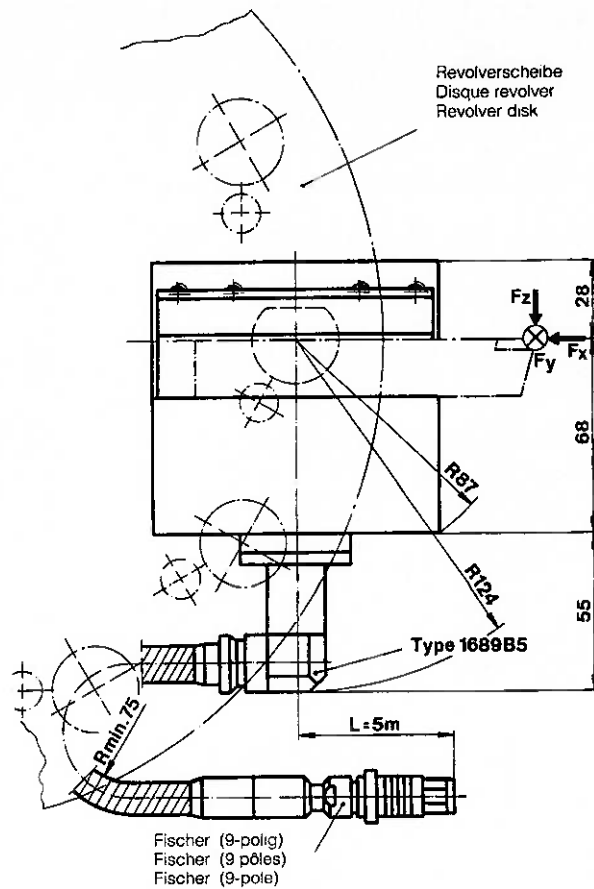
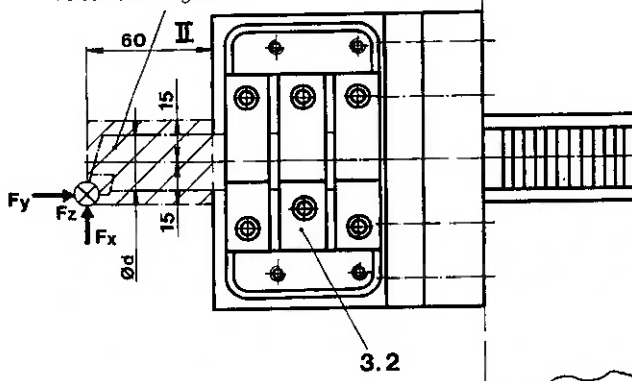
Dimensions

Dimensions

Kühlschmiermittelanschluss M12
Connexion pour agent réfrigérant M12
Connection for cooling agent M12



Bereich Krafteinleitung
Domaine d'introduction de la force
Force introducing area



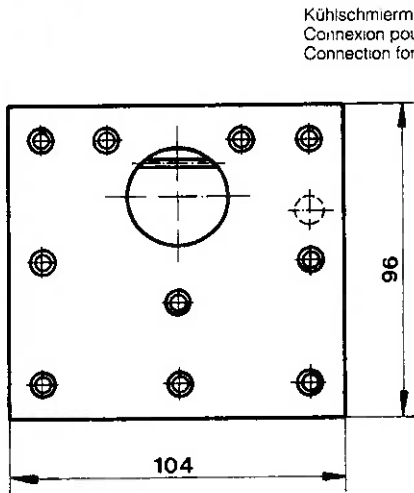
Aussendrehen
Tourner l'extérieur
Turning the outside diameter

Innendrehen
(Bohrstange)
Tourner l'intérieur
(barre d'alésage)
Turning the inside diameter
(boring bar)

- 1 Revolveradapter, auswechselbar
(siehe Zubehör)
Adaptateur revolver, échangeable
(voir accessoires)
Revolver adapter, exchangeable
(see accessories)
- 2 Dynamometer
Dynamomètre
Dynamometer
- 3 Werkzeughalter, auswechselbar
(siehe Zubehör)
Porte-outil, échangeable
(voir accessoires)
Toolholder, exchangeable
(see accessories)
- 3.1 für Aussendrehwerkzeug
pour outil p. tourner l'extérieur
for tool turning the outside diam.
- 3.2 für Bohrstange
pour barre d'alésage
for boring bar

Zubehör

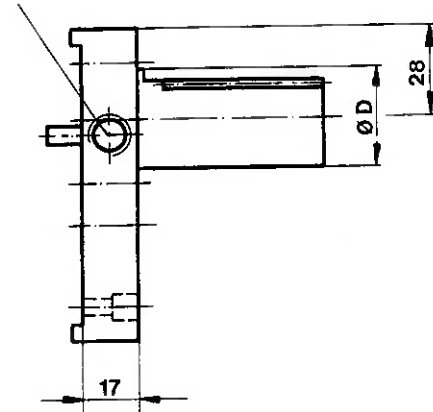
Revolveradapter Typ 9155A...
(Klemmsystem DIN 69880; VDI 3425)



Kühlschmiermittelanschluss M12
Connexion pour agent réfrigérant M12
Connection for cooling agent M12

Accessoires

Adaptateurs revolver type 9155A...
(système de serrage DIN 69880; VDI 3425)

**Accessories**

Revolver adapters Type 9155A...
(clamping system DIN 69880; VDI 3425)

D = 16 mm	Type 9155A16
D = 20 mm	Type 9155A20
D = 30 mm	Type 9155A30
D = 40 mm	Type 9155A40

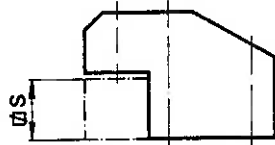
Lieferbare Typen: siehe Preisliste
Types livrables: voir Prix-Courant
Available types: see Price List

Revolveradapter für andere Klemmsysteme
auf Anfrage.
Adaptateurs revolver pour d'autres systèmes
de serrage sur demande.
Revolver adapters for other clamping systems
on request.

Werkzeughalter Typ 9153A...
für Aussendrehwerkzeuge



Porte-outils type 9153A...
pour outils pour tourner l'extérieur

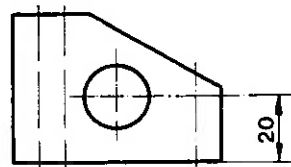


Toolholders Type 9153A...
for tools turning the outside diameter

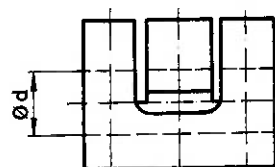
s = 12 x 12 mm	Type 9153A12
s = 16 x 16 mm	Type 9153A16
s = 20 x 20 mm	Type 9153A20

Lieferbare Typen: siehe Preisliste
Types livrables: voir Prix-Courant
Available types: see Price List

Werkzeughalter Typ 9151A...
für Bohrstangen



Porte-outils type 9151A...
pour barres d'alésage



Toolholders Type 9151A...
for boring bars

d = 12 mm	Type 9151A12
d = 16 mm	Type 9151A16
d = 20 mm	Type 9151A20

Lieferbare Typen: siehe Preisliste
Types livrables: voir Prix-Courant
Available types: see Price List

**Für 3-Komponenten-Schnittkraft-
messung F_x , F_y , F_z**

- Anschlusskabel (3adrig) Typ 1689B5
- Verlängerungskabel (3adrig) Typ 1688B5
Typ 1688B10
- Verteilkästchen Typ 5407A

Lieferumfang: siehe Preisliste.

**Schnittkraft-
Messanlagen**

Weitere Einzelheiten
siehe Datenblatt IN6.9121.

**Pour mesurer des efforts de coupe
à 3 composantes F_x , F_y , F_z**

- Câble de connexion (3 fils) type 1689B5
- Câble de rallonge (3 fils) type 1688B5
type 1688B10
- Boîtier de distribution type 5407A

Etendu de la fourniture: voir Prix-Courant.

**Systèmes pour mesurer
les efforts de coupe**

D'autres informations
voir notice technique IN6.9121.

**For 3-Component Cutting Force
Measurements F_x , F_y , F_z**

- Connecting cable (3 leads) Type 1689B5
- Extension cable (3 leads) Type 1688B5
Type 1688B10
- Distribution box Type 5407A

Scope of delivery: see Price List.

**Systems for cutting force
measurements**

Further information
see Data sheet IN6.9121.

APÓS 01/12/99 NOSSO TELEFONE
MUDARÁ DE:
Tel.: 0XX11 3272-8222 para 0XX11 3346-6300
Fax: 0XX11 3272-8777

Piezo-Instrumentation

KISTLER

Nr	Ed.	P
11.5019	4.97	1 ... 4
Type		

5019B...

Mehrkanal-Ladungsverstärker
Amplificateur de charge à plusieurs canaux
Multichannel Charge Amplifier

Mikroprozessorgesteuertes 3- bzw. 4-Kanal-Ladungsverstärkersystem zur Umwandlung der von piezoelektrischen Sensoren abgegebenen Ladung in proportionale Spannungen.

Der Einsatz erfolgt hauptsächlich im Bereich der Schnittkraftmessung mit piezoelektrischen Mehrkomponenten-Dynamometern.

Die gewünschten Parameter lassen sich durch ein geeignetes Tastenfeld, eine LCD-Anzeige sowie verschiedene LEDs ein- und darstellen.

Das Gerät ist CE-konform und entspricht den sicherheitstechnischen Anforderungen gemäß EN 61010-1.

Système à amplificateur de charge microprocesseur à 3 resp. 4 canaux pour convertir les charges électriques de capteurs piézoélectriques en des tensions proportionnelles.

L'instrument est principalement utilisé pour mesurer les efforts de coupe avec piézoélectriques dynamomètres à plusieurs composantes.

Les paramètres désirés peuvent être réglés et affichés par l'intermédiaire d'un clavier approprié, un affichage LCD et différentes DELs.

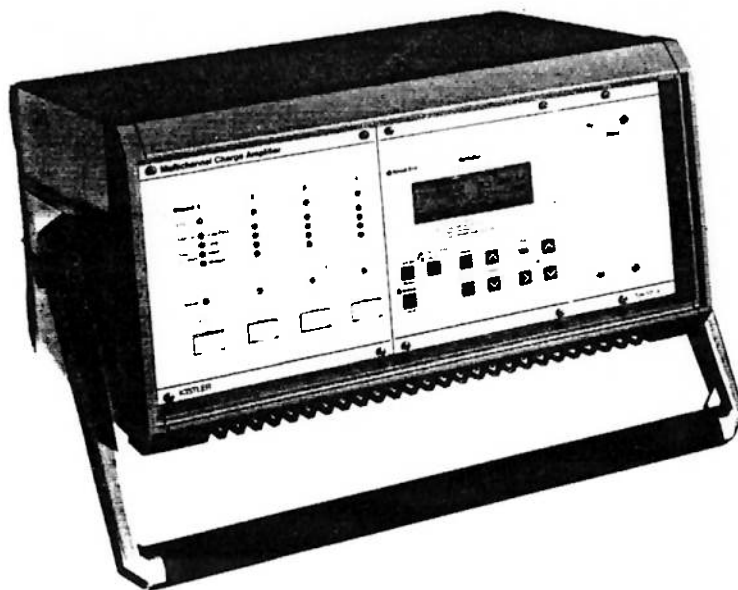
L'appareil est conforme au CE et correspond aux normes de sécurité EN 61010-1.

Microprocessor-controlled 3-channel or 4-channel charge amplifier system for converting the charges yield by piezoelectric sensors into proportional voltages.

The main application field is the cutting force measurement with piezoelectric multi-component dynamometers.

The desired parameters can be set and displayed by means of a keyboard, an LCD and different LEDs.

The instrument is conforming to CE and meets the safety standard EN 61010-1.



- Für Schnittkraft-Messanlagen geeignet
Pour systèmes de mesure des efforts de coupe
For cutting force measuring systems
- CE-konform
Conforme au CE
Conforming to CE
- 3 oder 4 Kanäle
3 ou 4 canaux
3 or 4 channels
- Serielle und parallele Schnittstelle
Interface sériel et parallèle
Serial and parallel interface

Sämtliche Funktionen können auch über eine IEEE-488- oder eine RS-232C-Schnittstelle eingestellt und abgefragt werden.

Das Gerät ist als tragbares Tischgerät gebaut.

Als *Option* ist eine A/D-Wandlerkarte zur Signalanzeige erhältlich.

Toutes les fonctions peuvent aussi être réglées et interrogées par l'intermédiaire d'une interface IEEE-488 ou RS-232C.

L'instrument est construit comme modèle de table portatif.

Un convertisseur analogique-numérique pour l'affichage des signaux est disponible comme *option*.

All functions can also be adjusted and queried via an IEEE-488 or RS-232C interface.

The instrument is designed as a portable desk top unit.

An A/D converter for signal display is available as *option*.

Technische Daten

Données techniques

Technical Data*

<i>Ladungsverstärker</i>	<i>Amplificateur de charge</i>	<i>Charge amplifier</i>		
Anzahl Messkanäle	Nombre des canaux de mesure	Number of measuring channels		3 ... 4
Messbereich	Gamme de mesure	Measuring range	pC	±10 ... 999'000
Sensorempfindlichkeit	Sensibilité du capteur	Sensor sensitivity	pC / M.U.	0,01 ... 9'990 ¹⁾
Massstab	Echelle	Scale	M.U. / V	0,001 ... 9'990'000
Ausgangsspannung	Tension de sortie	Output voltage	V	±10
Ausgangsstrom (kurzschlussicher)	Courant de sortie (protégé contre les court-circuits)	Output current (short-circuit protected)	mA	0 ... ±5
Ausgangsimpedanz	Impédance de sortie	Output impedance	Ω	10
Frequenzbereich (-3dB, Filter off)	Gamme de fréquence (-3dB, Filter off)	Frequency limit (-3dB, Filter off)	kHz	≈0 ... 200
Tiefpassfilter Butterworth 2-pol., 8-stufig 10, 30, 100 ... (-3dB)	Filter passe-bas Butterworth à 2 pôles, à 8 étages 10, 30, 100 ... (-3dB)	Low-pass filter Butterworth 2 pol., 8 stages 10, 30, 100 ... (-3dB)	kHz	0,01 ... 30 (±10 %)
Zeitkonstante Long Hochpassfilter Medium Short	Constante de temps Long Filter passe-haut Medium Short	Time constant Long High-pass filter Medium Short	s	DC-mode 1 ... 10'000
			s	0,01 ... 100
Linearität	Linéarité	Linearity	%	≤±0,05
Messfehler ≤±99,9 pC FS ≥± 100 pC FS	Erreur de mesure ≤±99,9 pC FS ≥± 100 pC FS	Measuring error ≤±99,9 pC FS ≥± 100 pC FS	%	≤±3 ≤±1
Ausgangsstörsignal	Interférence à la sortie	Output interference	mV _{rms}	<1,5
Drift (Leckstrom MOSFET) bei 25 °C	Dérive (courant d'entrée MOSFET) à 25 °C	Drift (input current MOSFET) at 25 °C	pC/s	<±0,03
Parallele Schnittstelle IEEE-488	Interface parallèle IEEE-488	Parallel interface IEEE-488		
Standard	Standard	Standard		IEEE-488-1978
Funktionen	Fonctions	Functions		Listener, Talker
Serielle Schnittstelle RS-232C	Interface sériel RS-232C	Serial interface RS-232C		
Standard	Standard	Standard		RS-232C (V24) / TTY
Übertragungsgeschwindigkeit (Bauds)	Vitesse de transmission (Bauds)	Transmission rate (Bauds)		110, 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600
Allgemeines	Général	General		
Temperaturbereich	Gamme de température	Temperature range	°C	0 ... 50
Spannungsversorgung (umschaltbar)	Alimentation (commutable)	Power supply (switchable)	V AC % Hz	230 / 115 +15 / -22 48 ... 62
Leistungsaufnahme	Puissance absorbée	Power consumption	VA	35
Abmessungen (DIN 41494, Teil 5) Breite Höhe Mit Gehäuse und Tragbügel	Dimensions (DIN 41494, partie 5) Largeur Hauteur Avec boîtier et mallette	Dimensions (DIN 41494, part 5) Width Height With case and handle	TE HE mm	63 4 396 x 187 x 280
Gewicht	Poids	Weight	kg	8
Anschlüsse Netz 2 P + E, Messkreis erdfrei (Schutzklasse I) Ext. Operate (galv. isoliert) Spannung zwischen Netz Erde und Signal-Common	Connexions Secteur 2 P + E, circuit de mesure sans terre (Classe de protection I) Operate ext. (isolé galv.) Tension entre terre du secteur et Signal Common	Connections Mains 2 P + E, measuring circuit ground-free (Class of protection I) Ext. Operate (galv. isolated) Voltage between mains ground and Signal Common	Type D-Sub V _{eff}	IEC 320C14 25 fem. ≤50
Messeingang , Typen (beide parallel)	Entrée de mesure , types (les deux parallèles)	Measuring input , types (both parallel)		Fischer 9-pol.; BNC neg.
Spannungsausgang , Typen (beide parallel)	Sortie de tension , types (les deux parallèles)	Voltage output , types (both parallel)		D-Sub 15-pol.; BNC neg.
Konformität mit EG-Richtlinie	Conformité à la Directive CE	Conformity to EC Directive		
EMV Störaussendung	CEM Emission	EMC Emission		EN 50081-1
EMV Störfestigkeit	CEM Immunité	EMC Immunity		EN 50082-1
Sicherheitstechnische Anforderungen	Règles de sécurité	Safety requirements		EN 61010-1

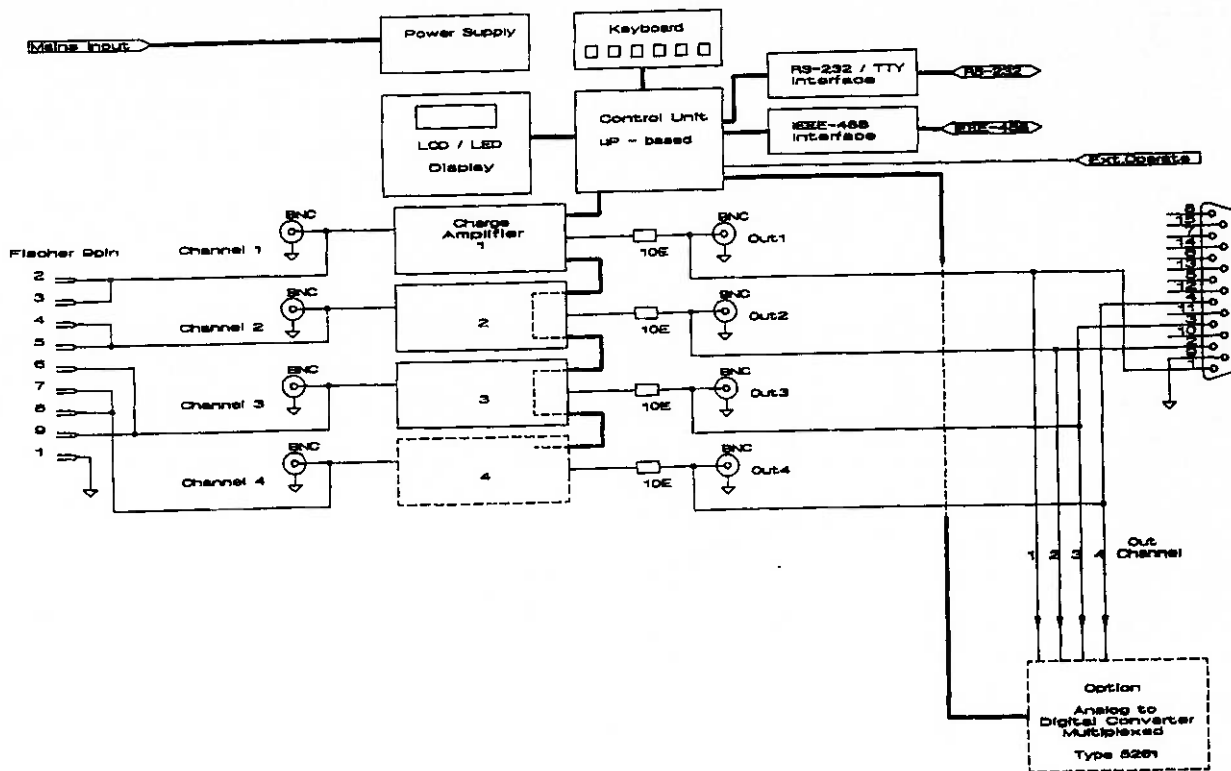
¹⁾ M.U. = Mechanical Unit (Mech. Einheit, z.B. bar, N, g) / M.U. = Mechanical Unit (unité mécanique, p.ex. bar, N, g) / M.U. = Mechanical Unit (e.g. bar, N, g)

* In all Kistler documents, the decimal sign is a comma on the line (ISO 31-0:1992).

Blockschema des Typs 5019B

Schéma-bloc du type 5019B

Block Diagram of Type 5019B



Steckbare Ladungsverstärker-Module 1...4 (Typ 5059) sind in der Mitte des Blockschemas angegeben. Dabei ist, je nach Anwendung, eine Bestückung mit 3 oder 4 Verstärkern möglich.

Die 4 Ladungseingänge (In Channel 1...4) sind an 4 einzelne BNC-Buchsen und gemeinsam an eine hochisolierende "Fischer"-Buchse geführt.

Die 4 Ladungsverstärker-Ausgänge (Out 1...4) sind ebenfalls an BNC-Buchsen angeschlossen und gleichzeitig parallel dazu an eine 15-polige D-Sub-Buchsenleiste.

Option

Die als Option erhältliche A/D-Wandlerkarte Typ 5261 ermöglicht das Anzeigen eines der Ausgangssignale auf dem LCD.

Les modules enfichables des amplificateurs de charge 1...4 (type 5059) sont dessinés au milieu du schéma fonctionnel. Dépendant de l'application envisagée, l'unité peut être équipée de 3 ou 4 amplificateurs.

Les 4 entrées de charge (In Channel 1...4) sont menées sur 4 fiches femelles BNC séparées et une fiche femelle "Fischer" commune à isolement élevé.

Les 4 sorties des amplificateurs de charge (Out 1...4) sont aussi branchées sur des fiches femelles BNC et, de plus, parallèlement sur une réglette de raccordement D-Sub à 15 pôles.

Option

Le circuit imprimé convertisseur analogique-numérique type 5261 optionnel permet d'afficher un des signaux sur un LCD.

Plug-in charge amplifier modules 1...4 (Type 5059) are shown in the center of the block diagram. Depending on the application, the unit can be equipped with 3 or 4 amplifiers.

The 4 charge inputs (In Channel 1...4) are led onto 4 individual BNC sockets, and in common onto a highly insulating "Fischer" socket.

The 4 charge amplifier outputs (Out 1...4) are connected to BNC sockets, too, and also in parallel to a 15-pole D-Sub socket terminal strip.

Option

The optionally available A/D card Type 5261 enables to display one of the output signals on an LCD.

Bestellbezeichnung**Désignation de commande****Ordering Code****Mehrkanal-
Ladungsverstärker****Amplificateur de charge
à plusieurs canaux****Multichannel
Charge Amplifier****5019B1****Code**

- | | | | | |
|-----------------------|------------------------------|-----------------------|------------------|---|
| • 3 Ladungsverstärker | • 3 Amplificateurs de charge | • 3 Charge amplifiers | Type 5059 | 3 |
| • 4 Ladungsverstärker | • 4 Amplificateurs de charge | • 4 Charge amplifiers | | 4 |

- | | | | | |
|---|--|---|------------------|---|
| • Keine Option | • Sans Option | • Without Option | Type 5261 | 0 |
| • A/D-Wandlerkarte für Signalanzeige (12 Bit) | • Convertisseur analogique-numérique p. l'affichage des signaux (12 Bit) | • A/D converter for signal display (12 Bit) | | 1 |

Einschübe**Typ**

- Ladungsverstärker
- A/D Wandlerkarte

5059
5261**Modules enfichables****Typ**

- Amplificateur de charge
- Convertisseur analogique-numérique

5059
5261**Plug-in units****Typ**

- Charge amplifier
- A/D converter

5059
5261

(können auch einzeln bestellt werden)

(peuvent aussi être commandés séparément)

(can also be ordered separately)

Lieferumfang

Siehe Preisliste

Etendue de la fourniture

Voir liste des prix

Scope of Delivery

See Price List

**Mehrkomponenten-
Messanlagen**Einzelheiten betreffend Schnittkraftanlagen
siehe IN11.5019.**Systèmes de mesure
à plusieurs composantes**Détails concernant les systèmes
pour mesurer les efforts de coupe
voir IN11.5019.**Multicomponent
Measuring Systems**Details concerning cutting force systems
see IN11.5019**Zubehör****Typ**

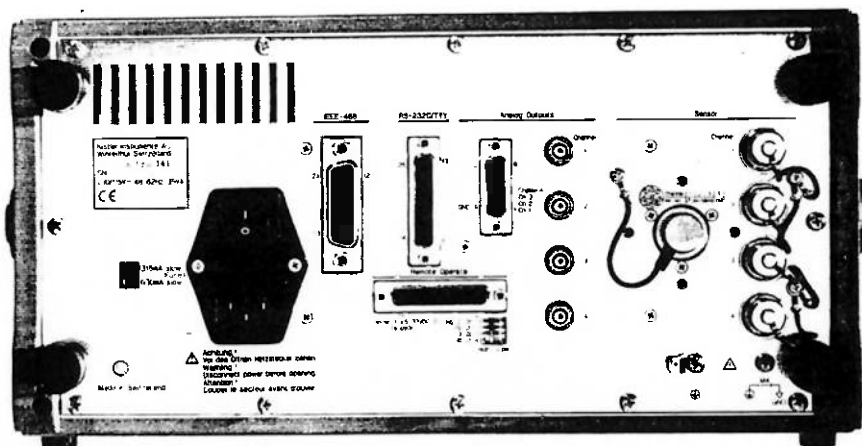
- Fernsteuerkästchen für Operate/Reset
- Verbindungskabel (zu Datenerfassungskarte)

5669
1500B15**Accessoires****Typ**

- Télécontrôle pour Operate/Reset
- Câble de connexion (p. carte de saisie de données)

5669
1500B15**Accessories****Typ**

- Remote control box for Operate/Reset
- Connecting cable (for data acquisition board)

5669
1500B15

**APÓS 01/12/99 NOSSO TELEFONE
MUDARÁ DE:**
Tel.: 0XX11 3272-8222 para 0XX11 3346-6300
Fax: 0XX11 3272-8777

Piezo-Instrumentation

KISTLER

Nr 19.2825 Ed 4.97 P 1 ... 4
Type

2825A1-1

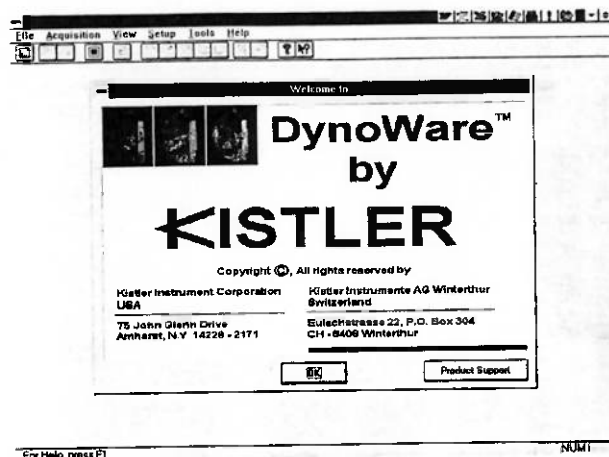
DynoWare™ – Datenerfassung und Verarbeitung für die Kraftmessung
DynoWare™ – Saisie et traitement des données dans le cadre des mesures de forces
DynoWare™ – Data capture and processing for force measurement

DynoWare™ ist eine universelle, einfach zu bedienende Software. Sie eignet sich besonders für Kraftmessungen mit Kistler Dynamometern und Kraftsensoren.

DynoWare™ est un logiciel universel d'une grande convivialité, particulièrement adapté à la mesure des forces au moyen de dynamomètres et capteurs Kistler.

DynoWare™ is a universal, easy-to-use software. It is particularly suitable for force measurements with Kistler dynamometers and force sensors.

- Läuft unter Windows 3.x, Windows 95
Fonctionne sous Windows 3.x, Windows 95
Runs under Windows 3.x, Windows 95
- Datenbank für Messwerte und Geräte
Banque de données pour les valeurs mesurées et les paramètres des appareils
Database for measurands and instruments
- Fernsteuerung aller Kistler Geräte
Télécommande de tous les appareils Kistler
Remote control of all Kistler instruments
- Leistungsfähige Grafik
Représentation graphique performante
Powerful graphics



Spezifikationen

- **Messkanäle**
8 Messkanäle mit 12 Bit Auflösung (CIO – DAS 1602/12).
- **Messbereich pro Kanal**
±10 V.
- **Abtastezeit pro Kanal**
Max. Abtastezeit der A/D-Karte, dividiert durch Anzahl gewählter Kanäle.
Für CIO – DAS 1602/12:
100 kHz / Anzahl Kanäle.
- **Messzeit**
Ist nur durch den Speicher (RAM) begrenzt.
Beispiel:
3 Messkanäle, die während 1 Minute mit 3000 Hz abgetastet werden, benötigen ≈1 MB RAM.
- **Database (Datenbank)**
Für Kistler Kraftmessgeräte, Kabel, Ladungsverstärker.
Default-Werte werden automatisch eingestellt.
- **Fernsteuerung der Kistler Elektronik**
Über RS-232C- oder IEEE-488-Schnittstelle.
- **Datenerfassung**
Messdaten werden in einer Datenbank gespeichert. Die Verwaltung ist charakterisiert durch 2 Ebenen:

Classification (Klassierung)

Trial (Messreihe)

Innerhalb eines Trials können mehrere Messzyklen erfasst werden.
Automatische Verwaltung der Geräte Konfiguration (set-up) für jede Messung.

- **Import / Export**
von Messdaten im ASCII-Format (Labview, Dia Dago, Excel, u.a.).
- **Database Editor**
Einfache Eingabe von neuen Gerätedaten in die Datenbank.

Spécifications

- **Canaux de mesure**
8 canaux de mesure, avec résolution de 12 bit (CIO – DAS 1602/12).
- **Gamme de mesure par canal**
±10 V.
- **Cadence d'échantillonnage par canal**
Cadence d'échantillonnage de la carte A/D, divisée par le nombre de canaux sélectionné.
Pour CIO – DAS 1602/12:
100 kHz / nombre de canaux.
- **Temps de mesure**
Uniquement limité par la mémoire (RAM).
Exemple:
L'échantillonnage de 3 canaux de mesure pendant 1 minute à 3000 Hz requiert ≈1 MB RAM.
- **Database (banque de données)**
Pour les appareils de mesure des forces, les câbles et les amplificateurs de charge Kistler.
Réglage automatique des valeurs par défaut.
- **Télécommande de l'électronique Kistler**
Via interface RS-232C ou IEEE-488.
- **Saisie des données**
Les valeurs mesurées sont stockées dans une banque de données. La gestion se caractérise par deux niveaux:

Classification

Trial (série de mesures)

Plusieurs cycles de mesure peuvent être saisis pendant un trial.
Gestion automatique de la configuration (set-up) des appareils pour chaque mesure.

- **Importation / Exportation**
de données de mesure en format ASCII (Labview, Dia Dago, Excel, etc.).
- **Database Editor**
Simplicité d'entrée de nouveaux paramètres d'appareils dans la banque de données.

Specifications

- **Measuring channels**
8 measuring channels with 12 bit resolution each (CIO – DAS 1602/12).
- **Measuring range per channel**
±10 V.
- **Sampling rate per channel**
Max. sampling rate of A/D card, divided by number of channels selected.
For CIO – DAS 1602/12:
100 kHz / number of channels.
- **Measuring time**
Limited only by the memory (RAM).
Example:
3 measuring channels scanned for 1 minute at 3000 Hz require ≈1 MB RAM.
- **Database**
For Kistler force measuring instruments, cables, charge amplifiers.
Default values automatically set.
- **Remote control of Kistler electronics**
Via RS-232C or IEEE-488 interface.
- **Data acquisition**
Measured data are stored in a databank. Its management is characterized by 2 levels:

Classification

Trial (measuring sequence)

Several measuring cycles can be recorded during a trial.
Automatic management of the equipment configuration (set-up) for every measurement.

- **Import / Export**
of measured data in ASCII format (Labview, Dia Dago, Excel etc.).
- **Database Editor**
Simple entry of new instrument data in the database.

- **Trigger**
 - Keyboard, analog, digital

- **Grafik**
 - Darstellung als y-t Grafik
 - Darstellung verschiedener Messungen in einem Messfenster
 - Automatische und manuelle Skalierung
 - Cursor für genaue Werte
 - Zoomen von Messkurven

- **Tools**
 - Voltmeter
 - Oszilloskop

- **Analyse**
 - Grundoperation der Messdaten mit einer Konstante
 - Grundoperation der Messkanäle (z.B. Kanal 1 + Kanal 2)
 - Digitale Filter
 - Messsignal-Glättung

- **Drucker / Plotter**
durch Windows unterstützt

- **Trigger**
 - Clavier, analogique, numérique

- **Graphique**
 - Représentation comme graphiques y-t
 - Représentation de différentes mesures dans une même fenêtre
 - Cadrage automatique et manuel
 - Curseur pour des valeurs précises
 - Zoomage des courbes de mesure

- **Tools**
 - Voltmètre
 - Oscilloscope

- **Analyse**
 - Valeurs mesurées: opération de base avec une constante
 - Canaux de mesure: opération de base (p.ex. canal 1 + canal 2)
 - Filtrés numériques
 - Lissage

- **Imprimante / Traceur**
fonctionne sous Windows

- **Trigger**
 - Keyboard, analog, digital

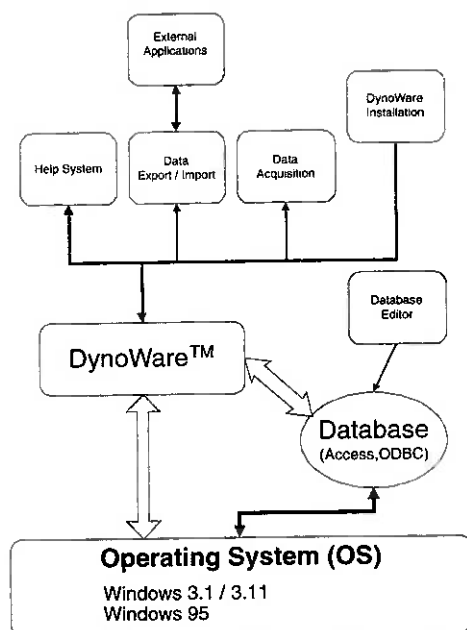
- **Graphics**
 - Display as y-t graphics
 - Display of different measurements in one measuring window
 - Automatic and manual scaling
 - Cursor for precise values
 - Zooming of measuring curves

- **Tools**
 - Voltmeter
 - Oscilloscope

- **Analysis**
 - Basic operation of measured data with a constant
 - Basic operation of measuring channels (e.g. channel 1 + channel 2)
 - Digital filters
 - Smoothing

- **Printer / Plotter**
supported by Windows

DynoWare - Overview



Anwendung

Eine umfangreiche Datenbank unterstützt die wichtigsten Kistler Ladungsverstärker. Messkettenkonfigurationen werden automatisch auf ihre Richtigkeit überprüft. DynoWare™ ist vor allem für die Mehrkomponentenkraftmessung geeignet wie:

- Schnittkraftmessungen
- Allgemeine Mehrkomponenten-Kraftmessung

Daneben lassen sich auch Messwerte beliebiger physikalischer Größen erfassen. Die weite Verbreitung der Windows-Oberfläche, sowie die einfache Bedienung macht DynoWare™ zur universellen Datenerfassungssoftware in Forschung und Industrie.

Application

Une vaste banque de données permet l'utilisation des principaux amplificateurs de charge Kistler. Le logiciel permet de contrôler automatiquement la correction de la configuration des chaînes de mesure. DynoWare™ convient tout particulièrement à la mesure des forces à plusieurs composantes, notamment à:

- Mesures des efforts de coupe
- Mesure des forces à plusieurs composantes en général

Le logiciel permet par ailleurs la saisie d'autres grandeurs physiques. L'environnement Windows, largement répandu, ainsi que la convivialité de DynoWare™ en font un logiciel de saisie universel pour la recherche et l'industrie.

Application

An extensive database supports the main Kistler charge amplifiers. Measuring chain configurations are automatically tested for correctness. DynoWare™ is particularly suitable for multi-component force measurement such as:

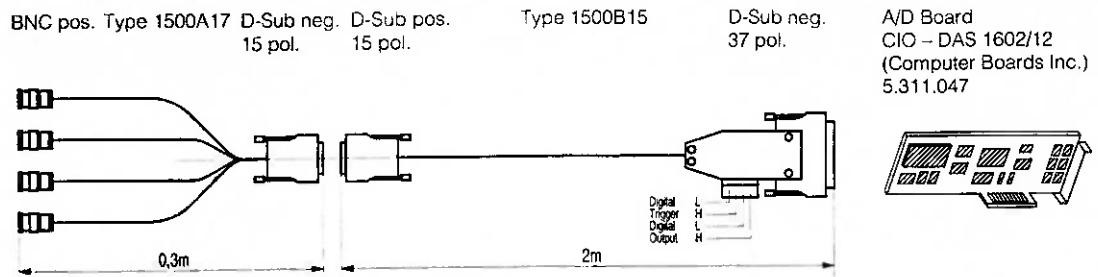
- Cutting force measurements
- General multi-component force measurement

In addition, measurands of any physical quantity are also recorded. The widespread use of the Windows platform together with simple operation makes DynoWare™ a universal data acquisition software for research and industry.

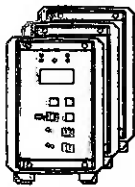
**Messkette mit 1 ... 4
Einkanal-Ladungsverstärkern
Typ 5011xx1**

**Chaîne de mesure avec 1 à 4
amplificateurs de charge monocanal
type 5011xx1**

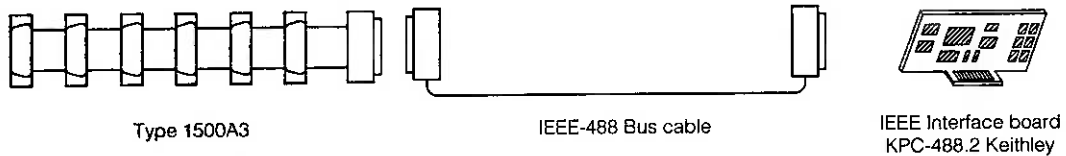
**Measuring chain with 1 ... 4
single channel charge amplifiers
Type 5011xx1**



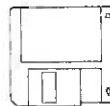
1 ... 4 5011xx1



IBM AT 80486 / Pentium



Software Type 2825A1-1
3,5"



DynWare™ Runtime License
Centronics Interface (LPT 1)



**Notwendige Hardware
(wird nicht von Kistler geliefert)**

IBM PC AT 80486 oder Pentium
oder 100 % kompatibel

- Festplatte min. 10 MB frei
- Hauptspeicher min. 16 MB RAM
- 3,5"-Diskettenlaufwerk (1,44 MB)
- VGA-Farb-Video-Ausrüstung
- Auflösung 800 x 600 oder höher
- Microsoft Maus (oder 100 % kompatibel)
- Freier Steckplatz für A/D Wandlerkarte (ISA-Bus)
- A/D-Datenerfassungskarte (CIO - DAS 1602/12 Computer Boards Inc.)
- Parallele Schnittstelle Centronics (LPT1)
- Serielle Schnittstelle RS-232C (COM1)
- Windows 3.x, Windows 95

**Matériel requis
(non livré par Kistler)**

PC IBM AT 80486 ou Pentium
ou ordinateur compatible à 100 %

- Disque dur min. 10 MB disponible
- Mémoire centrale min. 16 MB de RAM
- Lecteur de disquettes 3,5" (1,44 MB)
- Equipement vidéo couteur VGA
- Résolution 800 x 600 ou supérieure
- Souris Microsoft (ou 100 % compatible)
- Emplacement libre pour enficher la carte du convertisseur A/D (ISA-bus)
- Carte de saisie de données A/D (CIO - DAS 1602/12 Computer Boards Inc.)
- Interface parallèle Centronics (LPT1)
- Interface série RS-232C (COM1)
- Windows 3.x, Windows 95

**Hardware required
(not supplied by Kistler)**

IBM PC AT 80486 or Pentium
or 100 % compatible

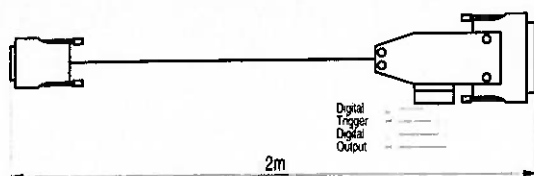
- Hard disk min. 10 MB available space
- Min. 16 MB of RAM
- 3,5" disk drive (1,44 MB)
- VGA color video equipment
- Resolution 800 x 600 or higher
- Microsoft mouse (or 100 % compatible)
- Free slot for A/D converter card (ISA-bus)
- A/D data capture card (CIO - DAS 1602/12 Computer Boards Inc.)
- Parallel interface Centronics (LPT1)
- Serial interface RS-232C (COM1)
- Windows 3.x, Windows 95

esskette mit Mehrkanal-
idungsverstärker
p 5019... / 5017...

Chaîne de mesure avec amplificateur
de charge à canaux multiples
Type 5019... / 5017...

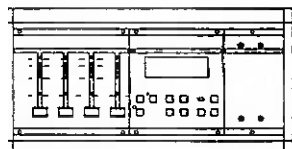
Measuring chain with multi-channel
charge amplifier
Type 5019 ... / 5017 ...

D-Sub pos. 15 pol. Type 1500B15 D-Sub neg. 37 pol.



5019... / 5017...

A/D Board
CIO - DAS 1602/12
(Computer Boards Inc.)
5.311.047



D-Sub pos.
25 pol.

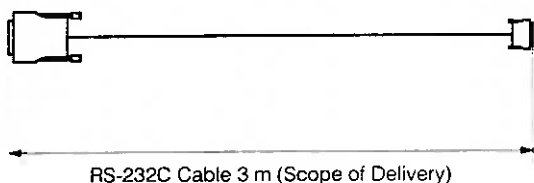
Type
1475A3

D-Sub neg.
9 pol.

D-Sub pos.
9 pol.

D-Sub neg.
25 pol.

IBM AT 80486 / Pentium



RS-232C Cable 3 m (Scope of Delivery)



Type 1469



Variant

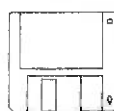


IEEE-488 Bus cable

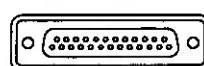


IEEE Interface board
KPC-488.2 Keithley

Software Type 2825A1-1
3,5"



DynoWare™ Runtime License
Centronics Interface (LPT 1)



Lieferumfang	Typ	Etendue de la fourniture	Type	Scope of delivery	Type
DynoWare™, englische Version 3,5"-Disketten	2825A1-1	• DynoWare™, version anglaise Disquettes 3,5"	2825A1-1	• DynoWare™, English version 3,5" diskettes	2825A1-1
DynoWare™ Runtime Lizenz Software License Agreement		• Runtime Licence DynoWare™ • Software License Agreement		• DynoWare™ Runtime License • Software License Agreement	
RS-232C Verbindungskabel, 3 m Dokumentation	1475A3	• Câble de connexion RS-232C, 3 m • Documentation	1475A3	• RS-232C connecting cable, 3 m • Documentation	1475A3
Zubehör	Typ	Accessoires	Type	Accessories	Type
Messsignal: Verbindungskabel	1500B15	• Signal de mesure: Câble de connexion	1500B15	• Measuring signal: Connecting cable	1500B15
Messsignal: Adapterkabel 4-fach	1500A17	• Signal de mesure: Câble adaptateur 4x	1500A17	• Measuring signal: Adapter cables 4 off	1500A17
IEEE-Adapterkabel 6-fach	1500A3	• Câble adaptateur IEEE 6x	1500A3	• IEEE adapter cables 6 off	1500A3
A/D-Datenerfassungskarte 5.311.047 (CIO - DAS 1602/12 Computer Boards Inc.)		• Carte de saisie de données A/D 5.311.047 (CIO - DAS 1602/12 Computer Boards Inc.)		• A/D data capture card 5.311.047 (CIO - DAS 1602/12 Computer Boards Inc.)	
RS-232C Adapter 9 pol - 25 pol	1469	• Adaptateur RS-232C 9 pôles - 25 pôles	1469	• RS-232C adapter 9-pole - 25-pole	1469
empfohlenes Zubehör (nicht von Kistler geliefert)		Accessoires recommandés (non livrés par Kistler)		Recommended accessories (not supplied by Kistler)	
IEEE-Schnittstellenkarte KPC-488.2 (Keithley)		• Carte interface IEEE KPC-488.2 (Keithley)		• IEEE interface card KPC-488.2 (Keithley)	
IEEE-488 Bus-Kabel		• Câble-bus IEEE-488		• IEEE-488 bus cable	
Drucker für Windows		• Imprimante pour Windows		• Printer for Windows	

Anexo VIII –ORÇAMENTO DE UM DINAMÔMETRO KIESTLER

O ORÇAMENTO DOS ELEMENTOS APRESENTADOS NO ANEXO VI AUXILIA NA REALIZAÇÃO DO ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DESTE PROJETO.



São Paulo, 23 de Março de 2000
EP153

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Av. Prof. Mello Moraes, 2231
Cidade Universitária
São Paulo SP
05508-900

At.: Prof. André Ricardo Guimarães
Departamento de Engenharia Mecânica
Laboratório de Fenômenos de Superfície

Prezado Prof. André,

Em atenção a solicitação de V.S., e em nome de nossa representada exclusiva **"KISTLER INSTRUMENTE AG WINTERTHUR - SUÍÇA"**, temos a satisfação de oferecer para sua importação direta por nosso intermédio:

- 01 1 Dinamômetro a quartzo com 3 componentes (Fx, Fy, Fz), para medição dos 3 componentes ortogonais de uma força. Recomendado para medição de forças de usinagem em operações de torneamento com torno revolver. Com possibilidades de medição de momento (My) durante o torneamento do diâmetro interno. O dinamômetro é constituído por 4 sensores de força com 3 componentes montados sob alta precarga entre duas placas (base e topo). Cada sensor contém 3 pares de placas de cristal de quartzo, sendo um par sensível à pressão na direção "Z" e os outros dois, sensíveis ao cisalhamento nas direções "X" e "y" respectivamente sem deslocamento. As saídas dos 4 sensores incorporados são conectados no interior do dinamômetro de forma permitir a medição de multicomponentes de força e momento. O dinamômetro é totalmente à prova de ferrugem, sendo protegido contra a penetração de respingos de água e agentes refrigerantes.

FAIXAS DE MEDIÇÃO

- A) Para torneamento do diâmetro externo

$$F_x, F_y = -3 A + 3 \text{ kN}$$

$$F_z = -6 A + 6 \text{ kN}$$

- B) Para torneamento do diâmetro interno

$$F_x, F_y = -1 A + 2 \text{ kN}$$

$$F_z = -4 A + 4 \text{ kN}$$

$$M_y = -200 A + 200 \text{ N}$$

MODELO 9121

PREÇO UNITÁRIO:

SFR 23.520,00



- 01.1 1 Adaptador para torno revolver com sistema de montagem (espiga cilíndrica) conforme DIN –69880/1 (VDI 3425), diâmetro de 30mm.

MODELO 9155 A

PREÇO UNITÁRIO:

SFR 3.600,00

- 01.2 1 Porta ferramenta para torneamento di diâmetro externo dimensão de 20 x 20mm

MODELO 9153 A 20

PREÇO UNITÁRIO:

SFR 625,00

- 01.3 1 Cabo de conexão com 3 condutores, comprimento de 5 metros, com proteção metálica flexível, fornecido com conectores Fischer 9 polos positivos.

MODELO 1689B5

PREÇO UNITÁRIO:

SFR 2.205,00

- 02 1 Dinamômetro a quartzo com 3 componentes (Fx, Fy, Fz), para medição dos 3 componentes ortogonais de uma força. Recomendado para medição de forças de usinagem em operações de torneamento com torno revolver. Com possibilidades de medição de momento (My) durante o torneamento do diâmetro interno.

O dinamômetro é constituído por 4 sensores de força com 3 componentes montados sob alta precarga entre duas placas (base e topo). Cada sensor contém 3 pares de placas de cristal de quartzo, sendo um par sensível à pressão na direção "Z" e os outros dois, sensíveis ao cisalhamento nas direções "X" e "y" respectivamente sem deslocamento. As saídas dos 4 sensores incorporados são conectados no interior do dinamômetro de forma permitir a medição de multicomponentes de força e momento. O dinamômetro é totalmente à prova de ferrugem, sendo protegido contra a penetração de respingos de água e agentes refrigerantes.

FAIXAS DE MEDIÇÃO

- A) Para torneamento do diâmetro externo

$$F_x, F_y = -3 A + 3 \text{ kN}$$

$$F_z = -6 A + 6 \text{ kN}$$

- C) Para torneamento do diâmetro interno

$$F_x, F_y = -1 A + 2 \text{ kN}$$

$$F_z = -4 A + 4 \text{ kN}$$

$$M_y = -200 A + 200 \text{ N}$$

MODELO 9121

PREÇO UNITÁRIO:

SFR 23.520,00

- 02.1 1 Porta ferramenta para porta broca, diâmetro de 20 mm

MODELO 9151 A20

PREÇO UNITÁRIO:

SFR 800,00

- 02.2 1 Adaptador para torno revolver com sistema de montagem (espiga cilíndrica) conforme DIN –69880/1 (VDI 3425), diâmetro de 30mm.

MODELO 9155 A

PREÇO UNITÁRIO:

SFR 3.600,00



- 02.3 1 Cabo de conexão com 3 condutores, comprimento de 5 metros, com proteção metálica flexível, fornecido com conectores Fischer 9 polos positivos.

MODELO 1689B5

PREÇO UNITÁRIO:

SFR 2.205,00

- 03 1 Amplificador de carga microprocessada com 3 canais para conversão de sinais de carga gerados por transdutores piezoelétrico em tensão proporcional. Todos os parâmetros e funções poderão ser ajustados através de um teclado alfanumérico frontal e visualização dos mesmos através de display de cristal líquido com 4 linhas e 20 caracteres, com escala de medição de ± 10 a 999000 pC. Ajuste da sensibilidade do sensor de 0,01 a 9990 pC/UM e ajuste da escala de 0,0001 a 999.000 UM/V (unidade mecânica/Volts), saída de tensão = 0 a 10 VDC. Saída de corrente = 0 a 5mA. Fornecido com interface IEEE-488 e RS-232C para ajuste e controle das funções via computador. Tensão de alimentação = 115/230 Volts, 48/62 Hertz.

MODELO 5019 A131

PREÇO FOB UNITÁRIO:

SFR 13.515,00

- 04 1 Software universal para captura e processamento de dados de esforços de usinagem através de dinamômetros e transdutores de força Kistler em ambiente Windows. Apresentando em disquete de 3 1/2 ", versão em língua inglesa. Fornecido com cabo RS - 232C com 3m de comprimento, manual de utilização e licenças.

MODELO 2825 A1 - 1

PREÇO FOB UNITÁRIO:

SFR 3.825,00

ACESSÓRIOS

- 1 Cabo de conexão com 2 metros de comprimento, com conectores D - SUB POS. 15 polos/D SUB neg. 37 polos, para conexão entre o amplificador de carga modelo 5019 e A Placa A/D.

MODELO: 1500B15

PREÇO FOB UNITÁRIO:

SFR 310,00

- 1 Placa de conversão analógica/digital tipo C10-DAS 1602 Computer Boards Inc.

MODELO 5.311.047

PREÇO FOB UNITÁRIO:

SFR 3.500,00

- 1 Adaptador para interface RS - 232C, 9 polos/25 polos.

MODELO 1469

PREÇO FOB UNITÁRIO:

SFR 125,00



CONDIÇÕES DE FORNECIMENTO.

Prazo de embarque:	60/90 dias
Cond. Pagamento:	Contra abertura de Carta de Crédito a favor do exportador: COMPANSID S/A. Avenue Henri Matisse, 16 B - 1140 - Bruxelas/Bélgica
Despesas:	6,5% (Frete interno, embalagem para exportação).
Garantia:	12 meses contra defeitos de fabricação
Validade desta Proposta:	30 dias

No aguardo de um breve pronunciamento por parte de V.Sas., colocamo-nos a vossa inteira disposição para prestar quaisquer esclarecimentos adicionais que se fizerem necessários.

Atenciosamente,

WILIAN ROBERTO VIEIRA
Gerente de Produto

Anexo IX – MATERIAL UTILIZADO PARA O TORNEAMENTO

O MATERIAL UTILIZADO PARA AS OPERAÇÕES DE TORNEAMENTO CONSISTE EM BARRAS CILÍNDRICAS DE AÇO SAE 1045 LAMINADO A FRIO, COM DIÂMETRO DE 3.5 POLEGADAS.

A DUREZA AO LONGO DO DIÂMETRO FOI MEDIDA COM AUXÍLIO DE UM DURÔMETRO, UTILIZANDO O MÉTODO BRINELL.

***Anexo X – RELATÓRIO DE MANUTENÇÃO E UTILIZAÇÃO DO TORNO
MAZAK QT 8N***

*A MÁQUINA OPERATRIZ ESCOLHIDA PARA A EXECUÇÃO DESTE TRABALHO
NÃO APRESENTAVA CONDIÇÕES DE USO, O QUE EXIGIU A REALIZAÇÃO DE
DIVERSOS PROCEDIMENTOS DETALHADOS A SEGUIR.*

PARA A UTILIZAÇÃO DO TORNO MAZAK, FORAM EXIGIDOS OS SEGUINTE
PROCEDIMENTOS:

- ✓ LIMPEZA DO EQUIPAMENTO;*
- ✓ CONTATO COM O FABRICANTE PARA REALIZAÇÃO DO SETUP DO EQUIPAMENTO;*
- ✓ SUBSTITUIÇÃO DAS BATERIAS DO EQUIPAMENTO;*
- ✓ TROCA DE ÓLEO DO EQUIPAMENTO;*
- ✓ COMPRA E USINAGEM DE UM JOGO DE CASTANHAS;*
- ✓ SUBSTITUIÇÃO DAS CASTANHAS DO EQUIPAMENTO.*

ALGUNS DOCUMENTOS REFERENTES A ESTAS ETAPAS SÃO APRESENTADOS A SEGUIR.

Mazak

MAZAK SULAMERICANA LTDA.

Av. Juscelino K. de Oliveira, 1350 – Distrito Industrial Santa Bárbara D'Oeste-SP
Cep: 13456-401 Fone (019)463-7614 – Fax (019)455-3145

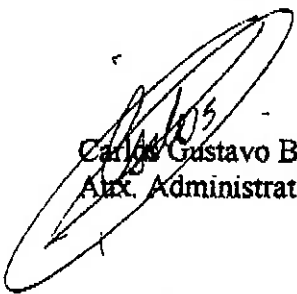
Santa Bárbara D'oeste 24 de Julho de 2000

À USP

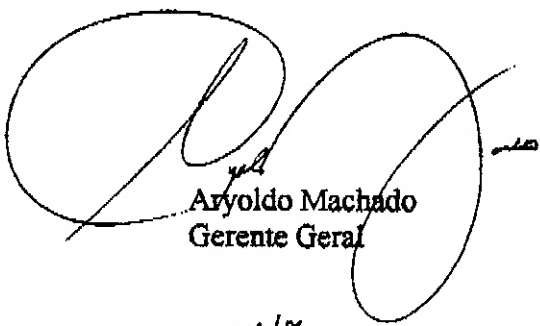
A/C : André Guimarães

Informamos que nosso técnico o Sr. Luis Carlos Domingues estará indo até a USP
no dia 31 de Julho

Atenciosamente



Carlos Gustavo Borelli
Aux. Administrativo



Aryoldo Machado
Gerente Geral

24/7

Relatório de Assistência Técnica

Nº 1861 /99

Nome do Técnico

Acaio

Data de Início

31/07/00

Nome do Cliente
U.S.P. (Autotécnica Depto Eng. Mecânica)
Endereço - Rua / Bairro / Nº
AV Prof. Mello de Moraes, 2231
Cidade / CEP
São Paulo S.P. 11.9733.52865r. Marcelo

DADOS DA MÁQUINA
Modelo QT 8N Nº Série 104503 Comando T 32-2
Sales Region C Causas G / A P / U C Ação

Motivo da Chamada: Alarme de BUS ERROR, comando não inicializa.

Módulo										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	OBS:
N. de Técnico(s)	01									
Data	31/07									
Início	08:15									
Intervalo										
Chegada no Cliente	10:00									
Intervalo										
Saída do Cliente	11:30									
Intervalo										
Término										
Kilometragem										

MAQUINA NA GARANTIA?
Sim Não X

ENTREGA TÉCNICA DE MÁQUINA? (MAQ. NOVA)
Sim Não X

Relatório de Viagem número:

Relatório Descritivo do Técnico (Causas, Medidas, Recomendações, Ações):

- Reinstalado comando
- Corrigido parâmetros
- teste de funcionamento. OK.
- Máquina liberada

OBS Medido tensão da bateria 3,4V normal. 3,6V esta bateria deve ser trocada, pois corre o risco de ocorrer o alarme novamente pois a máquina indicou alarme de bateria 1,8 battery mal function.

Assinatura do Técnico

Assinatura do Cliente

Comentários do Cliente:

ENTREGA TÉCNICA DA MÁQUINA OU DE SERVIÇO CONSIDERADO ENCERRADO:

Declaro que a máquina está tecnicamente entregue e em perfeito funcionamento.

Nome

Manoel Laghetto

Assinatura do Cliente

Assinatura do Técnico

Data

31/07/00

Use o verso

Use o verso

Mazak

Av. Juscelino K. de Oliveira, 1350 - Distrito Industrial
Santa Bárbara D'Oeste - SP - Brasil Cep: 13456-401
TELEFONE (019) 463-7614 FAX (019) 463-3598

TO: U.S.P.-LAB. FENÔMINOS DE SUPERFÍCIE	DATE: 16/08/00
AT: SR. MARCELO PAGNOTTA	OUR/RE:
FAX: (011) 814-2424	PAGE: 01/04
FONE: (011) 818-5342	FROM: LUIS DOMINGUES
RE: INFORMAÇÕES TÉCNICAS	

ESTOU ENVIANDO O PROCEDIMENTO DE SUBSTITUIÇÃO DA BATERIA TIPO GB250H - 3FB2.

PARA SUA SEGURANÇA FAÇA UM " BACK-UP " DOS PARÂMETROS DA MÁQUINA OU CONFIRA A LISTAGEM DOS PARÂMETROS QUE ACOMPANHA A MÁQUINA.

ATENCIOSAMENTE,


LUIS DOMINGUES

16/08/00

2-2 Exchange of battery

The system maintains the data by means of the battery back-up.

The batteries for memory cards are mounted on MC471, MC472 and MC062 while the battery for the system is in the battery box.

The button type highly reliable battery, fixed to the PC board by means of the screws, hardly causes miscontact.

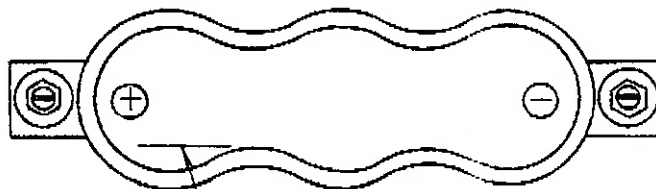
Battery back-up time Over 2 months

Life of battery 5 years

It is recommended that the battery be exchanged fairly ahead of the life time.

(The contents of machining programs may have been destroyed when the "BATTERY ALARM" lamp is lit up.)

Battery used GB250H-3FB2 (made by GS SAFT; Mitsubishi Specification) Used in MC471, MC472 and MC062.



Date of manufacture 027
Indicates 1987
Indicates February

Since this battery is produced under special specification in order to upgrade the reliability, be sure to purchase from Mitsubishi.

It takes approximately 150 hours to carry out full charging of an empty battery.

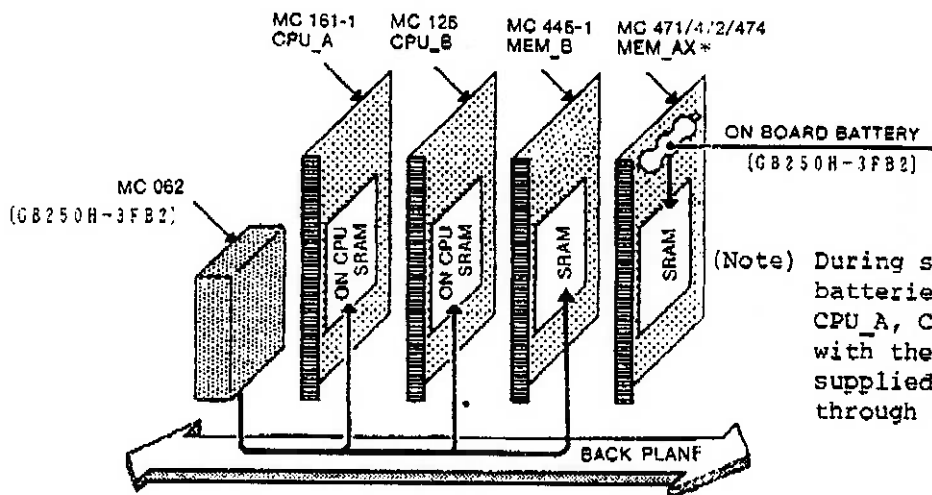
Batteries are fully charged before leaving Mitsubishi.

[How to exchange the battery]

The memory cards and CPU cards are equipped with capacitors for memory back-up, so that the battery shall desirably be exchanged in a short time (less than 30 minutes) in order to protect the contents of memory.

fl. 02/04

(Supl.) System of battery power signal



(Note) During standard composition, batteries are not mounted on CPU_A, CPU_B and MC446-1, with the battery power supplied from the MC062 through the back plane.

(1) Exchange of battery on memory card (MC471, MC472)

1. Turn the NC power to OFF.
2. Remove the memory card from the unit.
3. Unscrew the battery setting screws (2 pcs) with a screw-driver, and install the new battery carefully so as not to make a mistake in the polarity, before tightening with the screws again. (Mistaken polarity at the time of installation results in the destruction of the battery.)
4. Return the memory card back to the unit.

(2) Exchange of battery for M-32 system (MC062)

1. Turn the NC power to OFF.
2. Unscrew the setting screws (2 pcs) on the battery box to remove the front style strip from the battery box.
3. Unscrew the battery setting screws (2 pcs) with a screw-driver, and install the new battery with the + (positive) pole coming at the top and taking care so as not to make a mistake in the polarity, before tightening with the 2 setting screws.
4. Install the front style strip to the battery box by

tightening with the 2 screws.

(Note) The battery used for the system is GB250H-3FB2.

**EZAKI DISTRIBUIDORA LTDA.**

RUA BALTAZAR CARRASCO, 128
PINHEIROS - SÃO PAULO - SP - CEP: 05426-060
FONE: (11) 3815-7699 - FAX: (11) 3815-3355
e-mail: ezaki@ezaki.com.br
http://www.ezaki.com.br

NOTA FISCAL - FATURA

☒ SAÍDA ☐ ENTRADA

Nº

CNPJ

50.899.988/0001-40

00015354

NATUREZA DA OPERAÇÃO
VENDAS ESTADCFOP
512

INSC. ESTADUAL DO SUBSTITUTO TRIBUTARIO

INSCRIÇÃO ESTADUAL

110.673.987.110

1ª VIA

DESTINATÁRIO / REMETENTE
DATA LIMITE P/ EMISSÃO
00.00.00

DESTINATÁRIO / REMETENTE

NOME / RAZÃO SOCIAL
FUND.APOIO UNIVERS.DE SAO PAULOCNPJ / CPF
068.314.830/0001-27DATA DE EMISSÃO
09/08/2000ENDEREÇO
AV.AFRANIO PEIXOTO, 14BAIRRO / DISTRITO
BUTANTACEP
05507000

DATA DA SAÍDA / ENTRADA

MUNICÍPIO
SAO PAULOFONE / FAX
11 8183972 8UF
SPINSCRIÇÃO ESTADUAL
ISENTA

HORA DA SAÍDA

DESDOBRAMENTO DAS DUPLICATAS

ORD.	VENCIMENTO	VALOR	ORD.	VENCIMENTO	VALOR	ORD.	VENCIMENTO	VALOR
	09/08/2000	25.20		/ /	0.00		/ /	0.00

DADOS DO PRODUTO

CODIGO PRODUTO	DESCRIÇÃO DOS PRODUTOS	CL. FISC.	SIT. TRIB.	UNID.	QUANT.	VALOR UNITÁRIO	VALOR TOTAL	ALÍQUOTAS ICMS	IPI	VALOR DO IPI
080408	GP-280BNK3EMU BAT NI-CD PACK 2 POR 1 3.6V 280M		2	UN	2	12.60	25.20	18		

CÁLCULO DO IMPOSTO

BASE DE CÁLCULO DO ICMS 25.20	VALOR DO ICMS 4.54	BASE DE CÁLCULO DO ICMS SUBSTITUIÇÃO 0.00	VALOR DO ICMS SUBSTITUIÇÃO 0.00	VALOR TOTAL DOS PRODUTOS 25.20
VALOR DO FRETE	VALOR DO SEGURO	OUTRAS DESPESAS ACESSÓRIAS	VALOR TOTAL DO IPI 0.00	VALOR TOTAL DA NOTA 25.20

TRANSPORTADOR / VOLUMES TRANSPORTADOS

NOME / RAZÃO SOCIAL		FRETE POR CONTA 1 - EMITENTE 2 - DESTINATÁRIO		PLACA DO VEÍCULO	U.F.	CNPJ / CPF
ENDEREÇO		MUNICÍPIO			U.F.	INSCRIÇÃO ESTADUAL
QUANTIDADE	ESPECIE	MARCA	NÚMERO	PESO BRUTO	PESO LÍQUIDO	

DADOS ADICIONAIS

— ACESSÓRIOS — TUDO PARA INSTALAÇÃO DE ÁUDIO, VÍDEO, INFORMÁTICA E TELECOMUNICAÇÃO 25.20 18% 4.54	RESERVADO AO FISCO CÓDIGO DO POSTO FISCAL P.F.C 420	Nº DE CONTROLE DO FORMULÁRIO 015357
VENDEDOR 1		

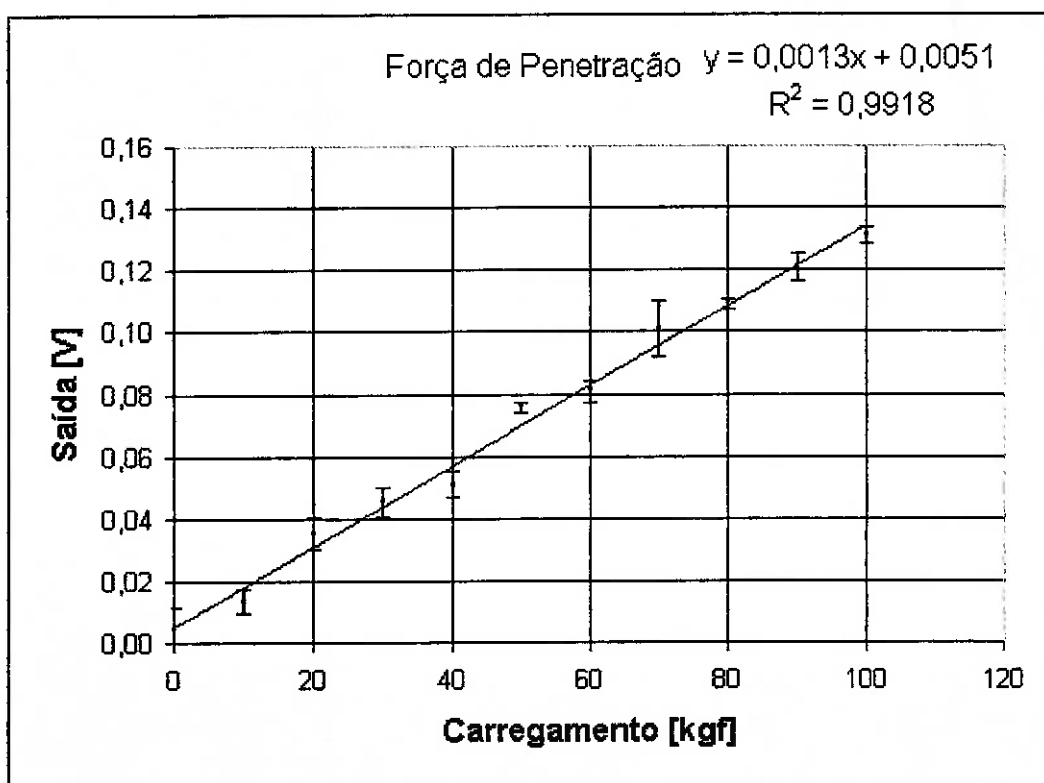
APR 2000

00015354

Anexo XI – RESULTADOS DAS CALIBRAÇÕES E CURVAS DE SENSIBILIDADE

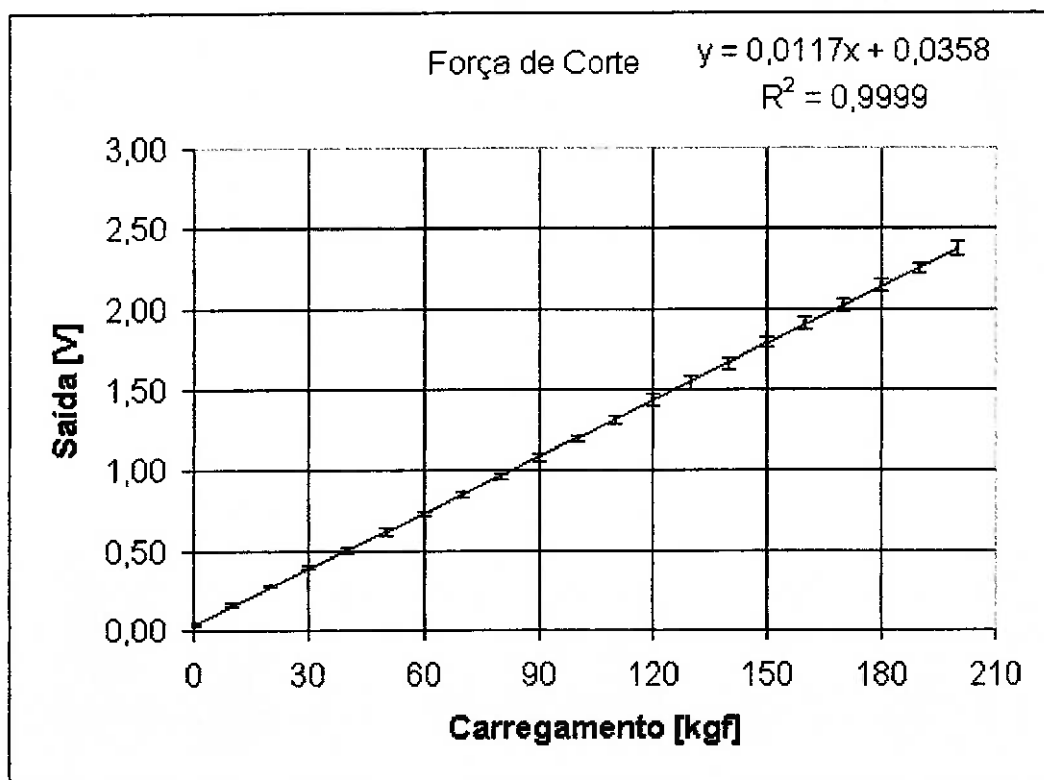
CALIBRAÇÃO - FORÇA DE PENETRAÇÃO - TRÊS LEITURAS

carga [kgf]	leitura 1	leitura 2	leitura 3	média [V]	desvio padrão [V]
0	0,009	-0,004	0,008	0,00433	0,00723
10	0,012	0,011	0,018	0,01367	0,00379
20	0,041	0,034	0,031	0,03533	0,00513
30	0,04	0,05	0,046	0,04533	0,00503
40		0,048	0,054	0,05100	0,00424
50	0,077	0,076	0,074	0,07567	0,00153
60	0,081	0,077	0,084	0,08067	0,00351
70	0,102	0,109	0,091	0,10067	0,00907
80	0,111	0,108	0,108	0,10900	0,00173
90	0,125	0,116	0,121	0,12067	0,00451
100	0,134	0,13	0,129	0,13100	0,00265



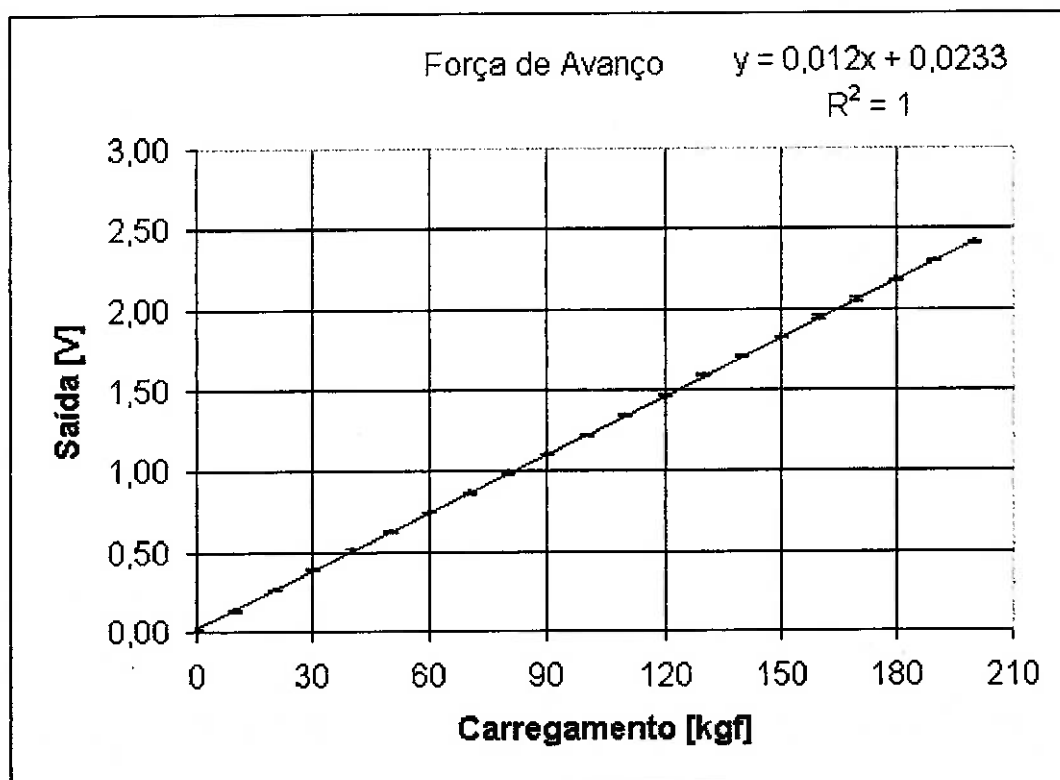
CALIBRAÇÃO - FORÇA DE CORTE - TRÊS LEITURAS

carga [kgf]	leitura 1	leitura 2	leitura 3	média [V]	desvio padrão [V]
0	0,026	0,036	0,031	0,03100	0,00500
10	0,153	0,163	0,169	0,16167	0,00808
20	0,269	0,28	0,28	0,27633	0,00635
30	0,387	0,393	0,404	0,39467	0,00862
40	0,491		0,513	0,50200	0,01556
50	0,597	0,642	0,621	0,62000	0,02252
60	0,711	0,733	0,738	0,72733	0,01436
70	0,829	0,86	0,862	0,85033	0,01850
80	0,943	0,976	0,974	0,96433	0,01850
90	1,053	1,096	1,095	1,08133	0,02454
100	1,172	1,211	1,208	1,19700	0,02170
110	1,288	1,331	1,331	1,31667	0,02483
120	1,402	1,464	1,453	1,43967	0,03308
130	1,513		1,569	1,54100	0,03960
140	1,634		1,689	1,66150	0,03889
150	1,753	1,803	1,817	1,79100	0,03365
160	1,862	1,927	1,926	1,90500	0,03724
170	1,976	2,035	2,043	2,01800	0,03659
180	2,107	2,158	2,167	2,14400	0,03236
190	2,216	2,269	2,276	2,25367	0,03281
200	2,325	2,391	2,404	2,37333	0,04236

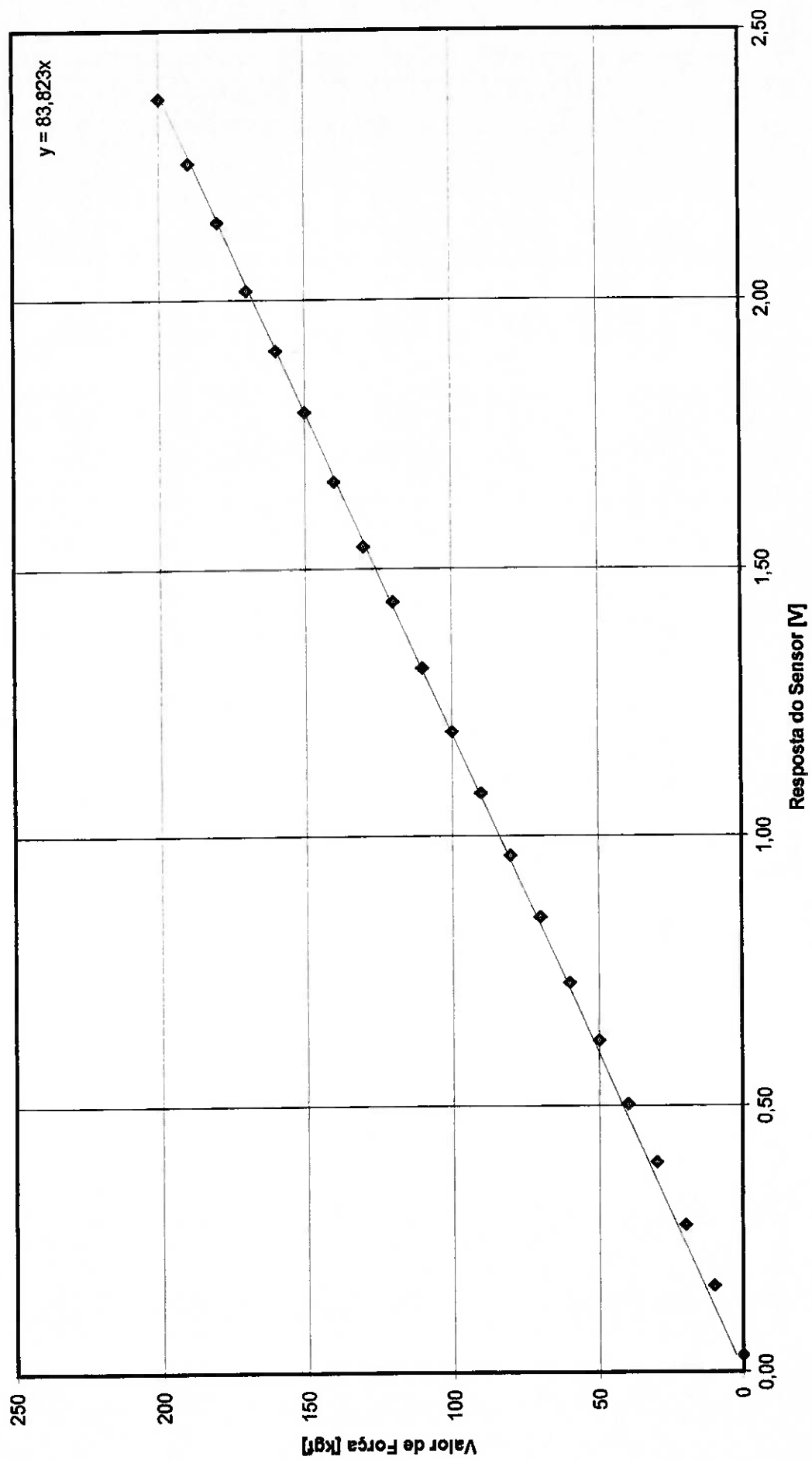


CALIBRAÇÃO - FORÇA DE AVANÇO - TRÊS LEITURAS

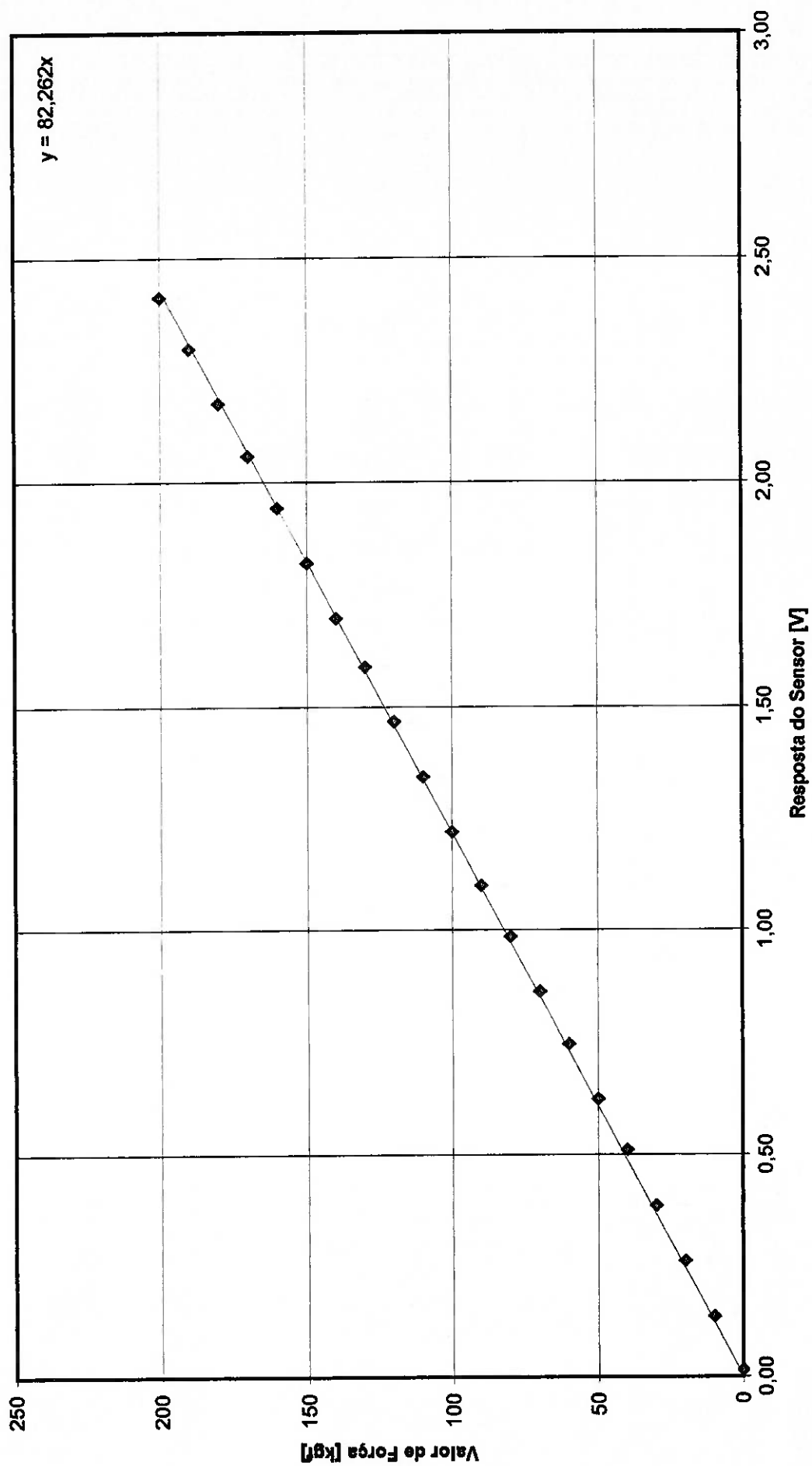
carga [kgf]	leitura 1	leitura 2	leitura 3	média [V]	desvio padrão [V]
0	0,016	0,014	0,016	0,01533	0,00115
10	0,127	0,139	0,139	0,13500	0,00693
20	0,255	0,262	0,263	0,26000	0,00436
30	0,378	0,391	0,388	0,38567	0,00681
40	0,499	0,514	0,521	0,51133	0,01124
50	0,616	0,621	0,635	0,62400	0,00985
60	0,746	0,747	0,745	0,74600	0,00100
70	0,865	0,862	0,859	0,86200	0,00300
80	0,983	0,988	0,987	0,98600	0,00265
90	1,101	1,1	1,099	1,10000	0,00100
100	1,219	1,216	1,221	1,21867	0,00252
110	1,34	1,347	1,345	1,34400	0,00361
120	1,469	1,466	1,47	1,46833	0,00208
130	1,595		1,586	1,59050	0,00636
140	1,692	1,704	1,702	1,69933	0,00643
150	1,819	1,823	1,82	1,82067	0,00208
160	1,932	1,953	1,945	1,94333	0,01060
170	2,05	2,062	2,064	2,05867	0,00757
180	2,17	2,179	2,181	2,17667	0,00586
190	2,293	2,302	2,3	2,29833	0,00473
200	2,408	2,416	2,417	2,41367	0,00493



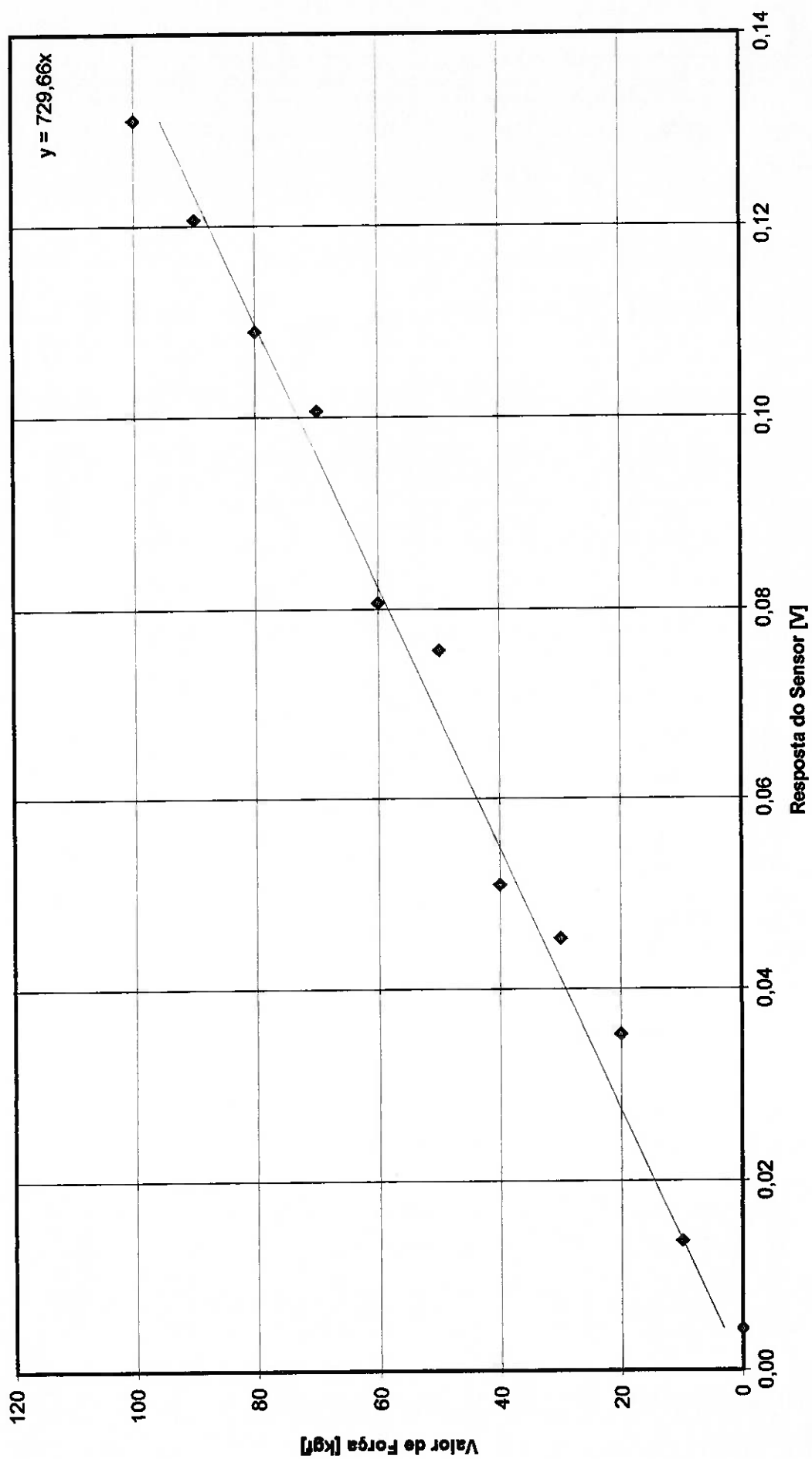
Sensibilidade_Força de Corte



Sensibilidade_Força de Avanço



Sensibilidade_Força de Penetração



Anexo XII – PROGRAMA PARA CALIBRAÇÃO E PARA AQUISIÇÃO NA USINAGEM

O PROGRAMA DESENVOLVIDO COM BASE NO SOFTWARE LABVIEW PARA A CALIBRAÇÃO É APRESENTADO A SEGUIR.

O PROGRAMA DESENVOLVIDO COM BASE NO SOFTWARE LABVIEW PARA OS ENSAIOS DE USINAGEM É APRESENTADO A SEGUIR.