

FACULDADE DE ENGENHARIA
Departamento de Engenharia Mecânica e
Gestão Industrial

PROGRAMA PRODEP
Medida 4.3
Acção de Formação nº 4

RELATÓRIO FINAL

"Furação de compósitos de matriz metálica"

por

Lídia Costa

Porto e FEUP, 30 de Setembro de 1993

4
621(047.3)/LEN 1992/CONS2
01/10/ 09

PARECER

O aluno finalista do Curso de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial **LIDIA MARIA MACEDO CAMPOS DOS REIS COSTA**, realizou no INEGI, no âmbito do programa PRODEP, medida 4.3/7/7/92/93, um estágio cujo trabalho se encontra descrito no relatório apresentado com o título **"Furação de compósitos de matriz metálica"**

Durante a execução do conjunto de tarefas que lhe foram atribuídas, o referido estagiário atingiu os objectivos que lhe foram propostos, mostrando ter conhecimentos adequados e empenho.

Face à qualidade do trabalho produzido cumpre-me informar que o estágio realizado se revestiu de grande interesse para a formação de alunos, como futuros engenheiros.

Porto, 27 de Dezembro de 1993

O Supervisor



PARECER

O aluno finalista do Curso de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial **LIDIA MARIA MACEDO CAMPOS DOS REIS COSTA**, realizou no INEGI, no âmbito do programa PRODEP, medida 4.3/7/7/92/93, um estágio cujo trabalho se encontra descrito no relatório apresentado com o título **"Furação de compósitos de matriz metálica"**

Durante a execução do conjunto de tarefas que lhe foram atribuídas, o referido estagiário atingiu os objectivos que lhe foram propostos, mostrando ter conhecimentos adequados .

Face à qualidade do trabalho produzido cumpre-me informar que o estágio realizado se revestiu de grande interesse para esta instituição

Porto, 27 de Dezembro de 1993



O Supervisor

ÍNDICE

1ª PARTE

1 - Breve Resenha Histórica	1
2 - Introdução aos Compósitos de Matriz Metálica	1
2.1 - Matrizes Metálicas	2
2.2 - Reforços	3
2.2.1 - Reforços de partículas	3
2.2.2 - Reforços de whiskers	4
2.2.3 - Reforços de fibras	4
3 - Interfaces "Matriz-Reforço"	6
3.1 - Molhagem	7
3.2 - Interações Matriz-Reforço	8
3.3 - Estabilidade da Interface	8
3.4 - Controle dos Processos na Interface	9
3.4.1 - Acções sobre o Reforço	9
3.4.1.1 - Tratamentos com Metais Alcalinos	9
3.4.1.2 - Tratamentos com Fluoretos	10
3.4.1.3 - Revestimentos	10
3.4.2 - Intervenção sobre a Composição Química da Matriz	12
4 - Métodos de Fabricação para CMM	12
4.1 - Infiltração de Metal Líquido	13
4.1.1 - Infiltração por Gravidade	16
4.1.2 - Infiltração sob Baixa Pressão	16
4.1.3 - Infiltração sob Alta Pressão	17
4.2 - Prensagem a Quente	18
4.3 - Depósito Electrolítico	21
4.4 - Deposição em Fase de Vapor	23
4.5 - Laminagem	24
4.6 - Colaminagem	24
4.7 - Extrusão	26
4.8 - Pulverização	27
4.9 - Pulverometalurgia	28

5 - Propriedades Mecânicas dos CMM	30
5.1 - Comportamento à Tracção	30
5.2 - Comportamento Tribológico	34
5.3 - Comportamento à Fadiga	36
5.4 - Comportamento à Fluência	37
6 - Aplicações dos CMM	38
6.1 - Indústria Aeroespacial	39
6.2 - Indústria Automóvel	41
6.3 - Material de Desporto	43
6.4 - Electrónica e Telecomunicações	43
7 - Maquinagem dos CMM	44
7.1 - Introdução	44
7.2 - Materiais para Ferramentas	45
7.3 - Tipos de Ferramentas	47
7.4 - Métodos Convencionais de Maquinagem	48
7.4.1 - A História do Furo	49
7.4.2 - Furação e Fresagem	50
7.5 - Desgaste das Ferramentas	51
7.6 - Qualidade dos Componentes Maquinados por Maquinagem Convencional	56

2ª PARTE

1 - Objectivos	57
2- Calibração do Dinamómetro de Furação	57
3 - Apresentação dos Resultados Práticos	60
3.1 - Leitura do Avanço para Diferentes Cargas	60
3.1.1 - Descrição do Ensaio	60
3.1.2 - Tabelas e Gráficos	60
3.1.3 - Análise de Resultados	65
3.2 - Leitura do Momento para Diferentes Cargas	65
3.2.1 - Descrição do Ensaio	65
3.2.2 - Tabelas e Gráficos	65

3.2.3 - Análise de Resultados	68
3.3 - Leitura do Momento com Avanços Constantes	68
3.3.1 - Descrição do Ensaio	68
3.3.2 - Tabelas e Gráficos	
3.3.3 - Análise de Resultados	91
3.4 - Leitura do Avanço com Momentos Constantes	91
3.4.1 - Descrição do Ensaio	91
3.4.2 - Tabelas e Gráficos	92
3.4.3 - Análise de Resultados	115
4 - Conclusões	116
Referências Bibliográficas	117

1ª

PARTE

1 . BREVE RESENHA HISTÓRICA

Utilizados desde a antiguidade (fibras vegetais no barro) só nos meados do século XX aparece a definição destes como materiais compósitos, começando desde aí um acelerado desenvolvimento na busca de melhores características e consequente utilização de novos materiais.

A evolução técnica e a necessidade de materiais com melhores performances levaram a que nos anos 60 se iniciasse a investigação e desenvolvimento dos compósitos chamados de matriz metálica, os quais se têm revelado como portadores de excelentes características, sendo hoje unanimemente considerados como materiais de futuro, pelo que não é de admirar que uma grande fatia da investigação actual lhes seja dedicada.

2 . INTRODUÇÃO AOS COMPÓSITOS DE MATRIZ METÁLICA

A combinação de dois ou mais materiais dá origem a um material designado compósito, o qual apresenta propriedades e características mecânicas superiores a nível individual e, ou, global relativamente às dos constituintes isoladamente.

Os materiais compósitos são constituídos por materiais de elevada resistência mecânica, designados reforços (whiskers, fibras e partículas) embebidos numa matriz metálica.

Estes materiais apresentam melhores características relativamente aos constituintes , das quais se salientam:

- Resistência mecânica
- Vida à fadiga
- Resistência ao desgaste
- Comportamento mecânico a altas temperaturas
- Condutibilidade térmica
- Resistência à corrosão
- Peso
- Rigidez

2.1 - MATRIZES METÁLICAS

Existem já vários materiais metálicos utilizados como matriz nos CMM.

A matriz mais comum é a de alumínio e suas ligas, contudo outros materiais também se têm mostrado interessantes, tais como o Ti, Mg, e Ni. Outros há que também são usados como matriz embora se mostrem menos interessantes, caso do Cu, Pb, e Fe.

A grande aplicação do alumínio e suas ligas deve-se à combinação que estas apresentam de boa resistência à corrosão, baixa densidade e elevadas propriedades mecânicas, dependendo a escolha de uma determinada liga ou série de ligas das propriedades específicas destas.

As ligas de Al mais utilizadas são:

- Alumínio puro (série 1000)
- Ligas Al-Cu e Al-Cu-Mg (série 2000)
- Ligas Al-Si (série 4000)
- Ligas Al-Mg-Si (série 6000).

2.2 - REFORÇOS

São constituintes que possuem elevada resistência e que têm como objectivo fundamental suportar a carga transferida pela matriz.

Na década de 60 despertou um grande interesse o desenvolvimento de fibras de C e B, não tendo estes materiais atingido as expectativas esperadas. []

Actualmente, e devido à uma intensa investigação e desenvolvimento verificado, o número de reforços disponíveis é grande, podendo-se referir como exemplo um relatório elaborado no Japão e datado de 1988 onde se refere a existência de 11 fibras contínuas e 10 whiskers.

Para um uso eficiente do reforço com vista a conferir ao CMM um aumento na resistência e rigidez, a forma do reforço torna-se importante.

Devido às diferentes características intrínsecas nos materiais existentes como reforços, estes encontram-se subdivididos em três grandes grupos:

- Reforços de partículas
- Reforços de whiskers
- Reforços de fibras

2.2.1 - REFORÇOS DE PARTÍCULAS

A variedade de partículas utilizada é grande, no entanto podemos destacar as partículas de Al_2O_3 (Alumina), SiC (carboneto de silício) e grafite, que são os que apresentam melhores resultados.

2.2.2 - REFORÇOS DE WHISKERS

Os whiskers são monocristais praticamente isentos de defeitos, que possuem propriedades mecânicas muito elevadas. Os mais utilizados são os de SiC e Al₂O₃.

Devemos referir que estudos recentes efectuados no Reino Unido, Alemanha e USA comprovaram serem estes materiais cancerígenos, tendo alguns destes países cancelado o desenvolvimento destes materiais e outros adoptado normas extremamente rígidas quanto à sua utilização. [20]

2.2.3 - REFORÇOS DE FIBRAS

As fibras subdividem-se em contínuas ou descontínuas:

-FIBRAS CONTÍNUAS

Estas fibras também designadas de longas apresentam-se normalmente sob a forma de tecidos e mantas, e " mechas ", sendo geralmente utilizadas nos CMM sob a forma de " mechas " e monofilamentos.

Estes reforços apresentam, em geral diâmetros superiores às fibras descontínuas, (diâmetro de 10 a 22 micrometros).

-FIBRAS DESCONTÍNUAS

As fibras descontínuas, ou curtas, são largamente utilizadas em preformas (arranjos tridimensionais de fibras, segundo uma, duas três ou mais direcções, que se mantêm na forma desejada através de ligantes),(diâmetros de 5 a 20 micrometros).

FIBRAS	Ø MEDIO (μm)	DENSIDADE	T.R. (GPa)	E (GPa)
C	8	1.8	2.2	250
SIC	13	2.5	2	190
$\text{K}_2\text{O}(\text{TiO}_2)_6$	0.2	3.3	>7	280
$\text{Li}_2\text{O}.\text{Al}_2\text{O}_3.4\text{SiO}_2$	5	2.6	2	85
$\text{Al}_2\text{C}_3/\text{SiO}_2$	2.8	2.6	1.3	120
FP - Al_2O_3	20	3.95	1.7	380
RF Saffil - Al_2O_3	3	3.3	2	300

Tabela 1 - Propriedades de algumas fibras descontínuas [1]

3. INTERFACES " MATRIZ - REFORÇO "

São as interfaces que transmitem o esforço da matriz (material que geralmente apresenta baixo módulo de elasticidade), para os reforços (que normalmente possuem elevado módulo de elasticidade). Daqui se pode verificar que as características e propriedades mecânicas dos CMM dependem muito do comportamento e reacções que nelas se verificam.

A natureza das interfaces influencia o comportamento dos CMM, nomeadamente a sua resistência à tracção, a tensão de elasticidade e o seu comportamento à fadiga.

Se as propriedades físicas dos CMM dependem das reacções verificadas nas interfaces durante o processo de fabrico, e já se encontram presentemente numa fase de conhecimento muito avançado, já o mesmo não se pode afirmar relativamente às suas propriedades químicas; sabe-se contudo que as interfaces são regiões em que a composição química é variável.

Devem pois as interfaces apresentar determinado número de propriedades, para que o CMM apresente as características que dele se pretendem, afirmando-se como mais importantes as seguintes:

- Existência de forças de ligação suficientes para transmitir os esforços entre matriz-reforço.

- As ligações devem ser estáveis ao longo do tempo.

- As ligações devem ser estáveis para as diferentes temperaturas de utilização dos CMM.

- As reacções nas interfaces não devem afectar os reforços.

-A matriz e os reforços devem ter coeficientes de dilatação o mais próximo possíveis para evitar deformações internas. Verifica-se contudo, que na prática esta afirmação não tem grande vantagem, sendo preferível haver uma certa diferença entre os respectivos coeficientes de dilatação. Há, no entanto, um intervalo de aplicação que tem de ser respeitado.

É pois fundamental que exista uma elevada compatibilidade entre a matriz e os reforços, isto é, que exista uma boa molhagem entre eles.

3.1 - MOLHAGEM

A molhagem é muito importante para os CMM, pois vai afectar grandemente várias características dos mesmos, nomeadamente:

- Pressão requerida para a infiltração
- Facilidade de dispersão dos reforços de partículas
- Natureza dos defeitos das peças finais (poros e vazios)
- Qualidade de ligação nas interfaces

Existem presentemente vários métodos para o estudo da molhagem nos CMM como sejam; o método da pressão mínima de infiltração, método da gota livre etc., no entanto não nos debruçaremos sobre eles pois não estão dentro do âmbito do nosso trabalho.

A molhagem exige um contro. muito apertado, pois uma elevada molhagem implica uma alta resistência das ligações na interface, podendo por isso acarretar dissolução mútua entre a matriz e o reforço, ou reacção química entre eles, e a consequente degradação do compósito.

3.2 - INTERACÇÕES MATRIZ-REFORÇO

O conhecimento das interacções entre a matriz e o reforço é muito importante pois elas podem dar origem à degradação do CMM havendo pois necessidade de um controle sobre as mesmas. Para tal é fundamental o conhecimento dos fenómenos nas interfaces, e a compatibilidade entre a matriz e os reforços, nomeadamente as reacções entre eles, e a solubilidade dum no outro.

Várias têm sido as classificações apresentadas para as interfaces, havendo mesmo autores que apresentam mais que uma, pelo que não julgamos necessária a sua discriminação.

3.3 - ESTABILIDADE DA INTERFACE

Atendendo a que da estabilidade da interface depende o tempo de vida do compósito de matriz metálica devem ser eliminados ou pelo menos reduzidos os numerosos factores que criam instabilidade como sejam; instabilidades devidas a dissolução, a reacções, e a decomposição da interface.

Deve referir-se que estas instabilidades se devem entre outras causas à utilização dos CMM a diferentes temperaturas, as quais provocam problemas devido aos diferentes coeficientes de dilatação térmica da matriz e dos reforços.

Para minorar os problemas devidos à instabilidade na interface, devem ser controlados os processos que aí ocorrem.

3.4 - CONTROLE DOS PROCESSOS NA INTERFACE

As interacções matriz-reforços e a molhagem são os fenómenos mais importantes que ocorrem na interface, pelo que devem ser controlados.

Existem presentemente duas formas distintas de controlar os fenómenos acima referidos:

- Intervenção sobre o reforço
- Intervenção sobre a composição química da matriz

3.4.1 - ACÇÕES SOBRE O REFORÇO

Podem ser efectuados pelos processos seguintes:

3.4.1.1 - TRATAMENTOS COM METAIS ALCALINOS

Este processo consiste em fazer passar as fibras (reforço) por um banho líquido de metais alcalinos ficando estas revestidas pelos referidos metais, o que lhe vai permitir uma melhor molhagem com a matriz.

3.4.1.2 - TRATAMENTO COM FLUORETOS

A impregnação das preformas fibrosas, antes do vazamento, com solução aquosa (K₂Zr F₆) seguida de um aumento da temperatura em estufa, provocam a precipitação de fluoretos na superfície das fibras. Estes fluoretos são facilmente molháveis pela matriz.

3.4.1.3 - REVESTIMENTOS

Várias são as vantagens que apresentam os revestimentos para além do aumento da molhagem, dos quais poderemos salientar:

- Não permitem o contacto fibra-fibra
- Protegem as fibras durante o manuseamento
- Protegem as fibras das reacções e difusões com a matriz

Porém apresentam também alguns inconvenientes, como sejam:

- Baixam a resistência do compósito
- Aumentam a densidade do compósito
- Implicam um aumento do custo do compósito, pelo que a sua aplicação carece de um estudo prévio com vista a aferir da rentabilidade do processo (custo versus aplicação).

Os revestimentos podem subdividir-se em dois grande grupos:

-REVESTIMENTOS METÁLICOS

Os metais mais utilizados em revestimentos são o níquel, o cobre, a prata, o cromo, etc.

A aplicação dos revestimentos metálicos tem por base o conhecimento de que os metais líquidos molham sempre os metais sólidos, pelo que as fibras revestidas por este processo apresentam logicamente uma melhor molhagem pela matriz.

-REVESTIMENTOS NÃO METÁLICOS

A utilização de revestimentos cerâmicos nomeadamente TiC, TiN, TiB, SiC, CrN., é a alternativa aos revestimentos metálicos, e que tem vindo a ser desenvolvida com maior profundidade na última década.

Estes revestimentos apresentam contudo um grau de molhagem inferior ao verificado nos revestimentos metálicos.

A evolução técnica que se tem verificado nesta área, permite encarar a possibilidade de um maior incremento destes revestimentos num futuro próximo.

3.4.2 - INTERVENÇÃO SOBRE A COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MATRIZ

A alternativa à intervenção sobre os reforços é actuar sobre a composição química da matriz, através da adição de elementos de liga. Estes elementos que apresentam elevada afinidade com o oxigénio, aumentam a interacção entre a matriz e os reforços, originando ligações fortes, melhorando a molhagem. Não deve porém esquecer-se que o aumento da resistência das ligações pode trazer associada uma degradação do reforço.

4 - MÉTODOS DE FABRICAÇÃO PARA COMPÓSITOS DE MATRIZ METÁLICA

Vários são os processos tecnológicos utilizados na fabricação de CMM, apresentando cada um deles vantagens e desvantagens, pelo que a escolha de um método depende primordialmente dos seguintes factores:

- Preservar a resistência dos reforços durante as fases do processo de fabrico
- Minimizar a fractura das fibras
- Promover a molhagem e ligação entre a matriz e o reforço
- Obter a fracção volúmica, espaçamento e orientação desejada dos reforços dentro da matriz.

4.1 -INFILTRAÇÃO DE METAL LÍQUIDO (Liquid metal infiltration)

Este processo consiste na infiltração de uma preforma fibrosa pelo metal no estado líquido.

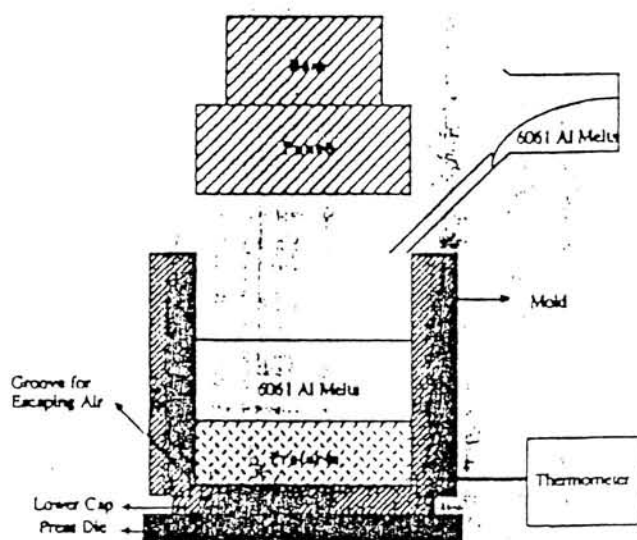


Fig. 1 Ilustração esquemática do processo [2]

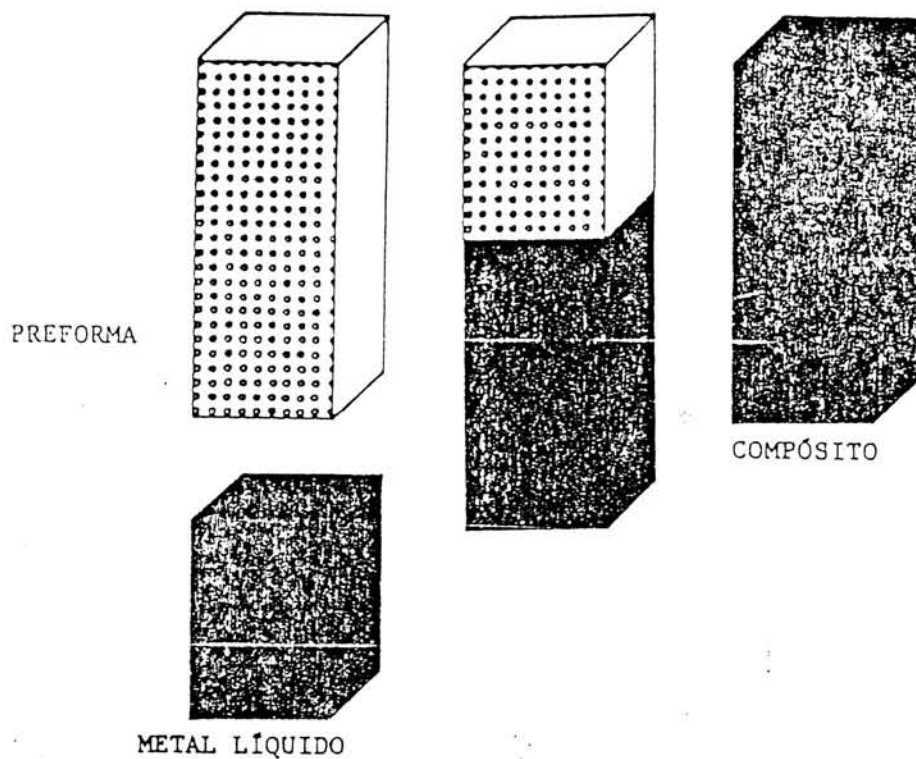


Fig. 2 Infiltração de uma preforma fibrosa pelo metal líquido [3]

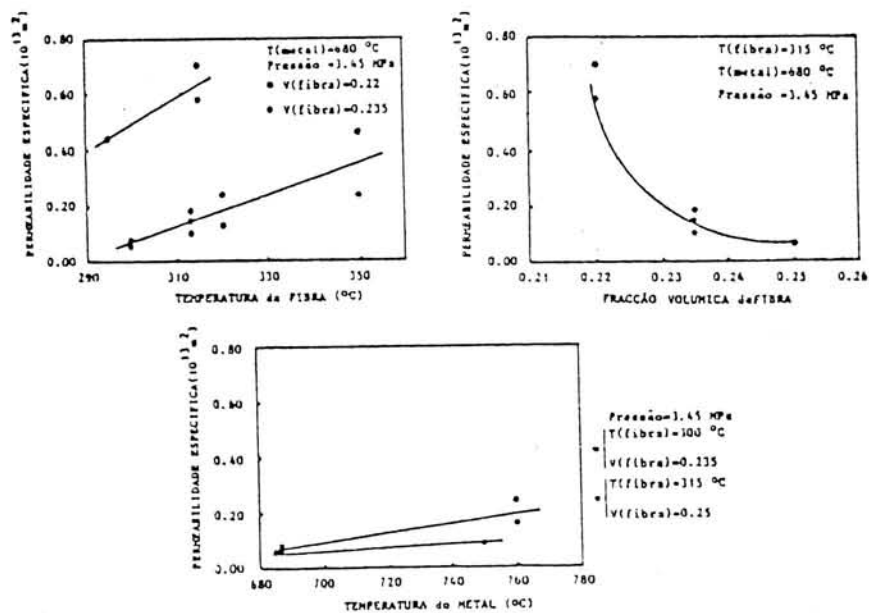


Fig. 3 Influência da temperatura das fibras, temperatura do metal líquido e da fracção volúmica na permeabilidade específica da preforma [4]

Os principais parâmetros a controlar neste processo são:

- Temperatura da preforma
- Temperatura dos moldes
- Temperatura do metal líquido
- Pressão

Vários factores contribuem para que este processo apresente algumas dificuldades, como sejam:

-Forças de atrito que aumentam a pressão dificultando o fluir do metal líquido na preforma, forças estas devidas à viscosidade

-A necessidade de manutenção da temperatura o mais baixa possível por forma a minimizar a reacção matriz-reforço

-Dificuldade de infiltração do metal líquido devido à pequena área de escoamento no interior da preforma fibrosa.

Podemos subdividir este processo da seguinte forma:

- Infiltração por gravidade
- Infiltração sob baixa pressão
- Infiltração sob elevada pressão

4.1.1 - INFILTRAÇÃO POR GRAVIDADE (Gravity Casting)

É o processo mais simples utilizado na produção de compósitos de matriz metálica e, como o nome indica consiste no vazamento por gravidade do metal líquido na preforma fibrosa.

Este processo exige uma boa molhagem e apenas deve utilizar-se quando os reforços apresentam diâmetros elevados e a fracção volúmica (V_f) é baixa.

4.1.2 - INFILTRAÇÃO SOB BAIXA PRESSÃO (Pressure Casting)

A aplicação de uma pressão, ainda que baixa, facilita a infiltração da preforma e permite a obtenção de peças de geometria mais complexa que o processo anterior.

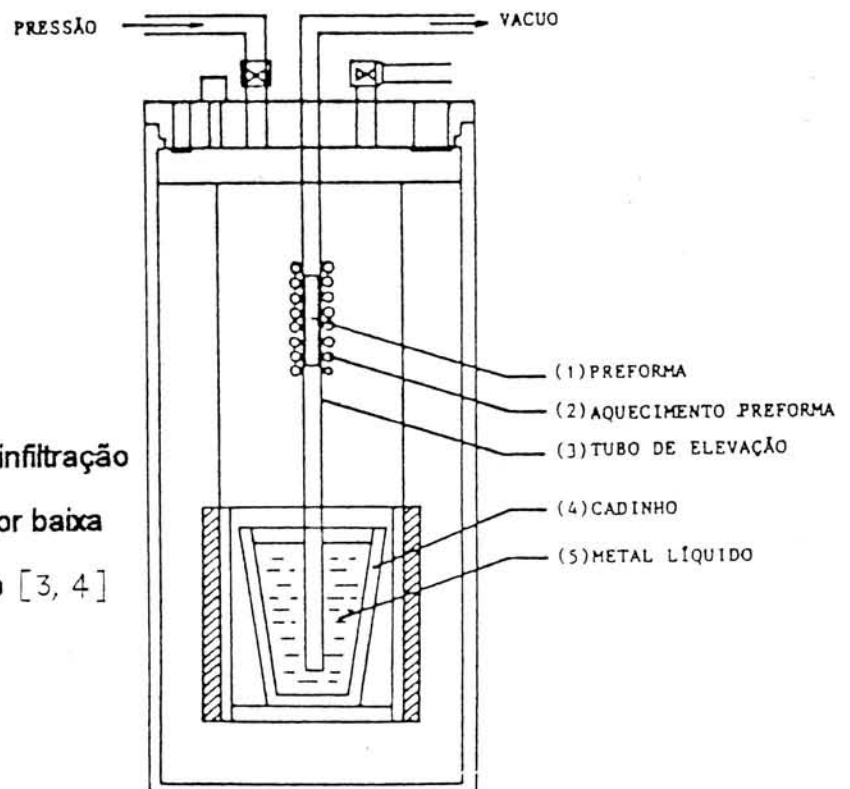


Fig. 4 Equipamento para a infiltração laboratorial de preformas por baixa pressão assistida por vácuo [3, 4]

4.1.3 - INFILTRAÇÃO SOB ELEVADA PRESSÃO (Forjage, liquid, Squeeze Casting, Squeeze infiltration)

Este processo consiste no vazamento do metal líquido num molde metálico onde previamente foi colocada uma preforma aquecida sendo seguidamente submetida a uma elevada pressão hidrostática por acção de um êmbolo, pressão esta que se mantém durante toda a solidificação.

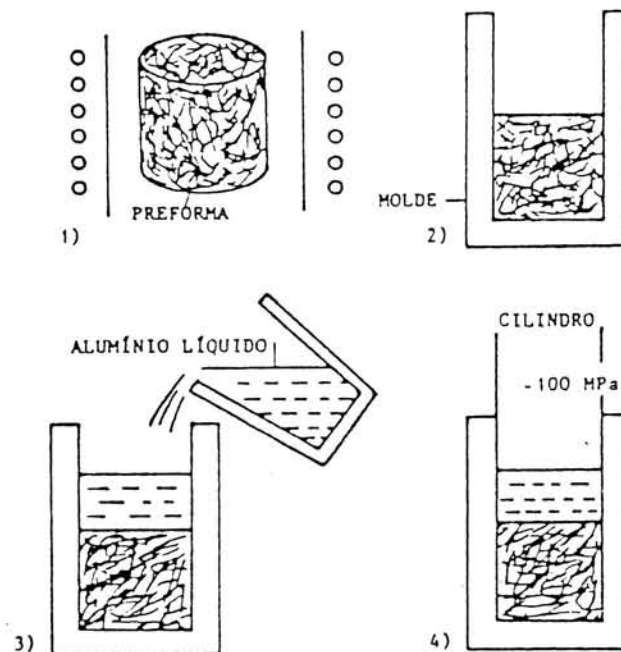


Fig. 5 Princípio básico da infiltração sob elevada pressão [5]

- 1 - Aquecimento da preforma
- 2 - Colocação das preformas no molde aquecido
- 3 - Vazamento
- 4 - Infiltração seguida de compressão a elevada pressão

A estrutura final do compósito, está directamente dependente do ciclo térmico estabelecido pelas temperaturas da preforma, molde e metal líquido.

É importante o controle da temperatura pois se as elevadas temperaturas facilitam a infiltração, também propiciam condições para a deterioração termoquímica dos reforços.

Uma das vantagens da utilização da elevada pressão, é que esta compensa a contracção no estado líquido e na solidificação, pelo que as peças finais obtidas estão isentas destes dois defeitos. Por este processo obtêm-se pois, compósitos de matriz metálica isentos de porosidades e microrechupes e, com uma aparência sã.

A infiltração sob elevada pressão é um dos processos mais utilizados na fabricação dos CMM, tendo sido o primeiro a ser usado industrialmente, quando nos anos 80 foi fabricado um pistão para um motor Toyota.

4.2 - PRENSAGEM A QUENTE (Hot Pressing)

Este processo tem como principais parâmetros a pressão e a temperatura, as quais aplicadas simultaneamente promovem o contacto matriz reforço por deformação plástica, sendo a ligação efectuada por difusão.

Fácil se torna pois compreender a importância do controle da pressão e temperatura durante a elaboração dos CMM:

-A temperatura deve ser a mais baixa possível para minimizar a degradação dos reforços por reacção química com a matriz, e por outro lado,

deve ser tão elevada quanto possível, afim de promover a deformação plástica e a difusão necessárias à elaboração do compósito

-A pressão deve ser elevada para promover a deformação plástica da matriz metálica, e suficientemente baixa que evite a danificação mecânica dos reforços.

A prensagem a quente processa-se em vazio ou em atmosfera neutra e, é de referir que a matriz metálica é trabalhada no estado sólido ou no estado semi-líquido.

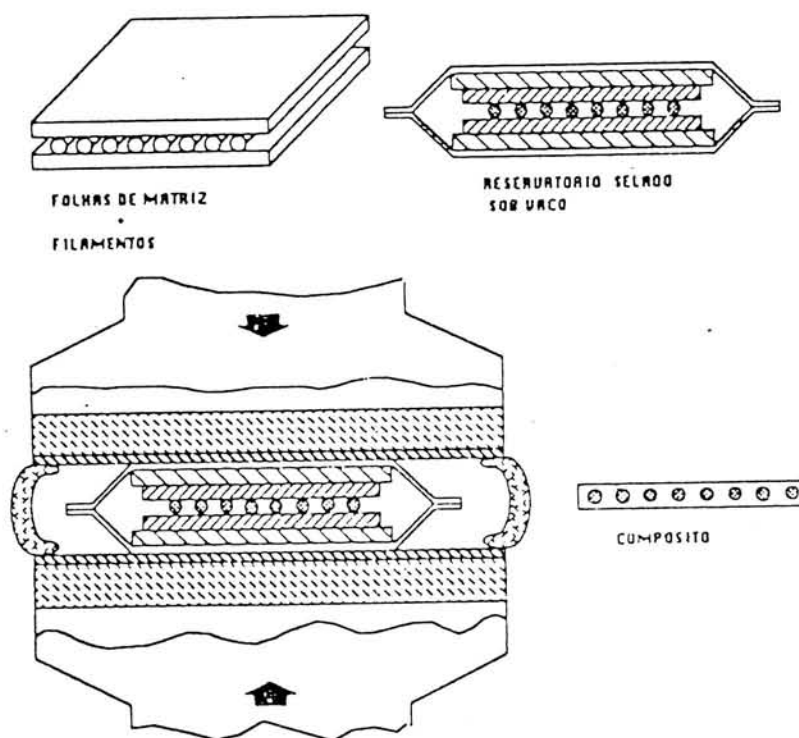


Fig. 6 Sequência de fabrico de um compósito monocamada em chapa por prensagem a quente [6]

A matriz metálica usada normalmente na elaboração de compósitos por este processo, apresenta-se normalmente sob a forma de folhas sendo as fibras depositadas sobre estas, segundo espaçamentos e orientação pré determinadas. Seguidamente este conjunto é colocado num molde metálico que é selado sob vácuo, sendo esta montagem aquecida e prensada.

Conforme o descrito no parágrafo anterior obtemos depósitos monocamadas; caso queiramos obter um compósito multicamadas temos que proceder à colocação alternada de folhas de metal e fibras de reforço, mantendo-se todos os restantes procedimentos.

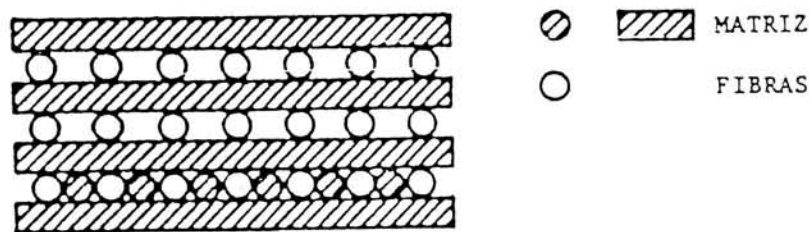


Fig. 7 LAY-UP para a produção de CMM multicamadas por prensagem a quente. Utilização de matriz em chapa e arame e filamentos como reforço [6]

Este processo pode também ser usado para consolidar folhas produzidas pelos métodos de pulverização, laminagem a quente e deposição de vapor.

As figuras seguintes ilustram produtos obtidos segundo o método descrito anteriormente.

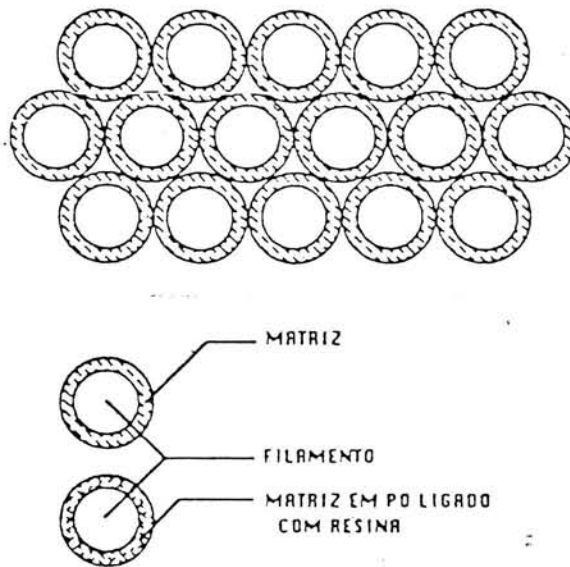


Fig. 8 Arranjo de "arames" compósitos com reforço monofilamentos para a produção de compósitos em chapa por prensagem a quente. [6]

4.3 - DEPÓSITO ELECTROLITICO (Electroforming)

Este processo tem como grande vantagem poder combinar a fibra e o material da matriz a baixas temperaturas, nomeadamente à temperatura ambiente, evitando assim a degradação do reforço.

O depósito electrolítico consiste na deposição do material da matriz metálica sobre os filamentos contínuos que vão sendo enrolados sobre um mandril. A distância entre os filamentos pode ser estritamente controlada no processo de enrolamento, permitindo a utilização de uma elevada fracção volúmica de fibras(Vf). O processo permite a fabricação de compósitos monocamada e multicamada.

Algumas das vantagens que podemos salientar são:

- Excelente contacto matriz fibras
- Fabricação à temperatura ambiente
- Possibilidade de controle do espaçamento entre fibras
- Flexibilidade na fracção volúmica de fibras
- Possibilidade de utilização de diferentes configurações do mandril.

Como desvantagens temos a salientar nos compósitos multicamadas, o aparecimento de ocos ou vazios entre as fibras e as sucessivas camadas as quais podem eventualmente serem eliminadas por prensagem a quente encarecendo no entanto o processo.

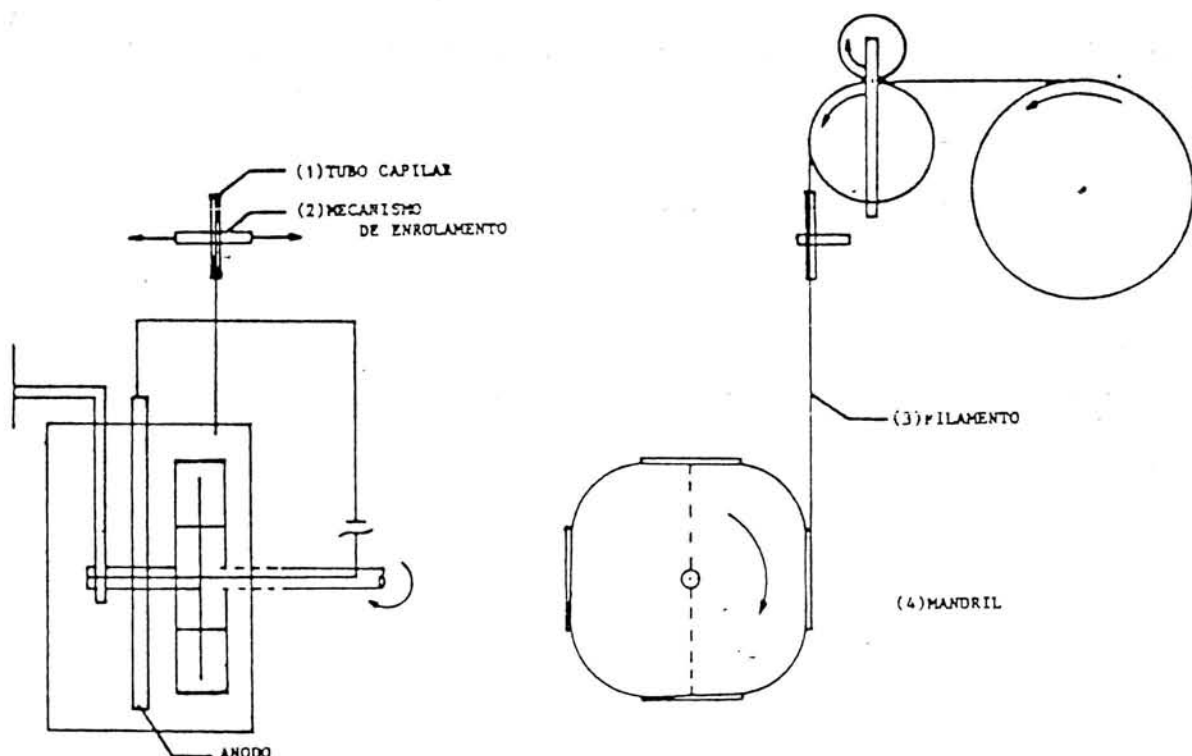


Fig. 9 Diagrama esquemático do equipamento de fabricação de compósitos por depósito electrolítico [6]

4.4 - DEPOSIÇÃO EM FASE DE VAPOR (Vapour Deposition)

Este processo consiste na vaporização do material da matriz metálica e a sua subsequente deposição nos materiais de reforço, podendo estes últimos aparecer na forma de filamentos contínuos ou whiskers.

A maior vantagem deste processo é a deposição química poder ser realizada a baixas temperaturas, sendo a degradação das fibras minimizada.

A grande desvantagem é o lento processo de deposição de vapor, aliado a custos muito elevados.

Este processo apresenta contudo elevadas potencialidades se atendermos ao grande desenvolvimento verificado, quer na elaboração do processo, quer no aperfeiçoamento das máquinas de deposição.

O Ni, Ti, Al e o Zr são alguns dos materiais que têm vindo a ser empregues neste processo.

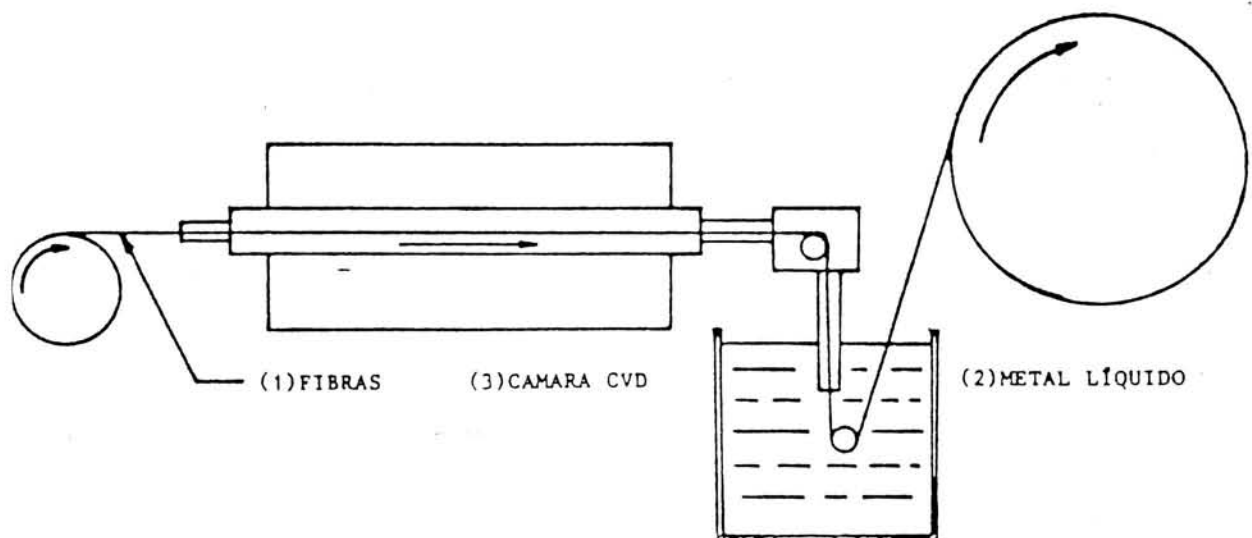


Fig. 10 Equipamento em esquema, para a fabricação de "arame" de CMM [7]
[8]

4.5 - LAMINAGEM (Rolling)

A laminagem a quente ou a frio é normalmente utilizada para incorporar filamentos e tiras de metal em fitas contínuas.

Neste processo a fibra e as tiras passam através de rolos por aplicação de uma pressão. No caso de a laminagem ser a quente os rolos estão submetidos a elevadas temperaturas.

A acção combinada da pressão e temperatura acelera a ligação dos constituintes por difusão ainda que o tempo de contacto seja relativamente pequeno. A fim de obter um alinhamento preciso dos filamentos, as tiras do metal podem ser estriadas.

As fitas estão limitadas a pequenas espessuras.

Uma outra aplicação do processo de laminagem é na consolidação de fibras contínuas revestidas com o material da matriz metálica.

Uma variante deste processo é a colaminagem.

4.6 - COLAMINAGEM (Hot roll bonding)

Processo semelhante à laminagem que pode ser efectuado de duas formas distintas:

-Em contínuo, utilizado na elaboração de compósitos em fita monocamadas ou multicamadas, desde que de espessura fina.

Os compósitos assim elaborados apresentam reforços unidireccionais.

-Descontínuos, que se utilizam na consolidação de CMM processados por outros métodos. Permitem elaborar compósitos com várias camadas.

Tendo em atenção os curtos intervalos de tempo a elevadas temperaturas a que os materiais são sujeitos, o processo apresenta uma baixa reacção matriz-reforço.

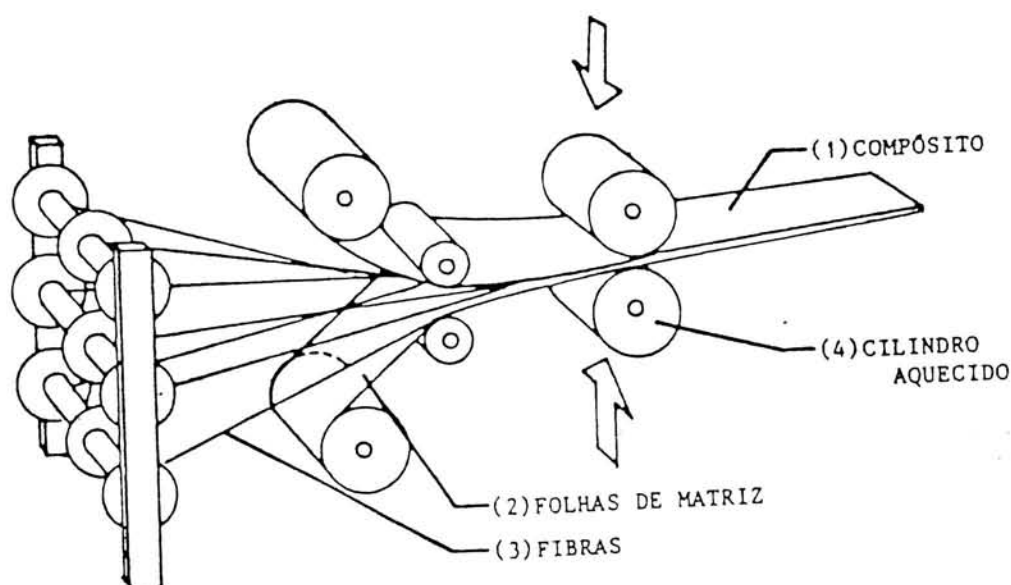


Fig. 11 Esquema de fabricação de compósitos por colaminagem [9]
[10]

O processo apresenta como variáveis, a pressão, a temperatura e a velocidade de laminagem.

4.7 - EXTRUSÃO (Extrusion)

Este método destina-se à fabricação de arames compósitos consistindo no seguinte: Um arame é conduzido através de um "molde" atravessando uma mistura de matriz em pó e reforço de partículas, mistura essa que se encontra sob pressão.

Esta pressão provoca a aderência da mistura ao arame originando um CMM que é extrudido através de uma fiação, dando-lhe a forma final.

A figura seguinte ilustra o processo atrás descrito.

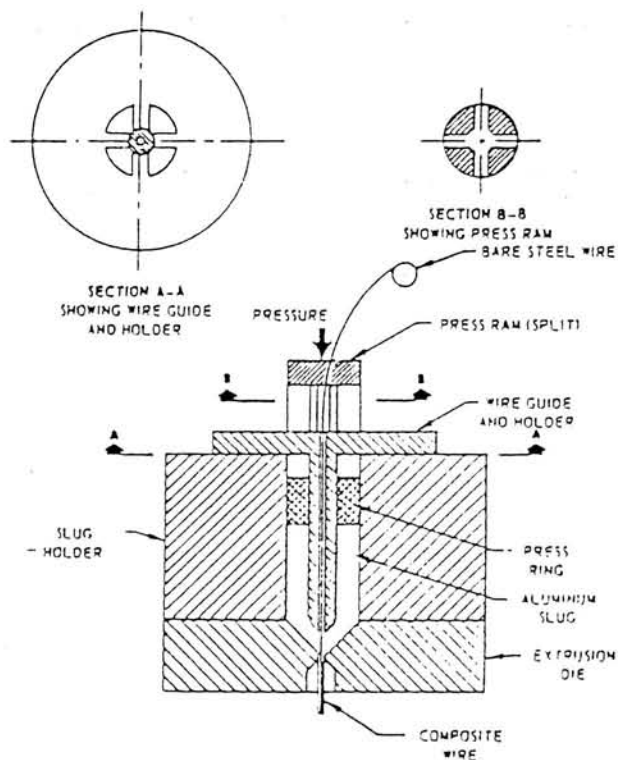


Fig. 12 Esquema do

processo de extrusão [11]

4.8 PULVERIZAÇÃO (Plasma spray)

Este processo é obtido em câmara sob uma atmosfera de argon. Um mandril revestido com uma folha de matriz metálica, ou com uma camada pré-pulverizada do mesmo material é envolto por uma camada de reforços previamente dispostos.

Sobre este mandril são projectadas pequenas gotículas de uma liga metálica pulverizada, a partir de um arco plasma. Ao tocar o mandril estas gotículas solidificam rapidamente, e tendo em consideração que o tempo de contacto da matriz no estado líquido com os filamentos é extremamente pequeno, não ocorre a degradação destes.

O compósito formado é então removido do mandril e eventualmente sujeito a prensagem a quente tendente a remover eventuais vazios existentes.

Este método é utilizado principalmente em materiais de baixo ponto de fusão, como é o caso do alumínio.

Uma das principais limitações do processo é a possível contaminação pelo oxigénio.

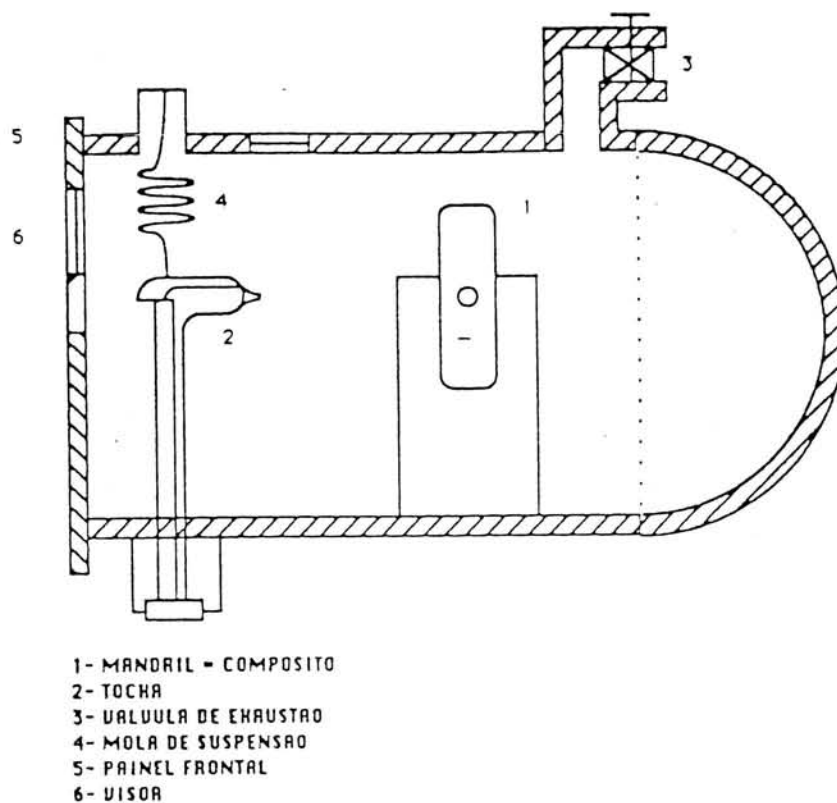


Fig. 13 Câmara para obtenção de compósitos por pulverização (plasma spray)

[6]

4.9 - PULVEROMETALURGIA (Powder Metallurgy)

Este processo consiste fundamentalmente no compactar de materiais sólidos partindo de componentes que se apresentam sob a forma de pós. O produto final tem uma composição mais ou menos uniforme contrariamente ao obtido por outros processos.

Depois de preparados os pós, estes são misturados com os reforços (fibras curtas ou whiskers) e introduzidos no molde, sendo seguidamente compactados pela aplicação de pressão.

Uma fritagem posterior permite a coalescência dos pós da matriz e, provoca a eliminação de uma grande parte da porosidade. O compósito final apresenta alta densidade e resistência elevada.

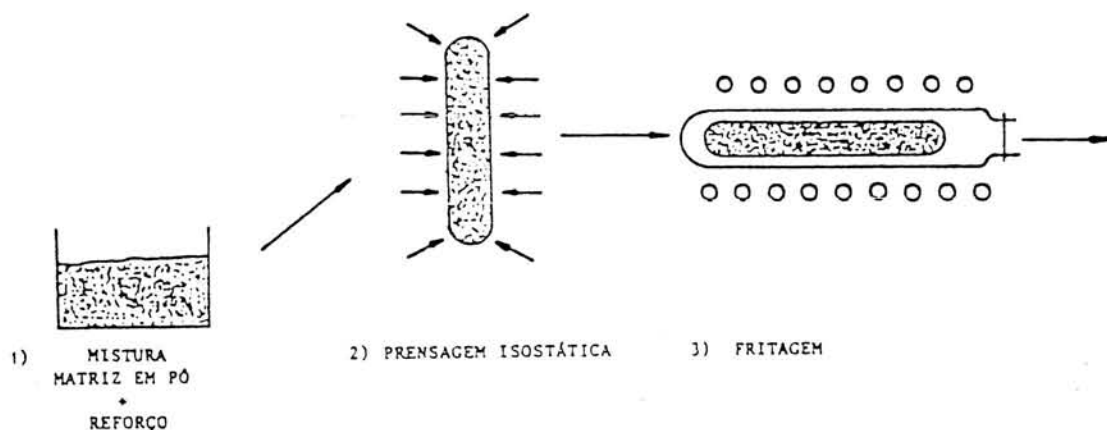


Fig. 14 Sequência base da fabricação de um compósito por pulverometalurgia a partir de pós metálicos e reforços em partículas ou fibras curtas [12]

5 - PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS C.M.M.

A resposta mecânica de um CMM é função do tipo de reforço utilizado na sua fabricação. O elevado número de sistemas matriz-reforço existentes, e o enorme desenvolvimento que estes novos materiais têm conhecido, leva a que a informação acerca das suas características mecânicas seja muito ampla e apresente grande dispersão. Só presentemente se iniciaram esforços no sentido da normalização dos estudos e resultados já efectuados, além de se estar a implementar a utilização de uma nomenclatura universal.

No entanto podemos considerar diferentes tipos de comportamento mecânico dos CMM, como sejam:

- Comportamento à tracção
- Comportamento tribológico
- Comportamento à fadiga
- Comportamento à fluência

5.1 - COMPORTAMENTO À TRACÇÃO

O comportamento à tracção dos CMM é, como já foi referido, função do tipo de reforço, e tipo de matriz utilizados. O processo de elaboração do compósito tem também alguma influência, na medida em que pode introduzir defeitos na peça final (como sejam: danificação dos reforços, microrechupes, microporos, etc), os quais vão necessariamente afectar o comportamento à tracção dos CMM.

Os parâmetros que caracterizam o comportamento à tracção dos CMM são:

- Tensão de rotura (σ_r)
- Tensão de limite elástico (σ_e)
- Módulo de elasticidade (E)
- Extensão após rotura (ε_r)
- Coeficiente de estrição (ψ)

O comportamento à tracção dos CMM está já largamente estudado, existindo formulações matemáticas, elaboradas por diferentes autores que relacionam os parâmetros acima descritos, formulações essas que levam em linha de conta o tipo de reforços utilizados, a sua fracção volúmica, etc, bem como o tipo de matriz. Não abordaremos estas formulações pois saem do âmbito do presente seminário; deixamos contudo a indicação de que elas levam a um conhecimento muito satisfatório do comportamento à tracção dos CMM.

MATRIZ	REFORÇO	σ_{rm}	σ_{rc}	K	E_{rm}	E_{rc}	ϵ_r
Al-2.5Si	15% SiCw	145	430	198	-	-	-
2014-T6	20% SiCp	480	497	4	-	108	2.5
2124-T6	25% SiCp	452	574	27	-	115.5	5.4
2924-T4	15% SiCw	490	653	33	-	-	-
6061-T6	15% SiCw	314	441	41	-	-	-
6061-T6	25% SiCp	314	498	59	-	123	3.9
7075-T6	15% SiCw	552	602	9	-	-	-
7075-T6	15% SiCp	552	610	11	-	99.4	2.5
7090-T6	25% SiCp	620	785	27	74	123	-
7090-T6	20% SiCw	620	916	48	74	127	-
AS12UNG	20% SiCw	297	384	29	72	111	-
AS12UNG	Al_2O_3/SiO_2	297	312	5	72	95	-
Al4Zn2Mg	25% Saffril	273	266	-3	-	-	-
Al12Si	25% Saffril	143	165	15	-	-	-
Al (pu. Co.)	25% Saffril	55	178	224	-	-	-
LM0	20% Saffril	40	142	255	68	83	1.1
2618A T6	20% Saffril	431	383	-11	77	102	0.8

Tabela 2

Propriedades mecânicas
de alguns CMM [23]

E - Módulo de Young [GPa]

σ - Tensão de rotura [GPa]

ϵ - Extensão após rotura
[%]

$$K = \frac{\sigma_{rc} - \sigma_{rm}}{\sigma_{rm}}$$

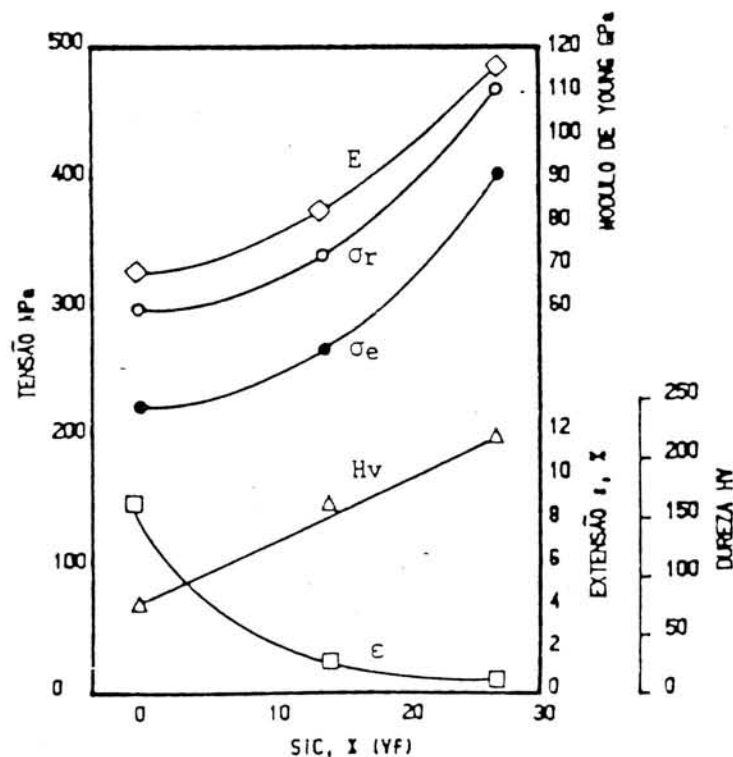


Fig. 15 - Influência da fracção volumétrica (V_f) de whiskers de SiC nas propriedades mecânicas de um composto Al 6061/SiCw (T6) à temperatura ambiente. [13]

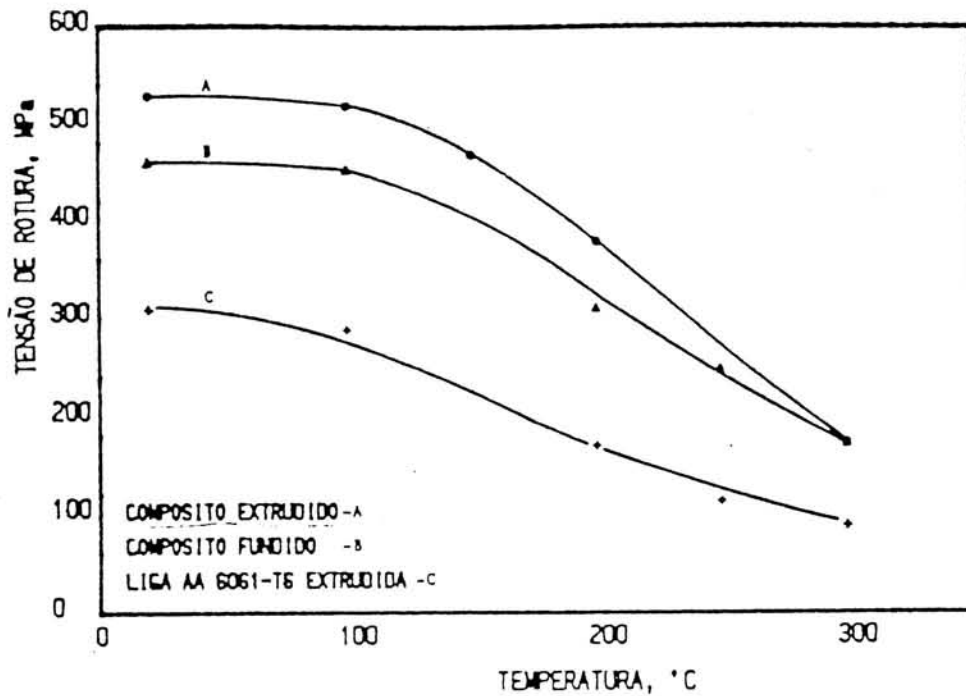


Fig. 16 Variação da tensão de ruptura com a temperatura para dois compostos, um extrudido e outro fundido, com matriz AA6061 e reforço SiC, no estado T6 e da liga AA6061-T6. [14]

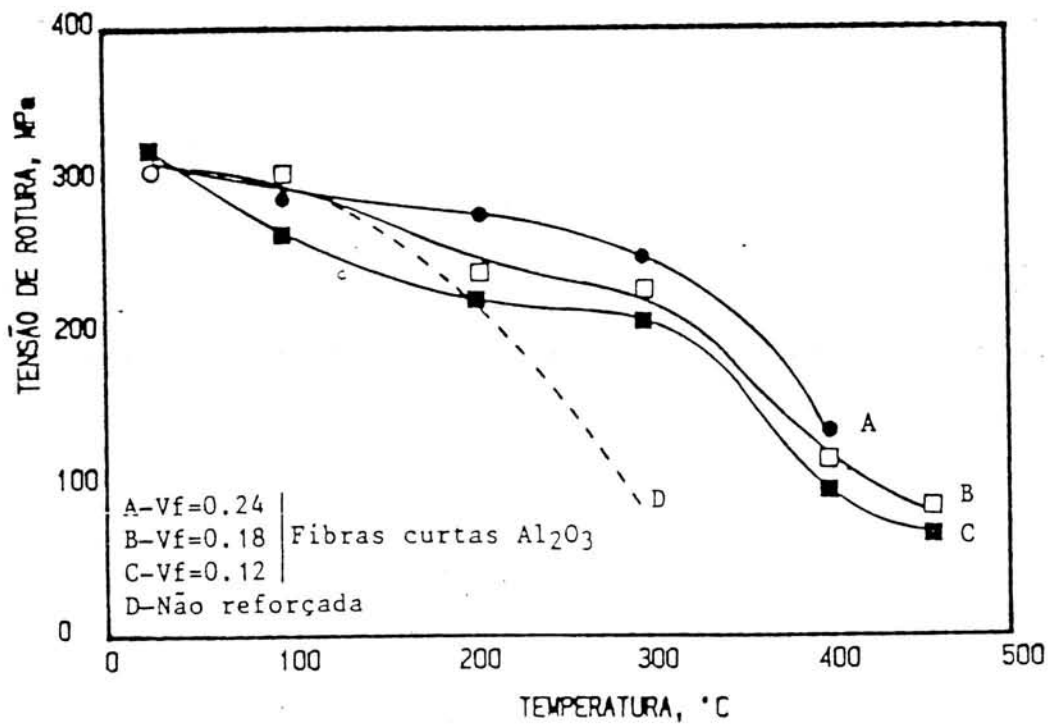


Fig. 17 - Influência da temperatura na tensão de ruptura em compostos com matriz na liga de Alumínio Al-9 Si-3 Cu [15]

5.2 - COMPORTAMENTO TRIBOLÓGICO

Os CMM são caracterizados por apresentarem bom comportamento ao desgaste.

O tipo de reforço, a sua qualidade, orientação, e fracção volúmica, são factores que influenciam o comportamento dos CMM ao desgaste.

A carga influencia também o comportamento tribológico, pois a um aumento desta corresponde um maior desgaste.

No que se refere ao atrito verifica-se que:

-A introdução de reforços na matriz provoca geralmente um aumento do coeficiente de atrito

-A um aumento da carga corresponde uma diminuição do coeficiente de atrito

-Caso os reforços sejam lubrificantes (ex. grafite), a um aumento da fracção volúmica destes corresponde uma diminuição do coeficiente de atrito

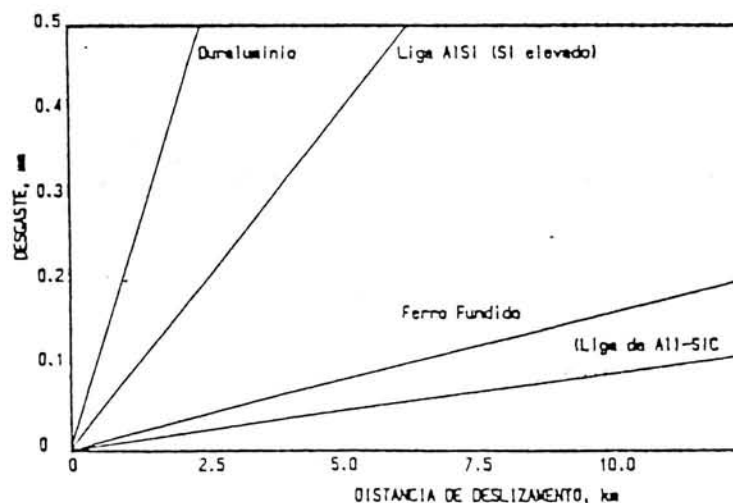


Fig 18 Comparação da resistência ao desgaste de um compósito Al-SiCw (whiskers) com outros materiais. Ensaio de desgaste utilizado Pino-Disco (disco em ferro fundido) [14]

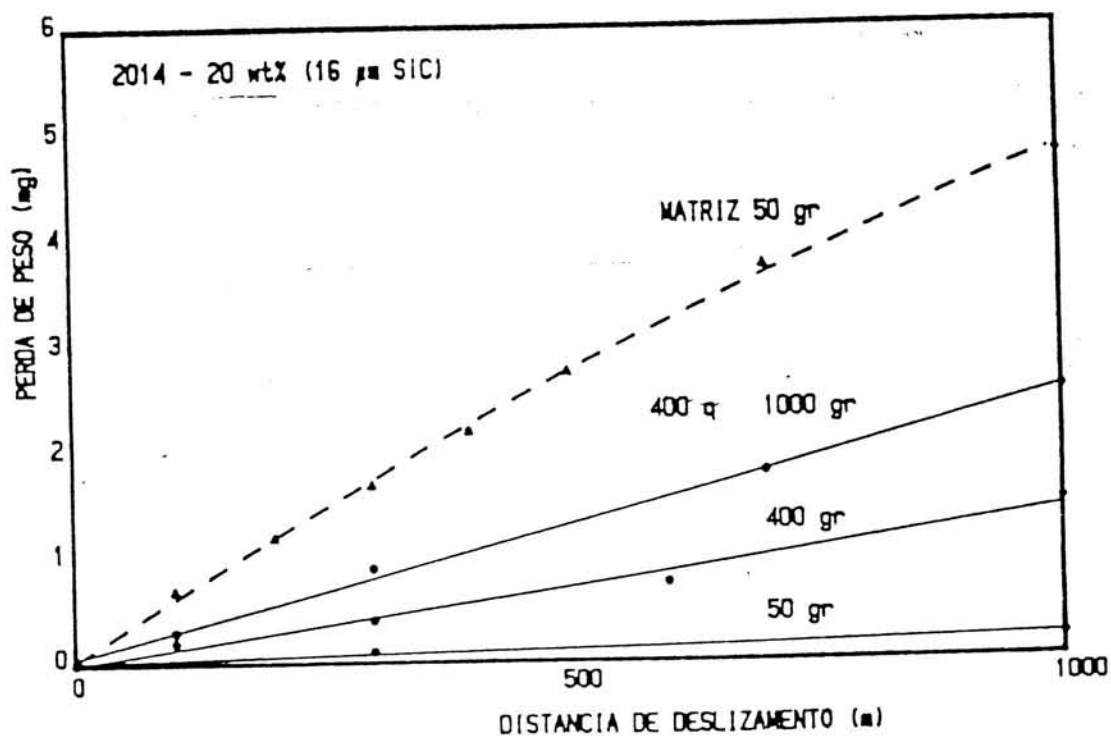
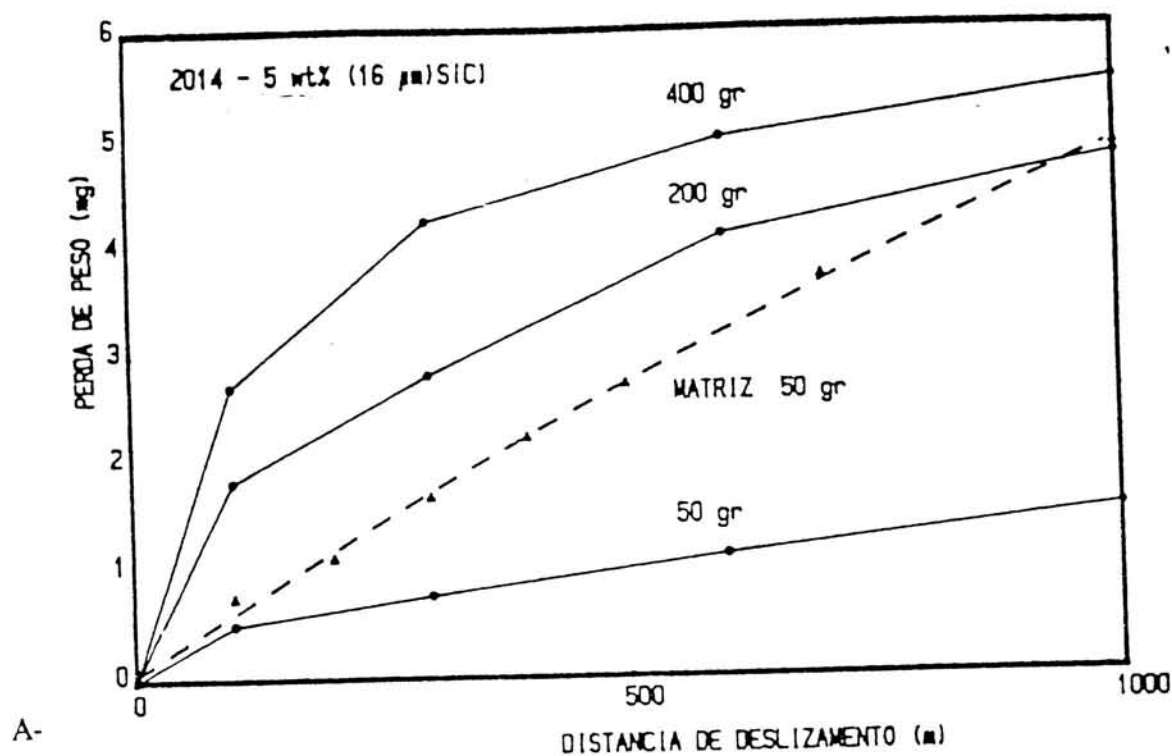


Fig. 19 - Influência da carga aplicada e da distância no desgaste de dois compósitos com matriz em liga de Alumínio 2014 e com reforço de partículas de 16µm de SiC. Ensaio de desgaste Pino-Disco. Pino-Esfera de rolamento AISI Tipo E-52100 de 6,4mm de diâmetro [16]
A- 5% de SiC B- 20% de SiC

5.3 - COMPORTAMENTO À FADIGA

Os estudos efectuados são baseados no ensaio de flexão pura, os quais dão o tempo de vida do material quando sujeito a uma determinada tensão.

Tal como para as propriedades vistas anteriormente, o comportamento à fadiga dos CMM depende do tipo de reforços incorporados, da sua fracção volúmica bem como da matriz utilizada.

Deve ser referido que o número de publicações sobre o comportamento à fadiga dos CMM tem sido muito escasso pelo que as conclusões a tirar são ainda pouco elucidativas.

Si %	Grafite % wt	Duração h	Vida nº de ciclos
4	0	3.20	547200
4	2	0.37	62700
4	6	0.38	65500
8	0	1.40	239400
8	2	0.67	114000
8	6	0.57	96900
12	0	0.77	131100
12	2	0.23	39900
12	8	0.13	22800
16	0	0.35	59856
16	2	0.35	58856
16	8	0.13	22800

Tabela 3 - Vida à fadiga de um CMM Al-Si / Grafite.

Fadiga alternada pura sob 83 MPa [23]

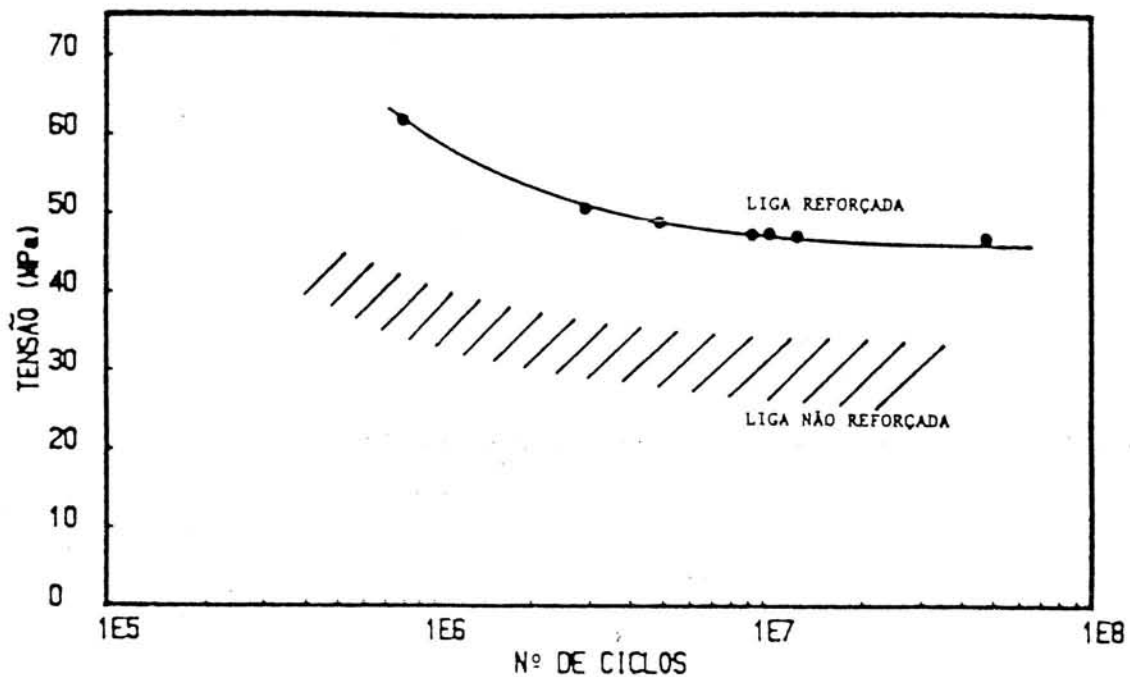


Fig 20 Curvas (tensão alternada-nº de ciclos), ensaios de fadiga efectuados a 350°C para uma liga Al-Si eutética e um compósito Al-Si com 20% de fibras de Al₂O₃ [15]

5.4 - COMPORTAMENTO À FLUÊNCIA

Foi já visto anteriormente que um dos aspectos importantes na elaboração dos CMM é a compatibilidade entre os coeficientes de dilatação térmica entre reforços e matriz. Coeficientes muito diferentes conduzem á degradação do compósito quando sujeito em trabalho a diferenças de temperatura significativas.

6 - APLICAÇÕES DOS C.M.M.

O interesse mundial da aplicação dos CMM é um reflexo do investimento industrial, da actividade de pesquisa e desenvolvimento, bem como das prioridades governamentais.

Na década de 60 despertou um grande interesse o desenvolvimento das fibras de C e B, não tendo estes materiais atingido o nível esperado. []

O desenvolvimento de novos reforços aliado à aplicação de diversos materiais como matrizes veio incrementar largamente a sua aplicação em sectores tão diversos como:

- Indústria aeroespacial
- Indústria automóvel
- Material de desporto
- Electrónica e telecomunicações

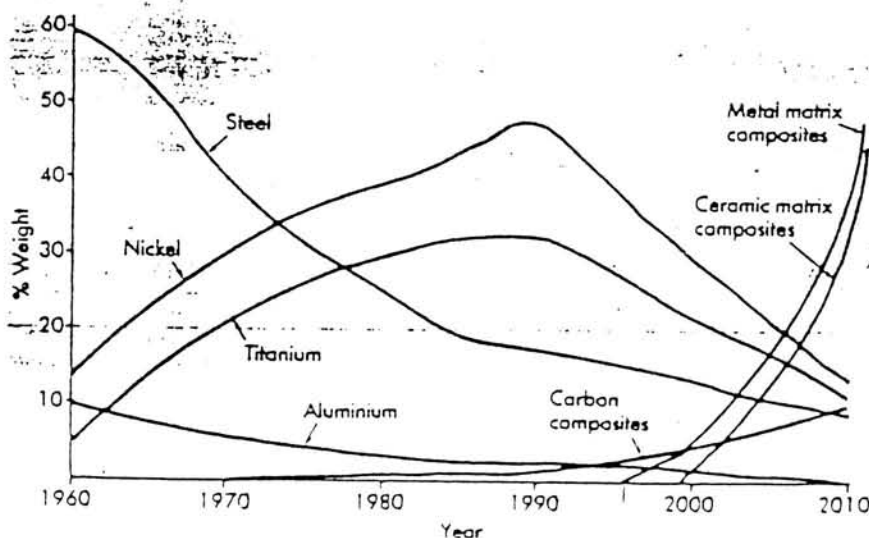


Fig 21 % de utilização dos diversos materiais
ao longo dos anos [17]

6.1 - INDÚSTRIA AEROESPACIAL

A indústria aeronáutica, como indústria de ponta que é, requer novidade e exige que os componentes possam trabalhar a altas temperaturas em limites considerados críticos.

Estes materiais devem não só suportar as elevadas temperaturas, mas também apresentarem progressos significativos na redução do seu peso específico bem como melhorias no seu comportamento mecânico.

As limitações que apresentam as superligas (Ni,Co,Ti) utilizadas actualmente têm vindo a atingir os limites das suas capacidades em algumas condições, casos da sua temperatura de sólido e resistência à oxidação a elevadas temperaturas.

Os CMM são uma das várias classes de materiais avançados que se espera venham a ter um papel extremamente significativo no futuro desenvolvimento da aeronáutica.

As fibras contínuas que reforçam os CMM desenvolvidos nesta área dão origem a que estes materiais tenham mais do dobro da resistência e rigidez quando comparados com a matriz do material sem reforço, e de um ponto de vista mecânico podem aumentar as suas aplicações acima dos 200°C e até valores da ordem dos 2000°C, como exemplificado na fig.seguinte. [16]

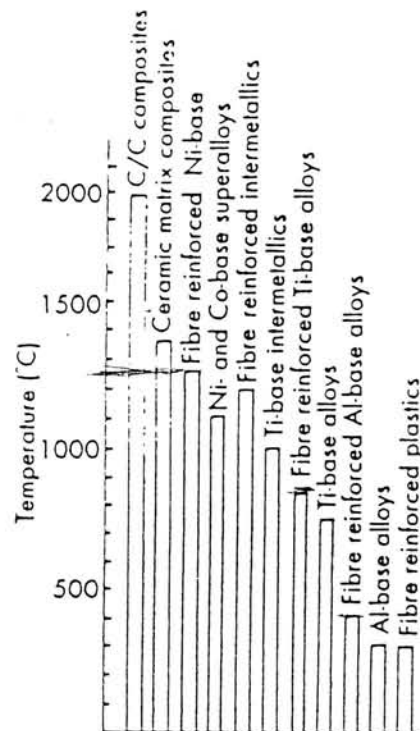


Fig.22 Temperaturas máximas de aplicação para diferentes materiais usados em aeronáutica [18]

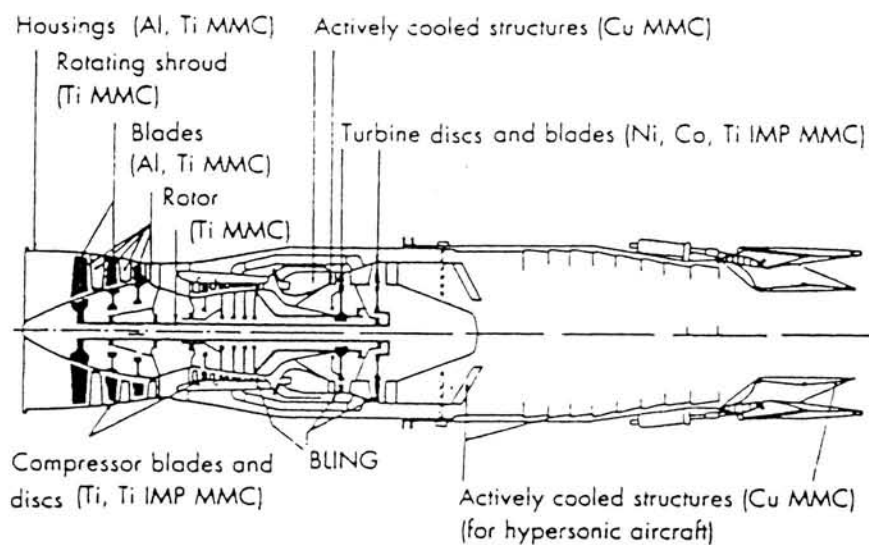


Fig 23 Aplicação de CMM em turbina [18]

Matrix	Fibre	Application
Cu base	Graphite	Combustion chamber
	SiC	Nozzle (rocket, Space Shuttle)
	W	NASP heat exchanger
Fe base	W	Tubing
Ni base and IMPS	Al ₂ O ₃	Blades, discs
	W	
Ti base and IMPS	SiC	Housings, tubing
	TiB ₂	Blades, discs
	TiC	Shafts, honeycomb
Directionally solidified eutectics	2nd phase	Blades, cable, NASP heat exchanger, superconductors
Cu -----	Nb	
Ni -----	Carbide	
Ti -----	Silicide	
Al base	SiC particle	Housings (pumps, instrumentation) mechanical connectors satellite structures
	Alumina	Fuselage
	Graphite	Structural members
	SiC	Wings, blades
Mg base	Alumina	Structural members

Tabela 4 Aplicação de CMM na aeronáutica [18]

6.2 - INDÚSTRIA AUTOMÓVEL

Fábricas como a Honda trabalham desde meados da década de 70 na fabricação de CMM por forma a melhorar as características de alguns componentes e assim aumentar a eficiência dos veículos que constroem.

O maior sucesso dos CMM nesta indústria tem-se revelado na construção de componentes sujeitos a elevadas temperaturas, essencialmente para melhorar a sua resistência à fadiga térmica.

Inicialmente nos USA e seguidamente no Reino Unido foi desenvolvida a aplicação dos CMM no fabrico de pistões para motores de automóveis. Este processo foi aplicado pela Toyota na produção em série no fabrico de pistões para alguns dos seus motores.

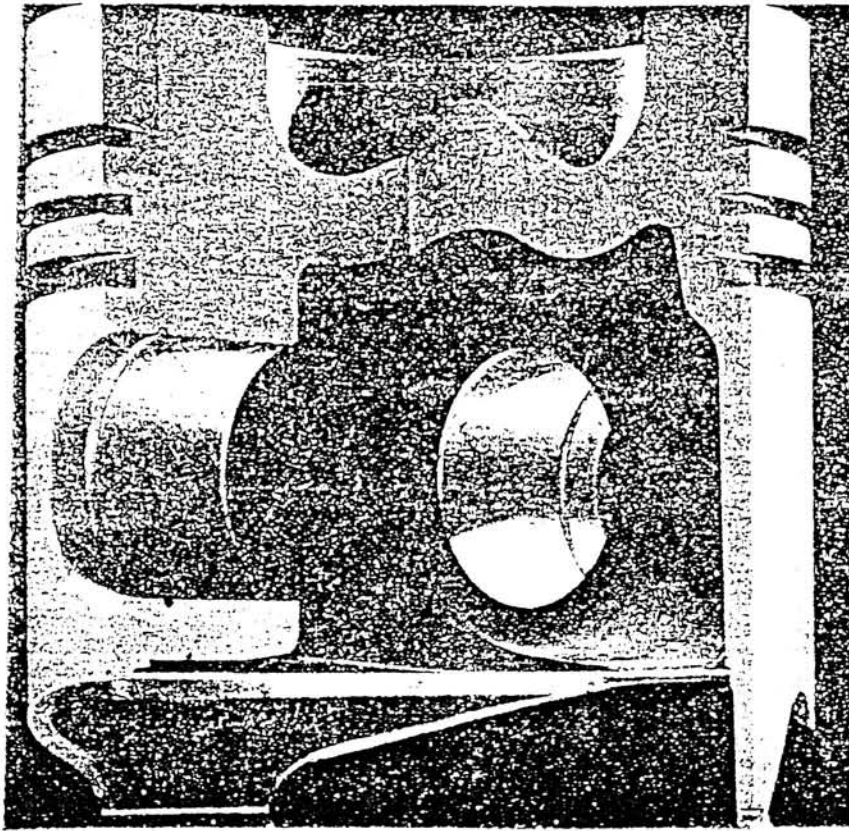


Fig 24 Pistão Toyota [19]

O sucesso futuro dos CMM na indústria automóvel depende do interesse dos fabricantes, já que o baixo custo pretendido e a capacidade de fabrico necessária obriga a elevados investimentos quer dos próprios fabricantes quer dos seus fornecedores de componentes e material.

6.3 - MATERIAL DE DESPORTO

Não é de surpreender que os CMM tenham já encontrado aplicação no fabrico de objectos de uso corrente e desportivos. A importância destas aplicações não pode ser ignorada, pois vem criar um volume de mercado para materiais avançados, que permitirá uma redução dos custos da matéria prima.

Como exemplos destas aplicações podemos citar o fabrico de canas de pesca, quadros de bicicletas, raquetes de ténis e cabeças dos tacos de golfe.

6.4 - ELECTRÓNICA E TELECOMUNICAÇÕES

Alguns fabricantes japoneses de material electrónico têm vindo a aplicar os CMM no fabrico de "chips" com o fim de evitar fenómenos de fadiga térmica.

7. MAQUINAGEM DOS CMM

7.1 - INTRODUÇÃO

A maquinagem dos CMM, devido à natureza dos reforços, pode tornar-se um processo potencialmente difícil e caro. Contudo, a maquinagem é e continuará a ser necessária afim de se obter peças com bom acabamento final e tolerâncias apertadas por forma a cumprirem as exigências de projecto.

Actualmente é unanimemente reconhecida a necessidade de desenvolver a maquinagem dos CMM como uma ciência. []

Maquinar CMM requer um elevado cuidado de forma a minimizar o desgaste das ferramentas e maximizar as performances, evitando a ocorrência de distorções, oxidação, tensões, vibrações e delaminação.

As diferentes características de maquinagem estão dependentes da dureza e abrasividade dos reforços e, da ductilidade da matriz, requerendo pois, um compromisso entre as ferramentas utilizadas e as técnicas usadas.

Um dos aspectos mais importantes no processo de maquinagem, é a influência dos reforços especialmente quando estes estão sob a forma de filamentos, devido ao desgaste que provocam na aresta de corte da ferramenta.

Vários são os factores de que depende a maquinabilidade dos CMM, tais como:

- vida da ferramenta
- quantidade de material removido
- acabamento superficial
- formação da apara
- forças de corte [24]

7.2 - MATERIAIS PARA FERRAMENTAS

A escolha de materiais para ferramentas é função da natureza da matriz e dos reforços utilizados.

As ferramentas mais utilizadas para a maquinagem (furação e fresagem) de CMM são de carbonetos endurecidos e diamantes policristalinos (PCD).

Os carbonetos endurecidos superficialmente oferecem um compromisso entre resistência e dureza como ilustrado na fig. 25

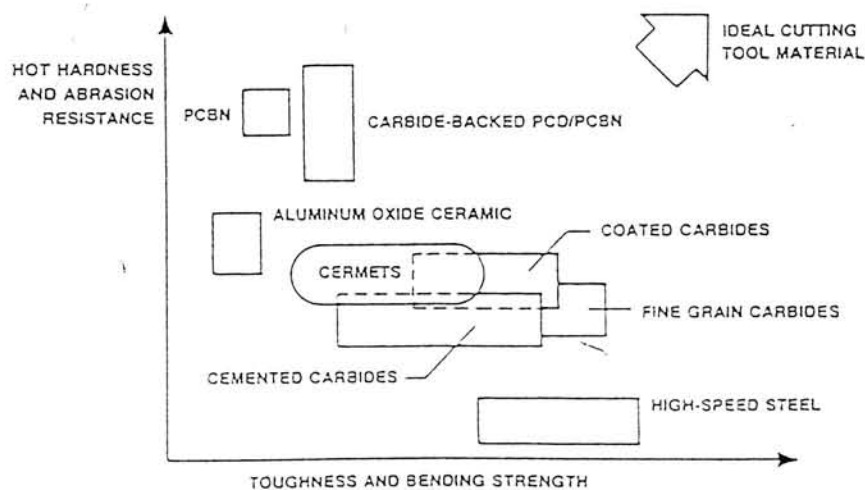


Fig.25 Resistência à abrasão / dureza [25]

- vida da ferramenta
- quantidade de material removido
- acabamento superficial
- formação da apana
- forças de corte [24]

7.2 - MATERIAIS PARA FERRAMENTAS

A escolha de materiais para ferramentas é função da natureza da matriz e dos reforços utilizados.

As ferramentas mais utilizadas para a maquinagem (furação e fresagem) de CMM são de carbonetos endurecidos e diamantes policristalinos (PCD).

Os carbonetos endurecidos superficialmente oferecem um compromisso entre resistência e dureza como ilustrado na fig. 25

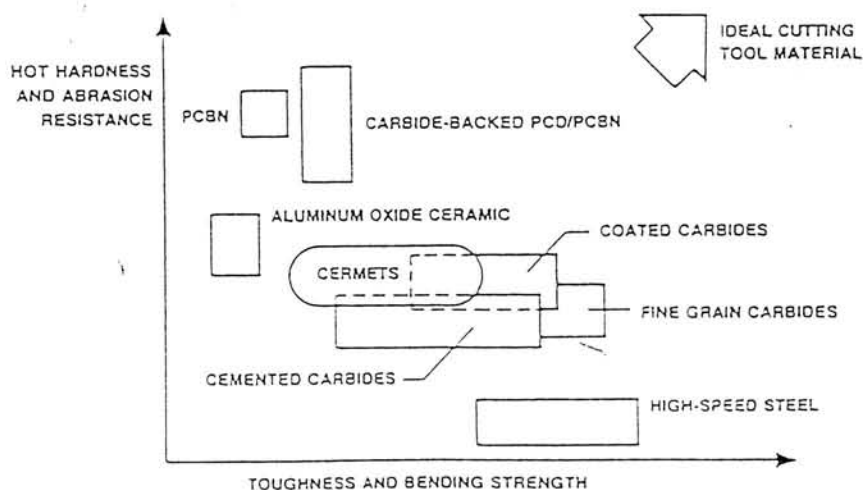


Fig.25 Resistência à abrasão / dureza [25]

A estabilidade química dos whiskers cerâmicos permite que as ferramentas de carbonetos duros tenham elevada resistência ao desgaste na maquinagem a altas velocidades podendo ser utilizadas para ligas de níquel ou cobalto.

As ferramentas em PCD são preferidas quando o desgaste abrasivo é maior que o desgaste químico.

O PCD oferece vantagem em relação a outros materiais para ferramentas, nomeadamente na resistência ao desgaste, dispersão térmica, dureza e lubricidade.

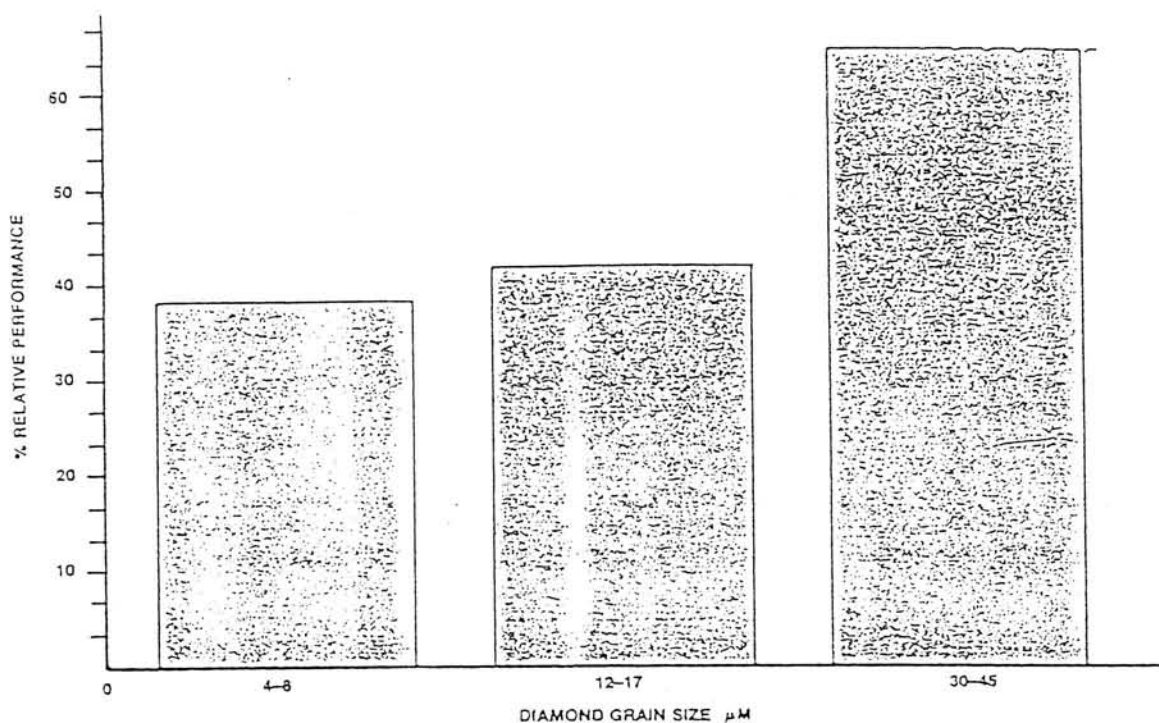


Fig.26 Resistência à abrasão / tamanho de grão do PCD [25]

7.3 - TIPOS DE FERRAMENTAS

Experiências anteriores mostraram que ferramentas convencionais e com as geometrias existentes não apresentavam resultados satisfatórios na maquinagem dos CMM. A principal razão para que estas tenham um tempo de vida curto é a dureza e a abrasividade dos reforços.

Para solucionar este problema foram desenvolvidos novos tipos de ferramentas com diferentes geometrias. As figuras seguintes ilustram alguns exemplos. [26, 27]

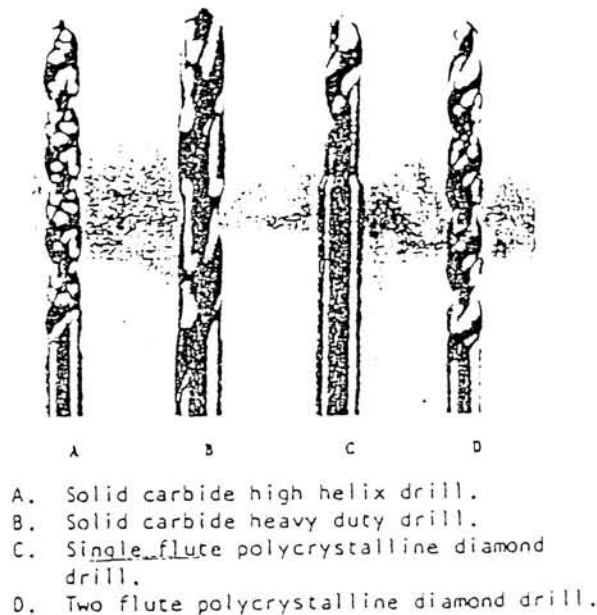


Fig. 27 Diferentes tipos de brocas usadas em furação. Diâmetro 1/4" [27]

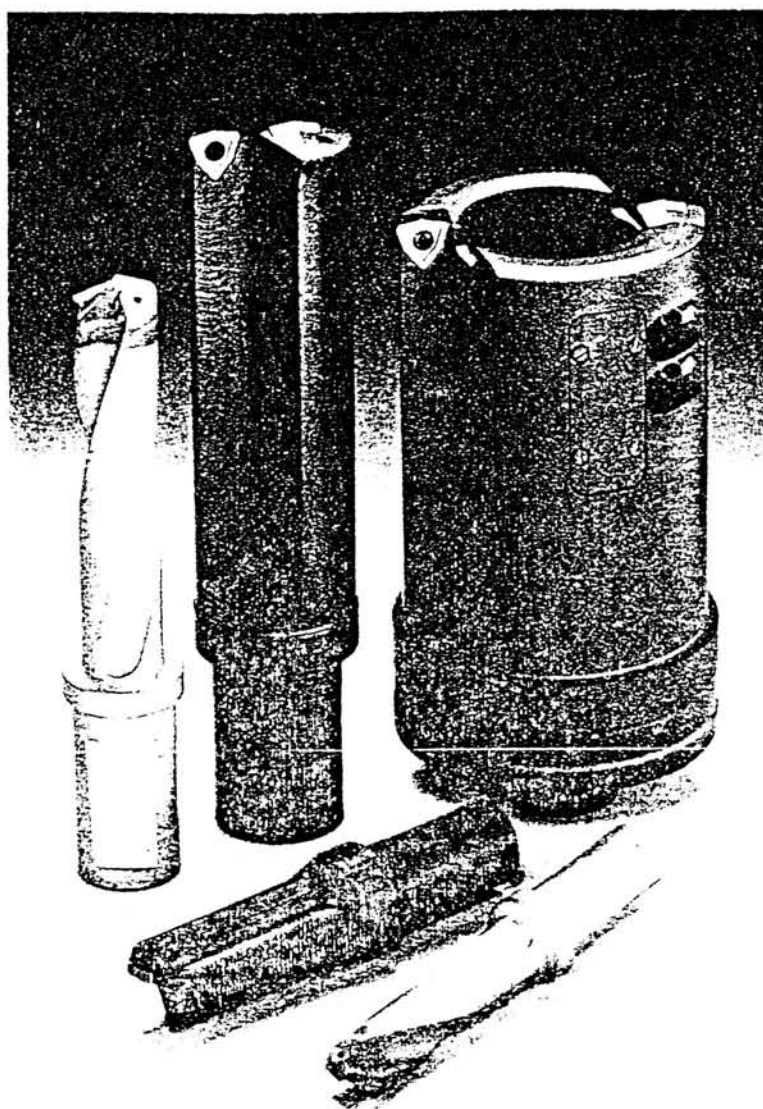


FIG.28 Tipos de brocas [28]

7.4 - MÉTODOS CONVENCIONAIS DE MAQUINAGEM

Todos os processos convencionais de maquinagem (furação, fresagem, torneamento, rectificação, etc.) removem material sob a forma de aparas por forma a originar uma superfície.

7.4.1 - A HISTÓRIA DO FURO

As regras para furação de materiais compósitos são diferentes das aplicadas para os metais.

Há alguns anos fazer furos num compósito com uma determinada tolerância, requeria o uso de diferentes brocas, cada uma delas cortando uma camada por furo.

Presentemente a furação pode ser realizada eficazmente com uma única broca, evitando-se pois a constante mudança de ferramentas, o que permite rentabilizar a máquina baixando os custos.

Os projectos mais recentes para aeronaves de alta performance são elaborados por forma a utilizar mais de 50% de CMM, contrariamente ao que sucedia à alguns anos em que a incorporação de CMM não ia além de 25%.

As partes em compósito de grafite, titânio e alumínio para estas aeronaves requerem alta qualidade e precisão na maquinagem, nomeadamente na furação.

Apesar das avançadas máquinas CNC de multieixos, a execução de certos furos ainda origina alguns problemas, nomeadamente no controle de qualidade. No entanto, a investigação e desenvolvimento efectuados nos últimos anos permite que actualmente se obtenham furos com tolerâncias dimensionais muito apertadas. [25]

7.4.2 - FURAÇÃO E FRESAGEM

Waldrop [24] sugeriu que estes processos convencionais de maquinagem são aceitáveis para maquinar CMM de reforços descontínuos, desde que se utilizem ferramentas apropriadas, com velocidades e avanços seleccionados. Contudo, eles não podem ser efectuados da mesma forma que seriam para ligas sem reforço.

Ele sugere também a redução da velocidade à superfície com elevadas taxas de avanço para conseguir bons resultados, podendo no entanto, o incremento da força resultar em defeitos dimensionais.

A furação e fresagem de CMM à base de Al e Mg contendo até 55% em volume de fibras contínuas (Dupont), com ferramentas à base de carbonetos, revelam-se eficientes, no entanto CMM de Al contendo filamentos contínuos de B apresentam dificuldades de maquinagem.

Para CMM contendo menos de 25% em volume de partículas de SiC, as ferramentas de carbonetos podem ser usadas mas apresentam uma vida útil muito curta.

Ferramentas de PCD são preferíveis devido à sua elevada resistência à abrasão, sendo no entanto muito caras. Para percentagens de reforços de SiC à volta de 25% em volume, o seu uso revela-se essencial. [24]

Em CMM com 25%SiC/Al verifica-se um incremento de 25% no tempo de maquinagem, o qual é equiparado ao tempo necessário para maquinar uma liga de Al 6061-T6 com a mesma espessura. Para 40% de volume de reforços este incremento de tempo de maquinagem dos CMM é de cerca de 300%. [26]

Outros investigadores obtiveram resultados similares tendo estimado um aumento do custo total na maquinagem dos CMM de 4 vezes mais.

7.5 - DESGASTE DAS FERRAMENTAS

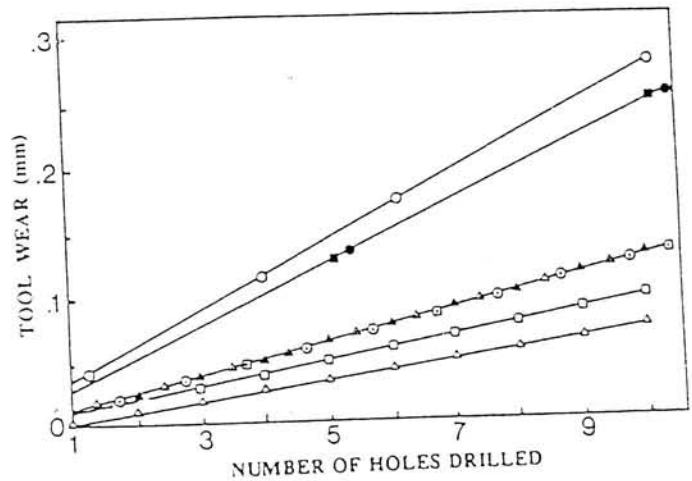
Os métodos tradicionais de maquinagem (furação e fresagem), requerem o contacto directo da ferramenta de corte com a peça durante a operação de maquinagem.

Devido às características abrasivas da maioria dos CMM, verifica-se um rápido desgaste das ferramentas, o que vem limitar grandemente a aplicação destes métodos. O desgaste das ferramentas é o maior problema das indústrias de fabricação de ferramentas de corte, pois trás associado problemas de ordem económica bem como, da qualidade dos componentes obtidos.

O efeito dos parâmetros de maquinagem nas ferramentas de corte foi investigado por Brian e Terry Lambert [29] na operação de furação de CMM de estrutura borolepóxido e borolepóxido/titânio.

As figuras seguintes mostram os resultados obtidos tendo sido utilizadas brocas de diamante. Verificou-se que na furação de CMM de borolepóxido o menor desgaste da ferramenta ocorre para uma velocidade de corte de 1.33 m/s e a uma velocidade de alimentação de 41.91 mm/min nas condições do ensaio, como ilustra a fig 29.

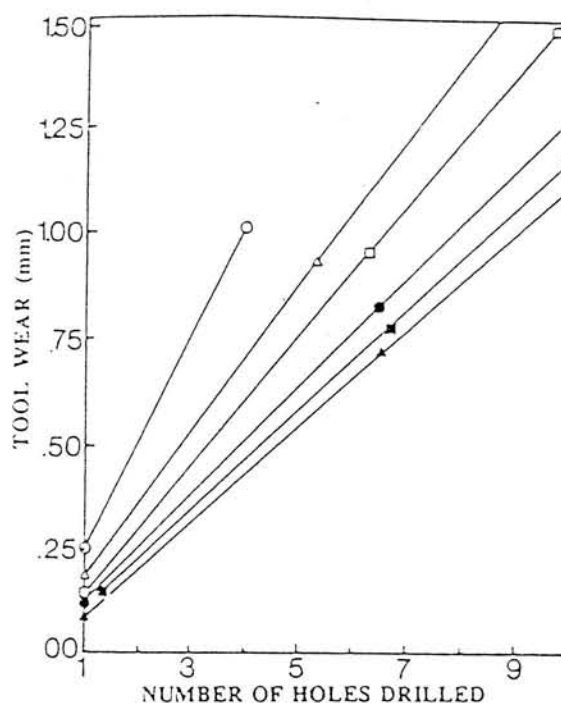
Fig.29 Effect of cutting speed and feed rate on tool wear when machining boron/epoxy composites: ● 0.90 m/s, 69.85 mm/min; ▲ 1.33 m/s, 69.85 mm/min; ■ 2.06 m/s, 69.85 mm/min; ○ 0.90 m/s, 41.91 mm/min; △ 1.33 m/s, 41.91 mm/min; □ 2.06 m/s, 41.91 mm/min; ◇ 0.90 m/s, 22.35 mm/min; △ 1.33 m/s, 22.35 mm/min; □ 2.06 m/s, 22.35 mm/min [29]



Testes realizados utilizando líquidos de arrefecimento mostraram não haver alterações na velocidade de corte e no regime de alimentação, pelo que a sua aplicação não se torna interessante para estas condições.

Numa segunda série de testes que incluiu operações de furação em estruturas híbridas de camadas de boro/epóxico e ligas de Ti 6Al-4V, tendo-se utilizado também brocas de diamante com 6.35 mm de diâmetro e líquido refrigerante (solução de água em óleo) verificou-se que o menor desgaste das ferramentas ocorre para uma velocidade de corte de 1.33 m/s (4000 rpm) e uma velocidade de alimentação de 0.76 mm/min

Fig 30 Effect of cutting speed and feed rate on tool wear when machining boron/epoxy-titanium composites: ● 0.90 m/s, 0.76 mm/min; ▲ 1.33 m/s, 0.76 mm/min; ■ 2.06 m/s, 0.76 mm/min; ○ 0.90 m/s, 1.52 mm/min; △ 1.33 m/s, 1.52 mm/min; □ 2.06 m/s, 1.52 mm/min [29]



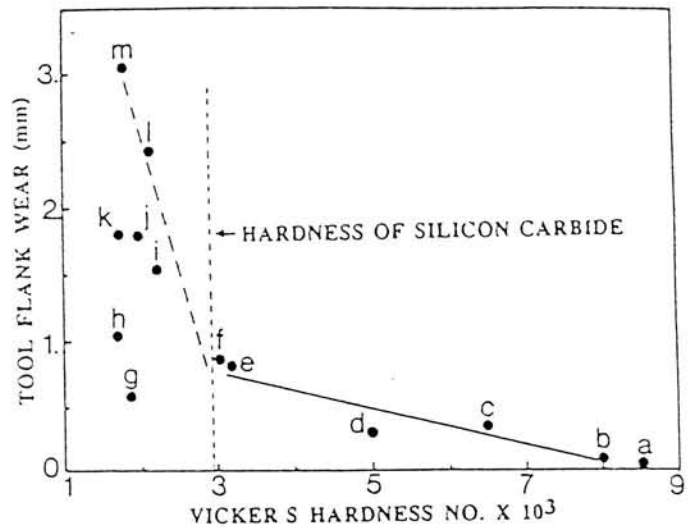
Brian e Lee [29] investigaram a taxa de desgaste das ferramentas de corte na maquinagem de CMM Al-40% volume SiC tendo utilizado uma larga variedade de ferramentas experimentais e convencionais.

Concluíram que a taxa de desgaste nas ferramentas revestidas com SiC é inversamente proporcional à sua dureza, e que as ferramentas de diamante policristalino apresentam um tempo de vida útil superior às outras ferramentas de corte.

A vida útil das ferramentas de PCD é relativamente curta para velocidades moderadas e altas (a partir de 2.5 m/s); contudo, para velocidades de corte baixas o seu tempo de vida útil sofre um grande incremento.

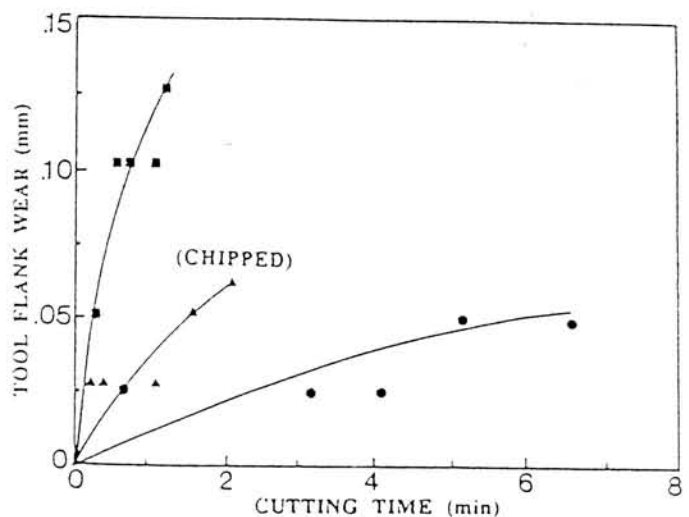
Os resultados do desgaste na aresta de corte de várias ferramentas após 1 minuto de maquinagem e para as mesmas condições de trabalho em função das respectivas durezas Vickers são apresentados na fig. 31

Fig 31 Variation of tool flank wear land with Vickers hardness of different cutting tool after 1 minute cutting time, at a cutting speed of 2.53 m/s: a, polycrystalline diamond (fine grain); b, polycrystalline diamond (coarse grain); c, polycrystalline cubic BN (development); d, polycrystalline cubic BN; e, hot-pressed titanium diboride-boron carbide; f, hot-pressed titanium diboride-titanium carbide; g, cemented WC-3% Co (medium grain); h, cemented WC-6% Co (fine grain); i, hot-pressed $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiC}$; j, cemented WC-6% Co (medium grain), k, cemented WC-10% Co; l, $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$; m, SiAlON [29]



A fig. 32 mostra o incremento de desgaste sofrido pela aresta de corte em ferramentas PCD quando a velocidade de corte é aumentada. Isto sugere que o processo de maquinagem é dominado pelo mecanismo de desgaste, e o mecanismo de desgaste é sensível à temperatura de corte [29]

Fig.32 Variation of tool flank wear land of diamond cutting tools with cutting time for different cutting speeds: ●, 2.53 m/s; ▲, 6.33 m/s; ■, 14 m/s [29]



O desgaste das ferramentas quando se maquinam aluminios reforçados é devido à interacção, entre partículas ou fibras e a aresta de corte.

Devido à dureza dos materiais de reforço, o principal mecanismo de desgaste é a abrasão. As partículas ou fibras fixam-se nas aparas, na superfície do furo maquinado, e no material a maquinar.

Existem também partículas livres que vão quebrar (abrir) a matriz de Al durante a formação da apara [30].

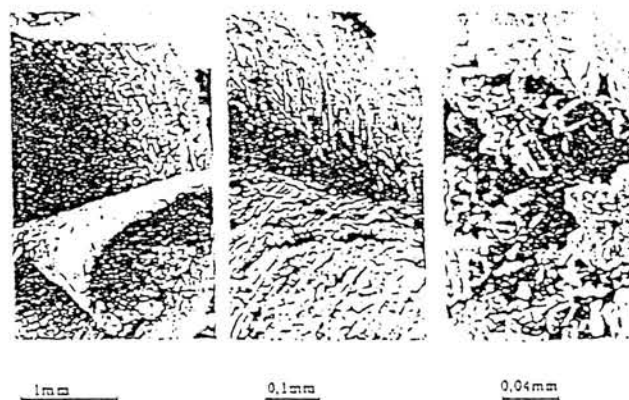


Fig.33 Chip formation when drilling SiC-particle reinforced AlMgSiCu ($v_c = 0$, $f_r = 0,15$ mm/rev) [30]

Quando a furação é feita com lubrificante interior as partículas e o lubrificante aderem à parte inferior da apara formando um conjunto abrasivo.

Este facto é a principal razão para o elevado desgaste das ferramentas quando se utilizam lubrificantes interiores. Este fenómeno não se verifica quando a furação é efectuada sem sem líquidos arrefecedores [30]

7.6 - QUALIDADE DOS COMPONENTES MAQUINADOS POR MAQUINAGEM CONVENCIONAL

A maquinagem é geralmente considerada como um processo de acabamento com dimensões específicas, tolerâncias e superfícies pré-definidas.

A qualidade da superfície obtida por maquinagem bem como as suas características, são factores importantes no tempo de vida em serviço do componente quando sujeito a cargas dinâmicas.

Estudos efectuados por Weisinger [29] onde foram comparados os efeitos de vários processos de maquinagem, tais como o cisalhamento, corte por abrasivo, rectificação e furação em CMM de Al/B, tendo concluído que nenhum dos processos usados permite a obtenção simultânea de bom acabamento superficial, longa vida das ferramentas e bom aspecto superficial a altas velocidades de trabalho.

Baseado no estrago dos filamentos provocado por cada um dos processos Weisinger propôs a seguinte série que vai desde o menor ao maior estrago:

- cisalhamento
- corte por abrasivo
- rectificação
- perfuração
- furação com diamante
- furação com brocas de aço a alta velocidade

[29]

2ª PARTE

PRÁTICA

1 - OBJECTIVOS

A parte prática tem por objectivo a calibração do dinamómetro de furação e, a realização de ensaios de furação em CMM.

Estes ensaios destinam-se a seleccionar os parâmetros e as ferramentas mais adequadas para a obtenção de furos com as dimensões pretendidas e com tolerâncias apertadas, para estes materiais.

A parte final dos objectivos do presente seminário não foi cumprida, por falta de tempo para a sua realização.

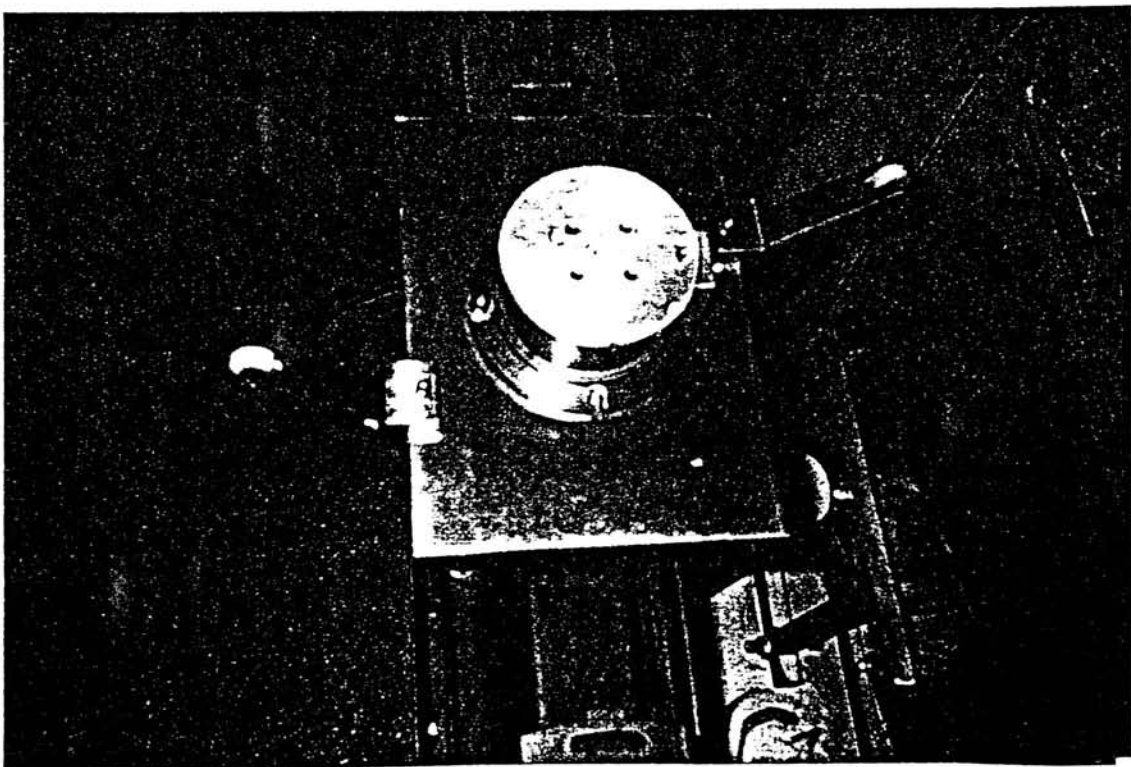
2 - CALIBRAÇÃO DO DINAMÓMETRO DE FURAÇÃO

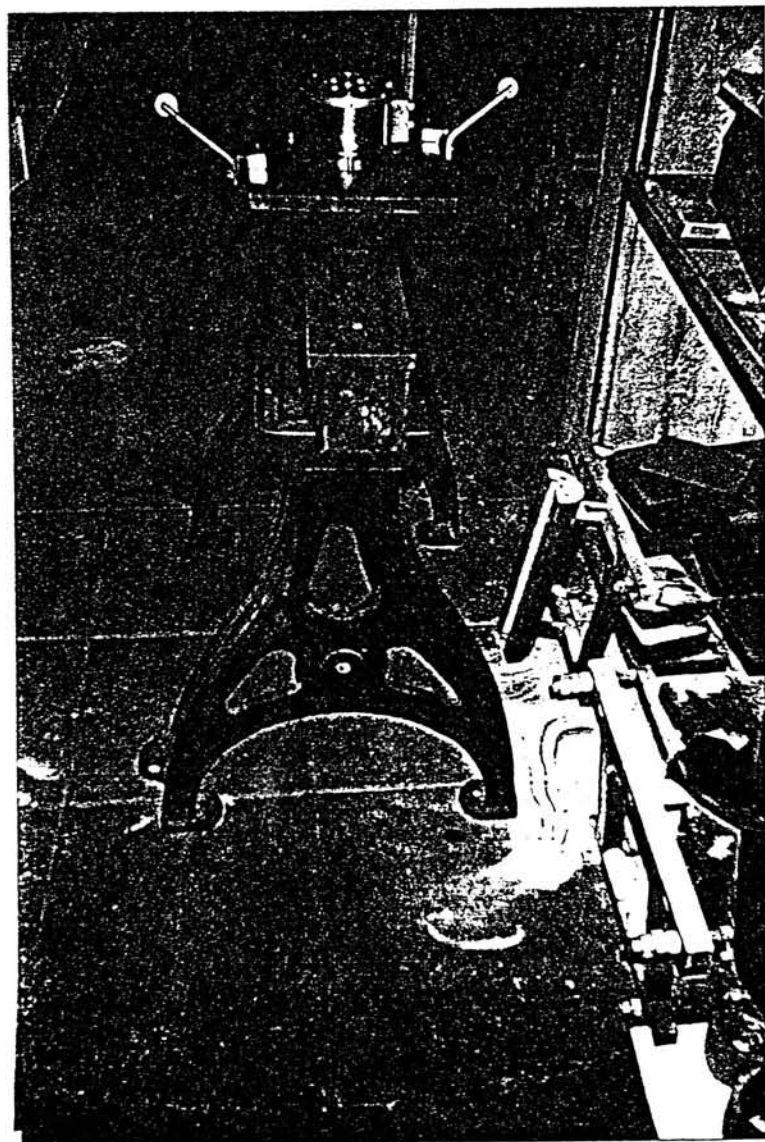
Após a montagem do dinamómetro, procedeu-se à calibração do mesmo, para o que foram efectuados diversos ensaios conforme se apresentam nas tabelas e gráficos seguintes.

Afim de testar o rigor dos resultados obtidos foram realizadas diversas leituras para cada ensaio.

Todas as leituras foram efectuadas em carga e descarga, sendo os resultados lidos através de sinais eléctricos. A ponte rectificadora foi regulada para uma excitação de 3.5 e um ganho de 800.

As fotografias seguintes dão-nos um aspecto geral do dinamómetro e da bancada de fixação.





3 - APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS PRÁTICOS

Os resultados obtidos são apresentados em tabelas e gráficos.

Nos gráficos recorreu-se a funções polinomiais, sempre que possível de grau 1, desde que o coeficiente de correlação fosse superior a 0.9. Para o caso em que este coeficiente era inferior, utilizaram-se polinómios de grau 2 ou 3.

As tabelas e os gráficos apresentados na parte prática deste trabalho foram efectuados no programa Cricket Graph.

3.1 - LEITURA DO AVANÇO PARA DIFERENTES CARGAS

3.1.1 - DESCRIÇÃO DO ENSAIO

Neste ensaio, as cargas foram colocadas sucessivamente desde 0 até 26 Kg, para a leitura do sinal em carga, e em sentido inverso para a leitura do sinal em descarga.

Na 2ª e 3ª leituras deste ensaio, são apresentados valores residuais em carga e em descarga para o momento.

Das várias leituras foram retirados os valores dos sinais máx. e mínimos, os quais se apresentam na tabela 4. Estes valores deram origem aos gráficos 1 a 4.

3.1.2 - TABELAS E GRÁFICOS

1ª LEITURA

Carga (Kg)	Sinal carga (mV)	Sinal desc. (mV)
0		9
2	17	31
4	33	52
6	52	73
8	73	94
10	93	115
12	113	138
16	158	176
26	271	271

Tab. 1

2ª LEITURA

Carga (Kg)	Sinal carga (mV)	Sinal Mom.carg.	Sinal desc.(mV)	Sinal Mom.desc
0			10	1
2	19	- 1	32	1
4	39	0	55	0
6	57	- 3	77	- 5
8	78	- 1	99	- 8
10	99	0	121	- 9
12	130	- 6	139	- 8
16	165	- 7	184	- 20
26	269	- 11	269	- 11

Tab. 2

3ª LEITURA

Carga (Kg)	Sinal carga (mV)	Sinal Mom.carg.	Sinal descarga (mV)	Sinal Mom.desc
0			0	1
2	15	2	23	1
4	33	3	45	1
6	51	2	67	- 2
8	71	2	88	- 5
10	91	1	109	- 9
12	112	1	129	- 9
16	153	0	171	- 10
26	260	- 15	260	- 15

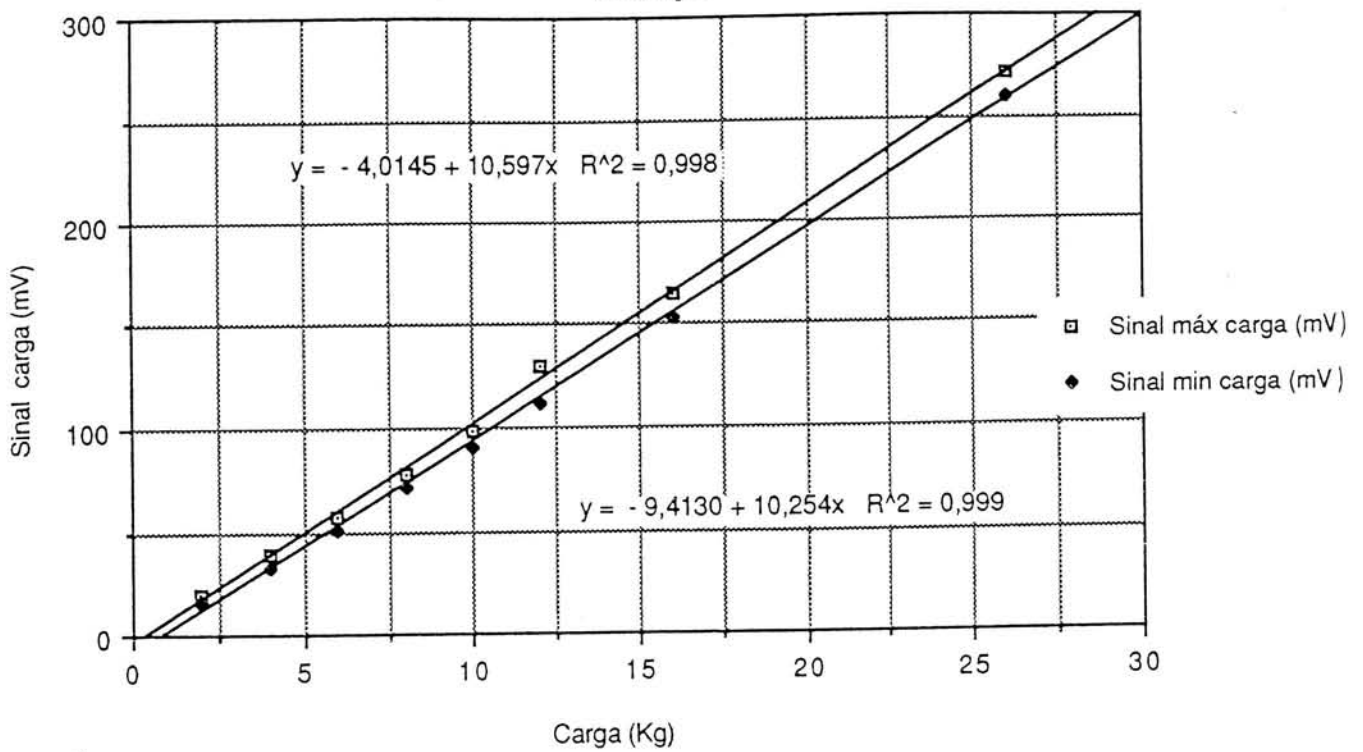
Tab. 3

AVANÇO

Carga (Kg)	Sinal máx carga (mV)	Sinal min carga (mV)	Sinal máx desc (mV)	Sinal min desc (mV)
0			10	0
2	19	15	32	23
4	39	33	55	45
6	57	51	77	67
8	78	71	99	88
10	99	91	121	109
12	130	112	139	129
16	165	153	184	171
26	271	260	271	260

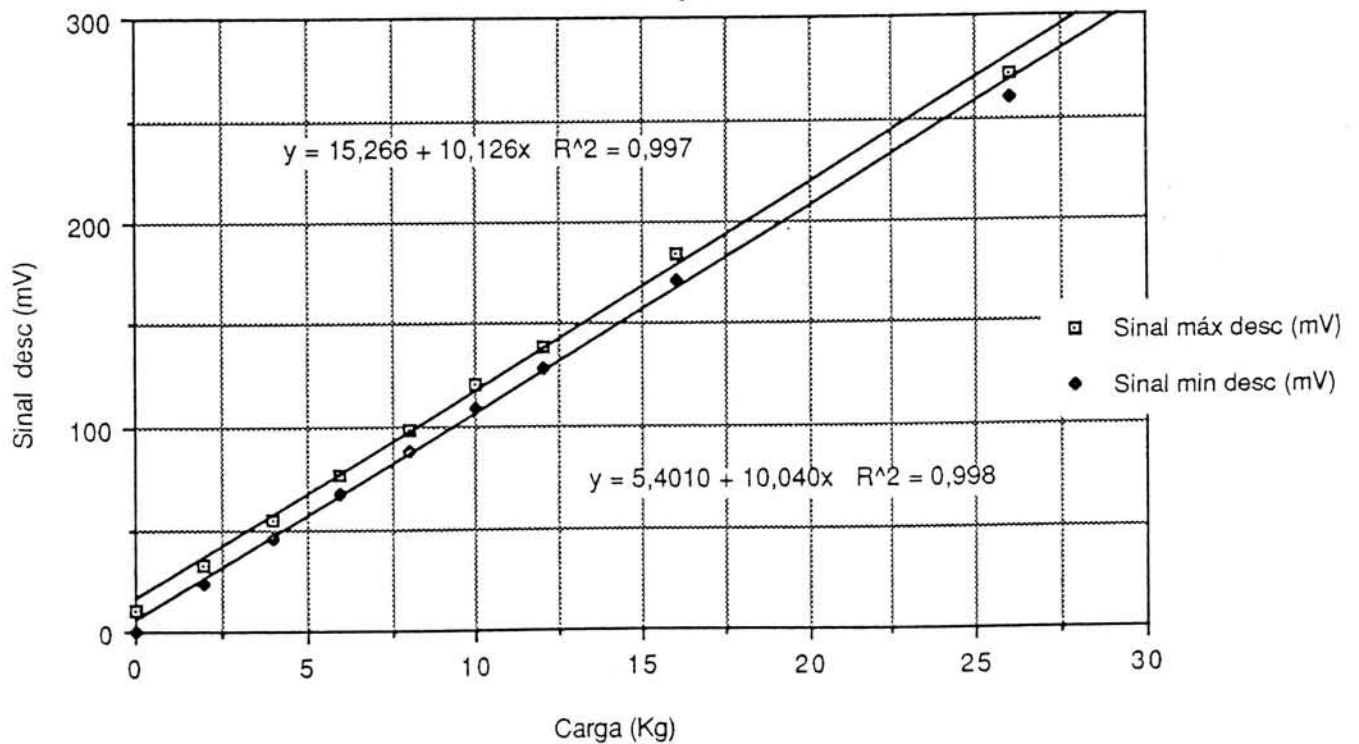
Tab. 4

"AVANÇO "

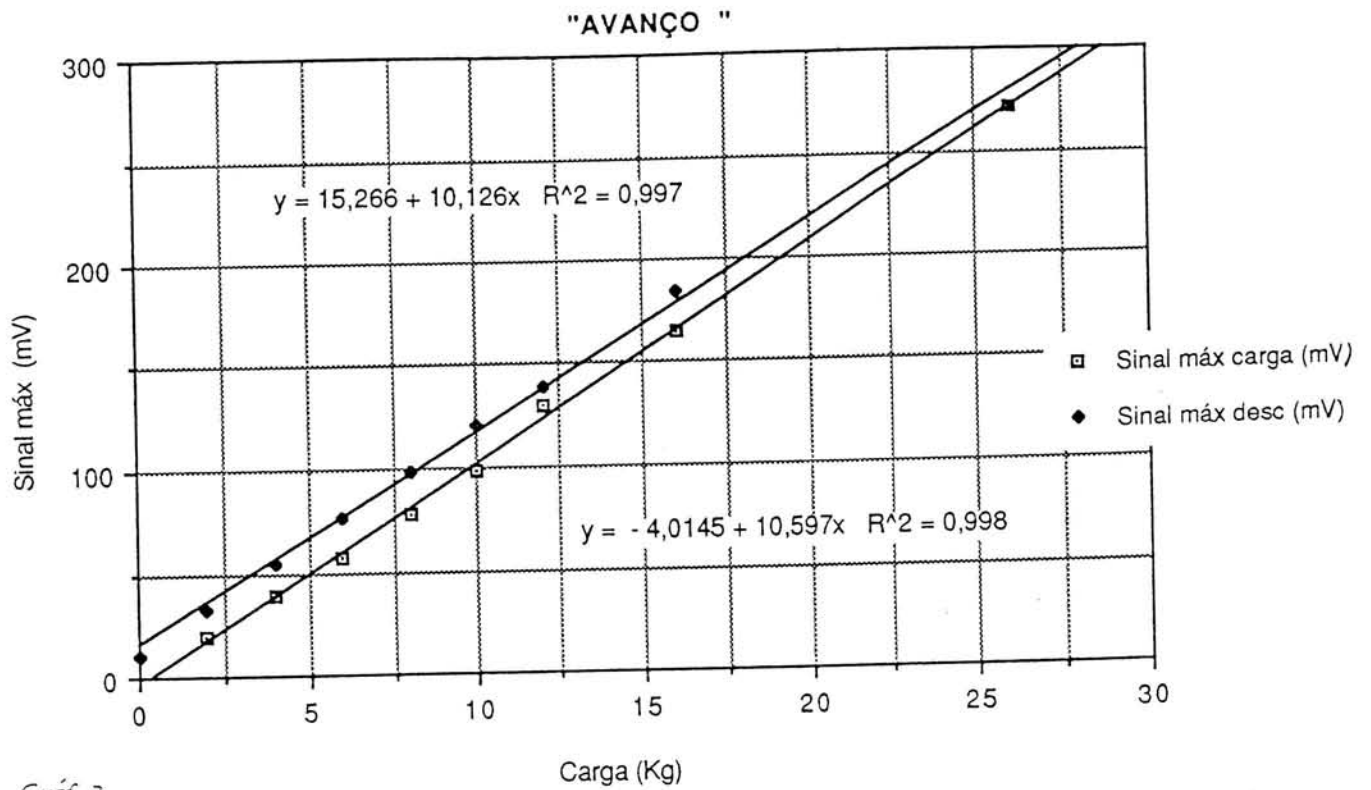


Gráf. 1

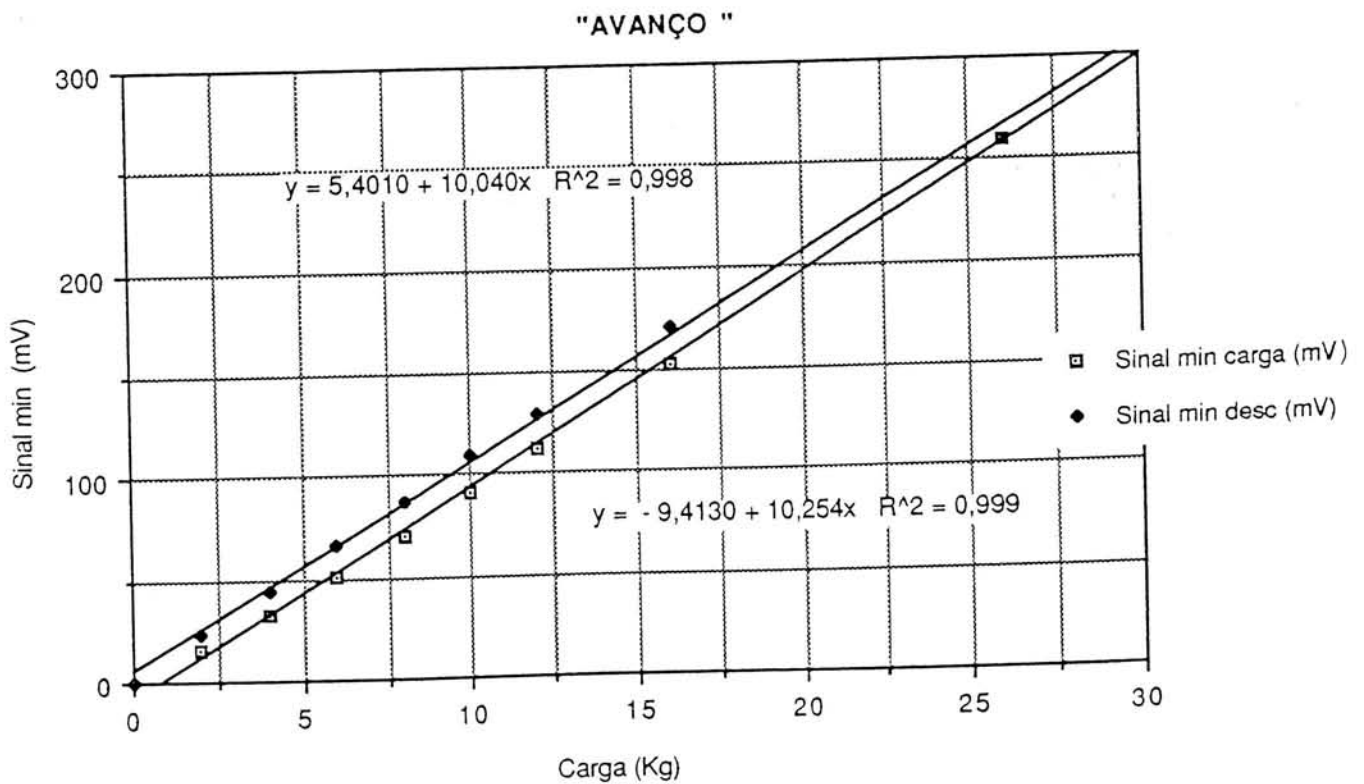
"AVANÇO "



Gráf. 2



Gráf. 3



Gráf. 4

3.1.3 - ANÁLISE DE RESULTADOS

Da análise dos gráficos 1 e 2 verifica-se que existe um intervalo de erro do dinamómetro , tanto em carga como em descarga.

Dos gráficos 3 e 4 observa-se a existência de um desfasamento entre os valores do sinal em carga e em descarga, quer para os valores máx. quer para os valores mínimos.

3.2 - LEITURA DO MOMENTO PARA DIFERENTES CARGAS

3.2.1. - DESCRIÇÃO DO ENSAIO

Este ensaio foi efectuado através da suspensão de pesos, com o auxílio de roldanas, para criar um binário. Os valores do momento foram obtidos pela fórmula:

$$M = F \times b \quad \text{com } b = 130 \text{ mm}$$

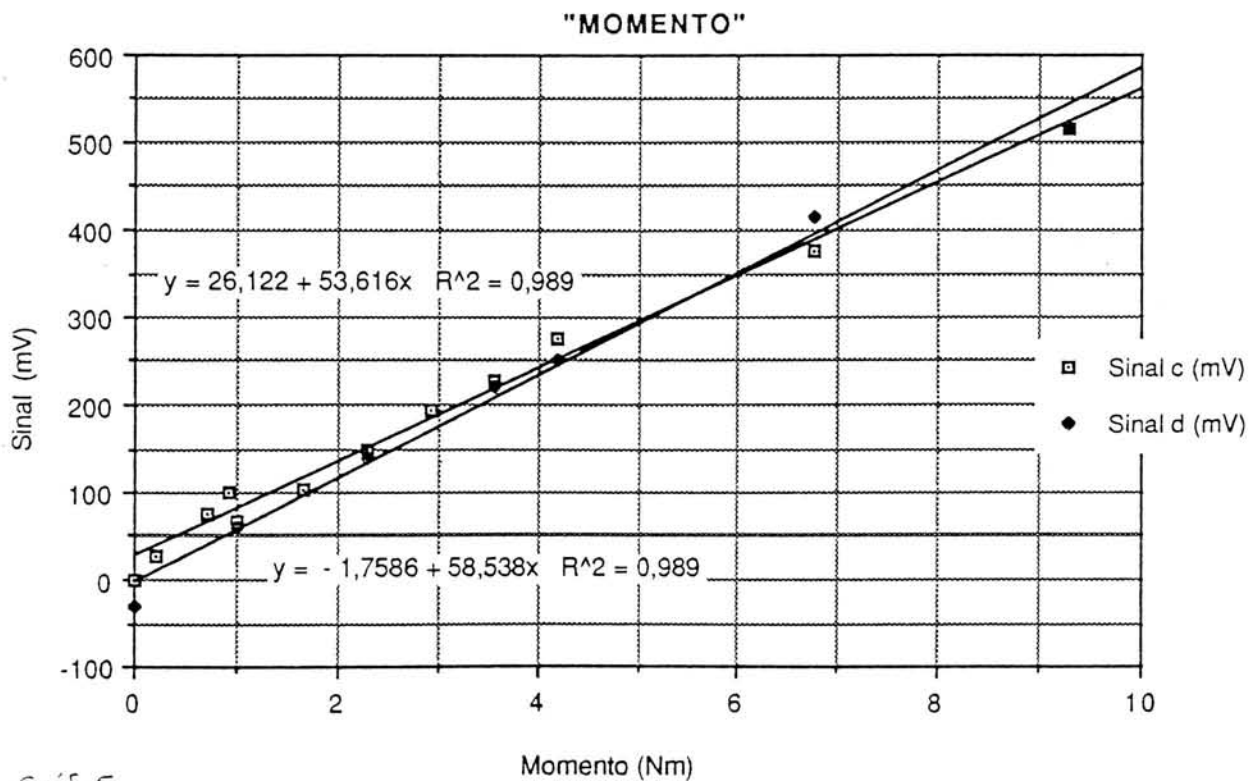
As cargas variam cumulativamente entre 0 e 7.295 Kg em carga, e inversamente em descarga.

3.2.2 - TABELAS E GRÁFICOS

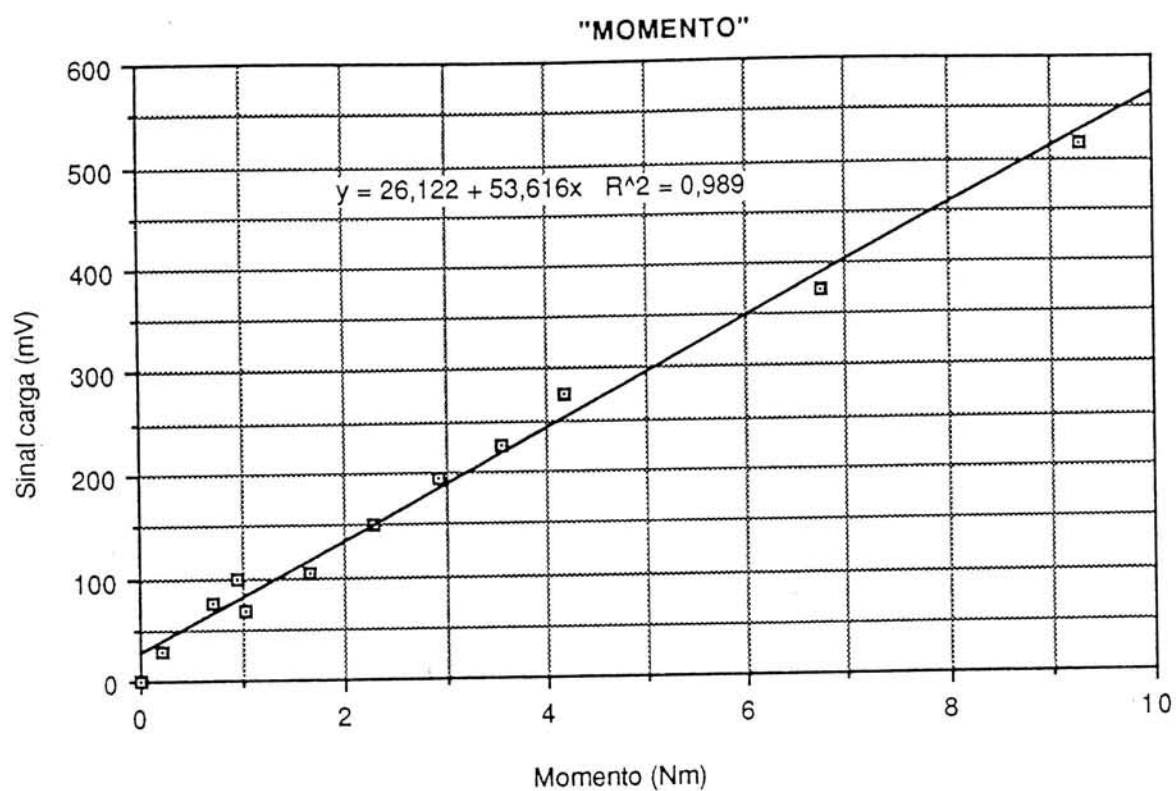
MOMENTO

Peso (Kg)	Momento (Nm)	Sinal c (mV)	Sinal d (mV)
0,000	0,000	0	-30
0,173	0,221	28	
0,561	0,715	76	
0,734	0,936	99	
0,795	1,013	67	60
0,878	1,118		
1,295	1,650	104	
1,795	2,287	150	140
2,295	2,924	195	
2,795	3,561	227	222
3,295	4,198	276	253
5,295	6,746	375	414
7,295	9,294	515	515

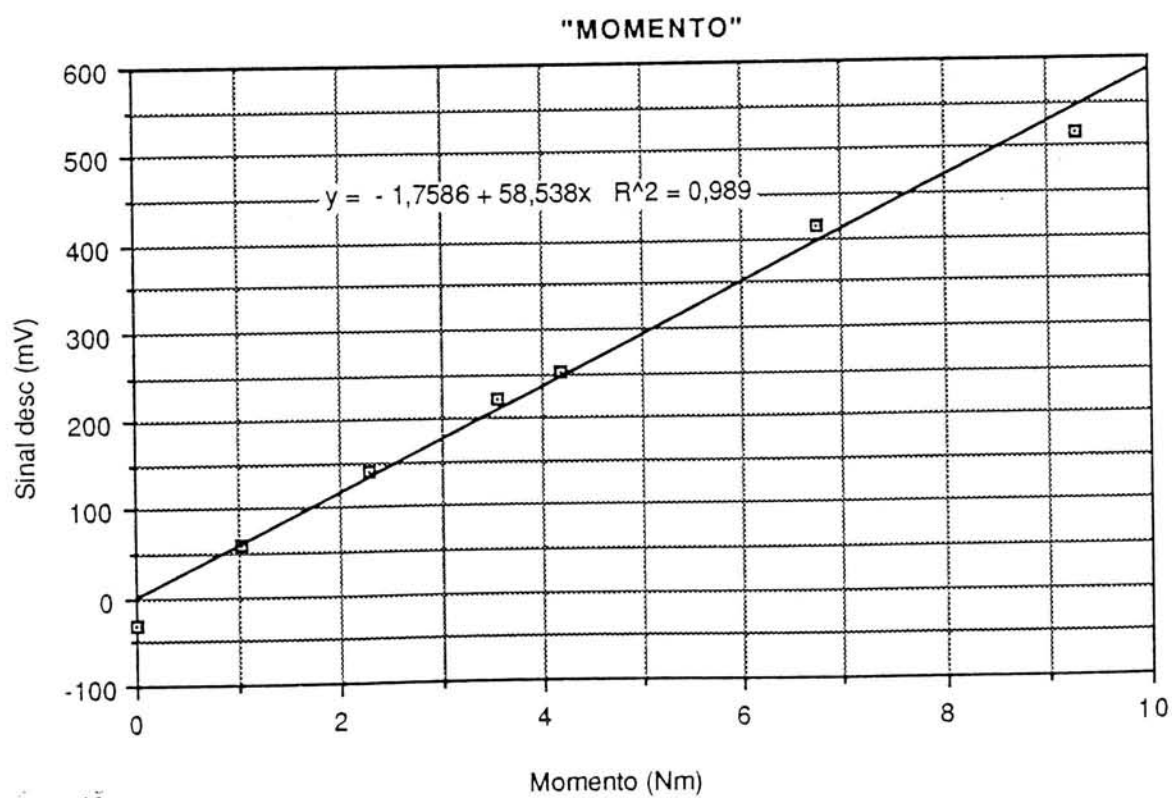
Tab. 5



Gráf. 5



Gráf. 6



Gráf. 7

3.2.3 - ANÁLISE DE RESULTADOS

Nos gráficos 6 e 7, são apresentados individualmente os resultados em carga e descarga respectivamente.

O gráfico 5, que é uma combinação dos dois anteriores, é pouco conclusivo já que os valores em carga aparecem ora superiores, ora inferiores aos valores em descarga.

3.3 - LEITURA DO MOMENTO COM AVANÇOS CONSTANTES

3.3.1 - DESCRIÇÃO DO ENSAIO

Para avanços constantes de cargas de 0, 19.6, 58.8, e 98 N foi variada a carga para o momento com valores entre 1.7 e 73.791 N. Com estes valores mediu-se o sinal em carga e descarga, tanto para o avanço como para o momento.

Para cada valor do avanço foi efectuado um estudo pormenorizado para os sinais máximos e mínimos obtidos.

3.3.2 - TABELAS E GRÁFICOS

1ª LEITURA AVANÇO CTE

Carga avan (N)	Carga Mto (N)	Momento (Nm)	Sinal avan carga (mV)	Sinal Mto carga (mV)	Sinal avan desc (mV)	Sinal Mto desc (mV)
0,0	1,700	0,221	0	32	- 5	- 9
0,0	7,200	0,936	0	112	- 6	67
0,0	14,991	1,949	0	294	- 7	145
0,0	24,791	3,223	0	235	- 5	232
0,0	34,591	4,497	2	318	- 2	321
0,0	54,191	7,045	3	452	0	502
0,0	73,791	9,593	1	652	1	652
19,6	1,700	0,221	16	0	17	-57
19,6	7,200	0,936	16	13	17	-40
19,6	14,991	1,949	15	44	18	3
19,6	24,791	3,223	14	110	15	77
19,6	34,591	4,497	15	175	16	172
19,6	54,191	7,045	17	253	17	260
19,6	73,791	9,593	21	404	21	404
58,8	1,700	0,221	54	4	56	- 8
58,8	7,200	0,936	53	11	56	8
58,8	14,991	1,949	52	59	55	55
58,8	24,791	3,223	52	127	55	124
58,8	34,591	4,497	52	221	55	205
58,8	54,191	7,045	50	278	53	279
58,8	73,791	9,593	49	424	49	424
98,0	1,700	0,221	96	30	97	-33
98,0	7,200	0,936	95	47	97	-25
98,0	14,991	1,949	96	96	97	20
98,0	24,791	3,223	95	140	96	81
98,0	34,591	4,497	97	208	96	173
98,0	54,191	7,045	96	272	95	242
98,0	73,791	9,593	94	405	94	405

2ª LEITURA AVANÇO CTE

Carga avanço (N)	Carga Mto (N)	Momento (Nm)	Sinal avan carga (mV)	Sinal Mto carga (mV)	Sinal avan desc (mV)	Sinal Mto desc (mV)
0,0	1,700	0,221	0	29	-7	-5
0,0	7,200	0,936	0	117	-7	55
0,0	14,991	1,949	-1	247	-9	150
0,0	24,791	3,223	0	252	-9	245
0,0	34,591	4,497	1	313	-7	336
0,0	54,191	7,045	0	494	-3	317
0,0	73,791	9,593	-1	676	-1	676
19,6	1,700	0,221	17	8	18	0
19,6	7,200	0,936	17	28	17	25
19,6	14,991	1,949	17	117	18	70
19,6	24,791	3,223	18	243	18	128
19,6	34,591	4,497	19	246	16	195
19,6	54,191	7,045	19	317	17	286
19,6	73,791	9,593	22	412	22	412
58,8	1,700	0,221	56	15	55	-74
58,8	7,200	0,936	55	20	55	-66
58,8	14,991	1,949	54	57	55	-17
58,8	24,791	3,223	54	114	55	40
58,8	34,591	4,497	55	193	56	135
58,8	54,191	7,045	55	260	55	217
58,8	73,791	9,593	50	344	50	344
98,0	1,700	0,221	95	12	99	-5
98,0	7,200	0,936	94	18	99	-2
98,0	14,991	1,949	96	69	98	73
98,0	24,791	3,223	95	125	97	133
98,0	34,591	4,497	94	225	97	217
98,0	54,191	7,045	96	287	95	294
98,0	73,791	9,593	94	455	94	455

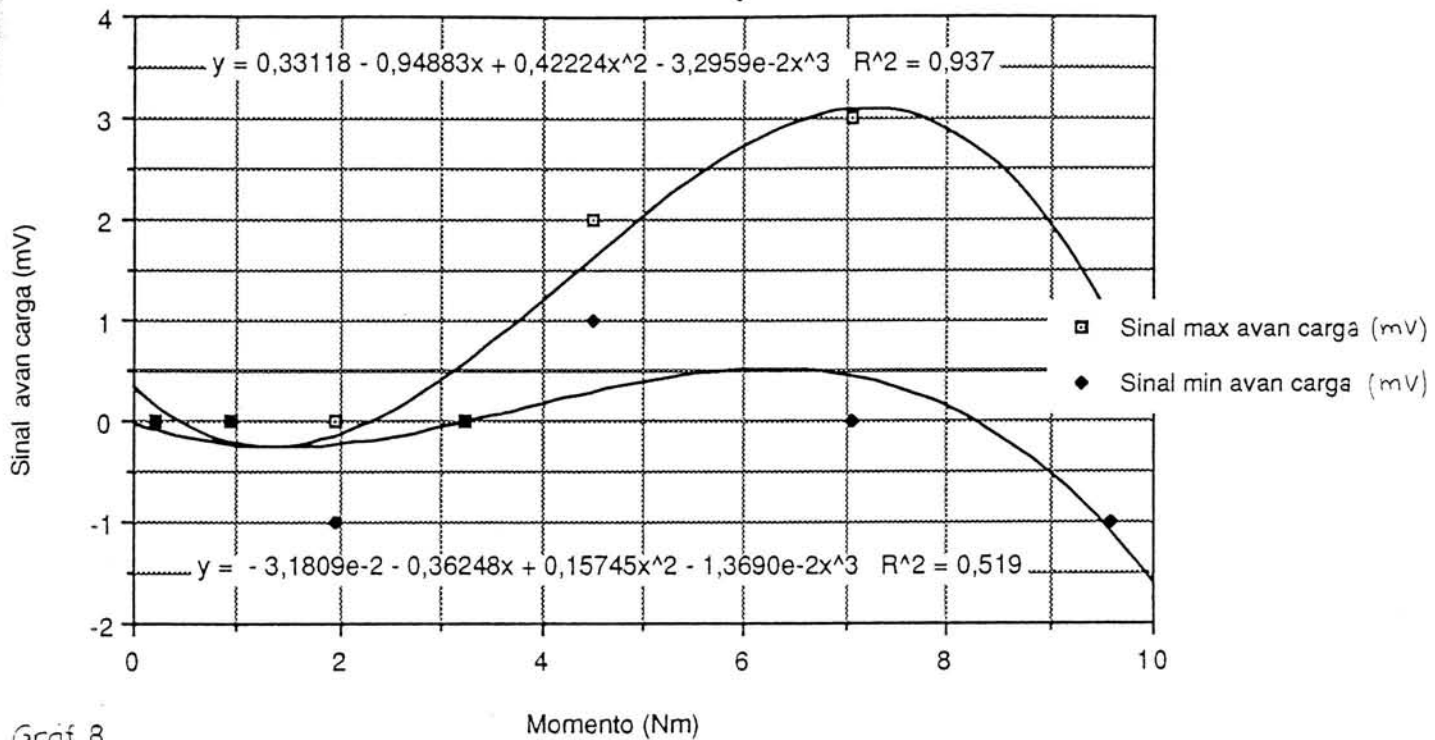
Tab. 7

TABELA AVANÇO 0 (0 N)

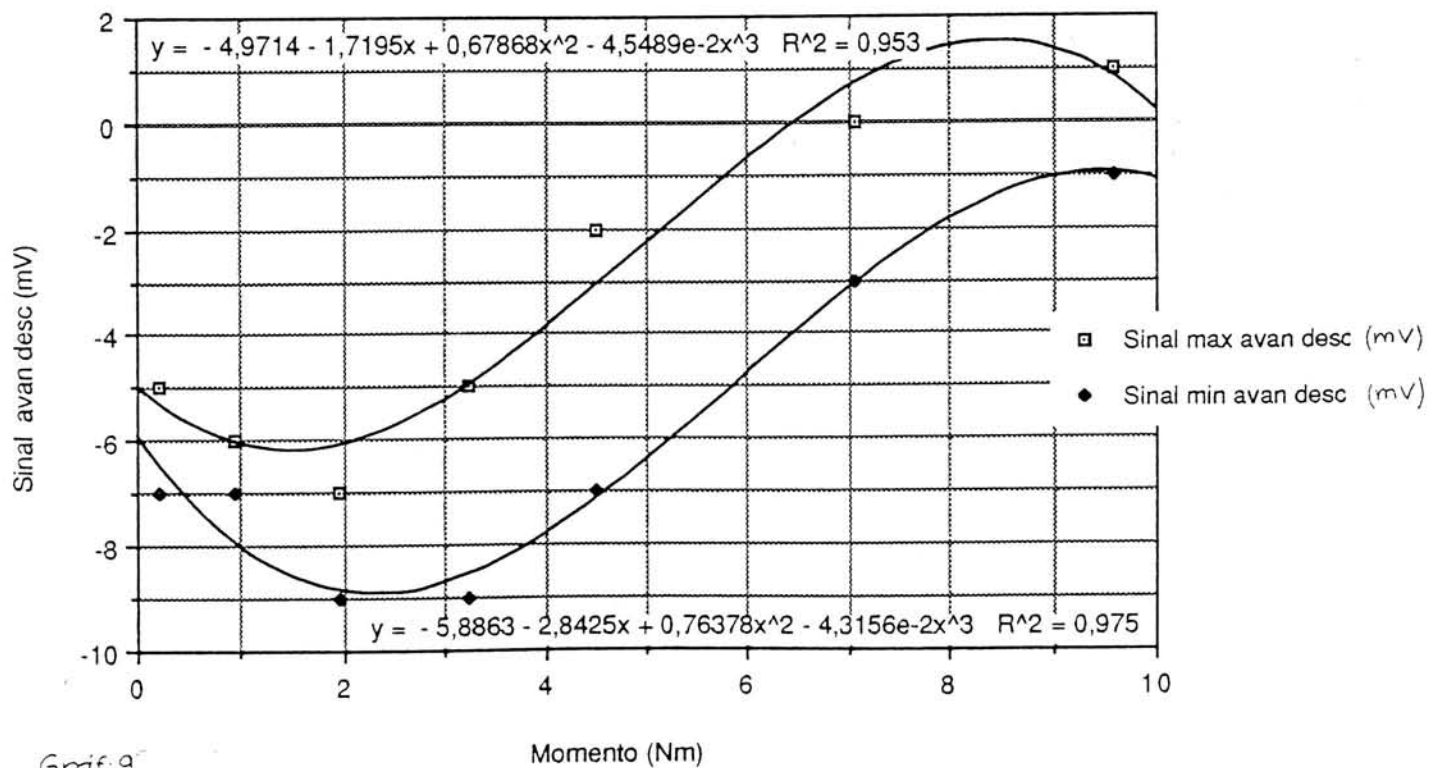
Momento (Nm)	Sinal max avan carga (mV)	Sinal min avan carga (mV)	Sinal max avan desc (mV)	Sinal min avan desc (mV)
0,221	0	0	- 5	- 7
0,936	0	0	- 6	- 7
1,949	0	- 1	- 7	- 9
3,223	0	0	- 5	- 9
4,497	2	1	- 2	- 7
7,045	3	0	0	- 3
9,593	1	- 1	1	- 1

Sinal max Mto carga	Sinal min Mto carga	Sinal max Mto desc	Sinal min Mto desc
32	29	- 5	- 9
117	112	67	55
294	247	150	145
252	235	245	232
318	313	236	321
494	452	502	317
676	652	676	652

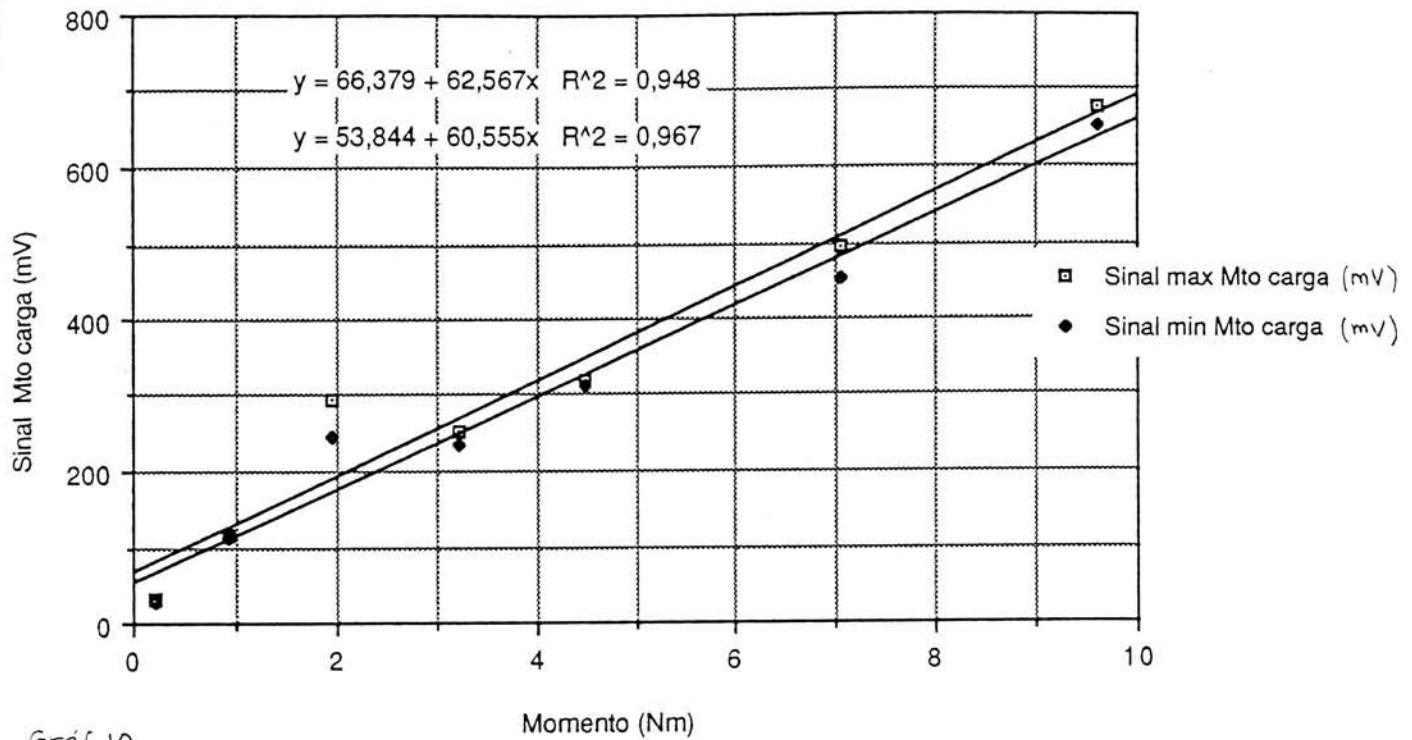
Tab. 8



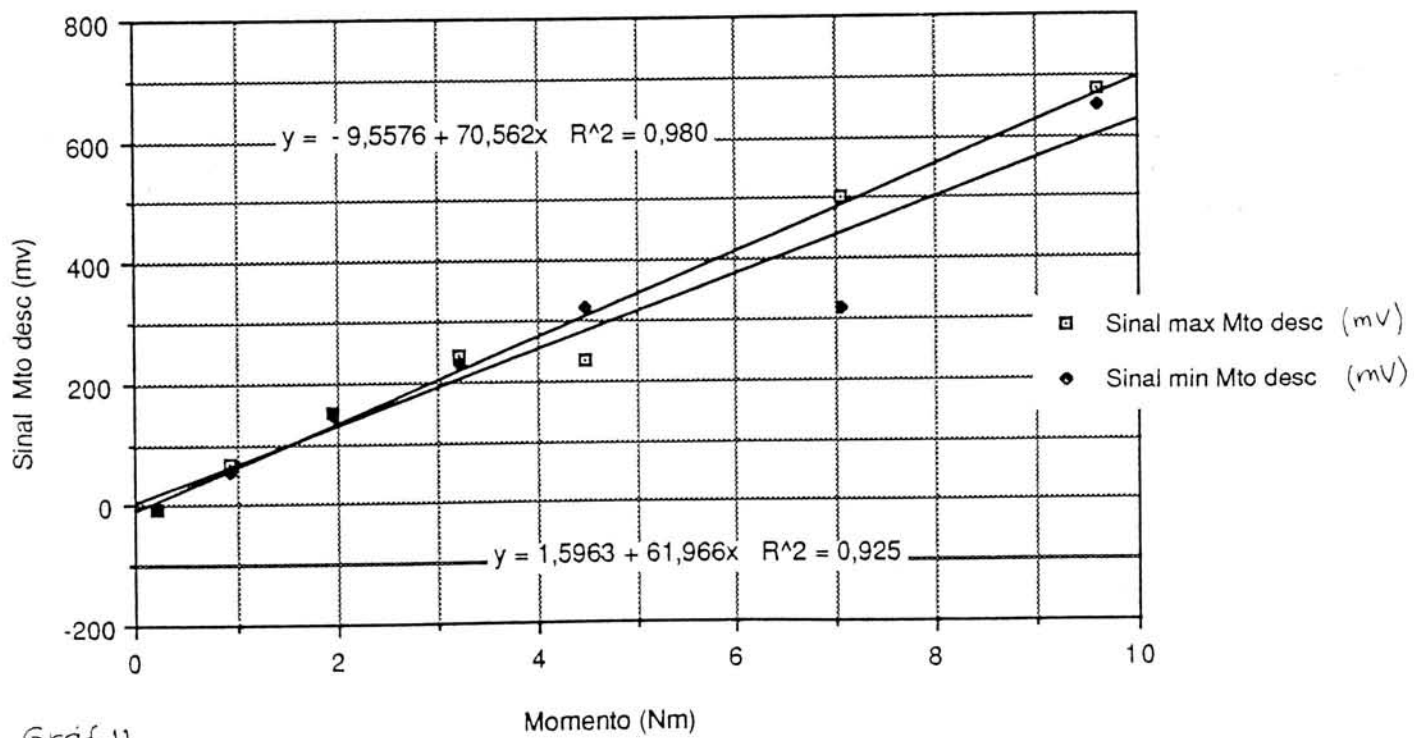
Gráf. 8



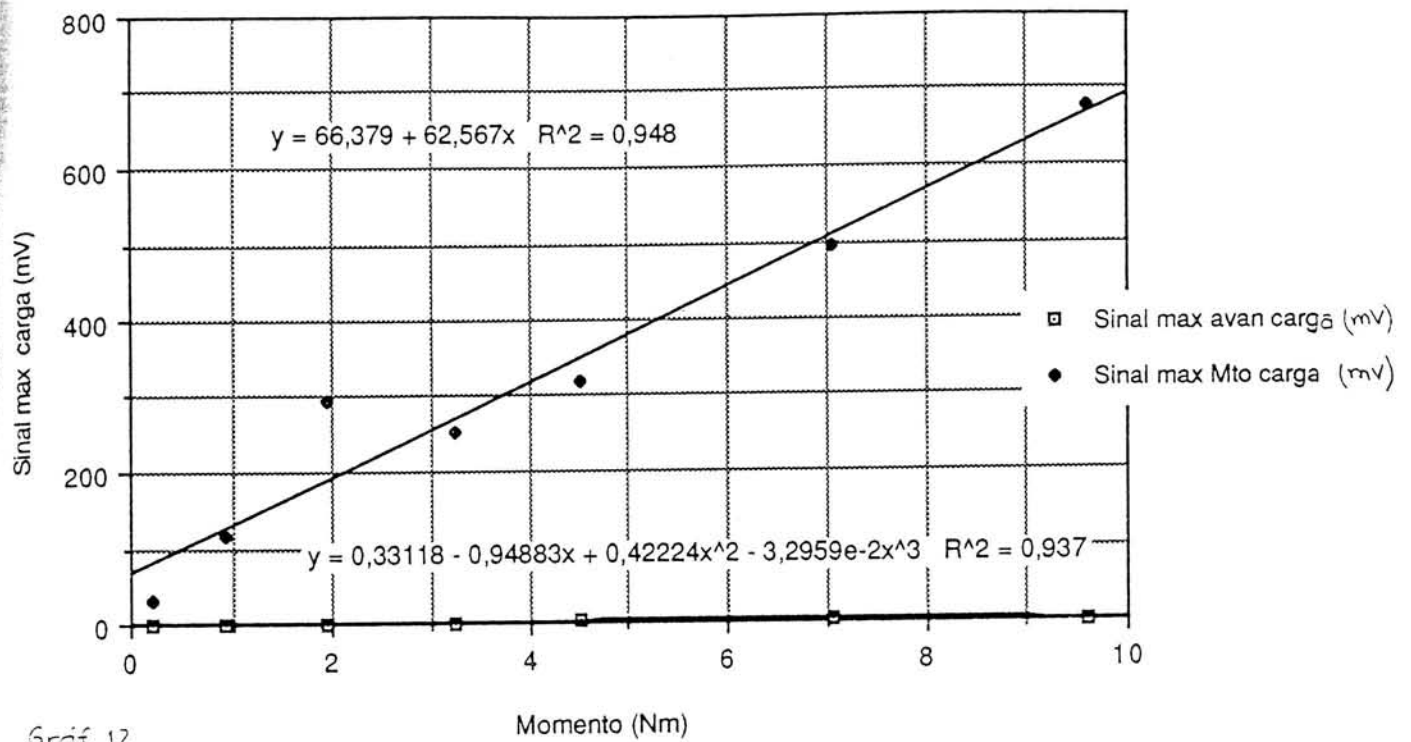
Gráf. 9



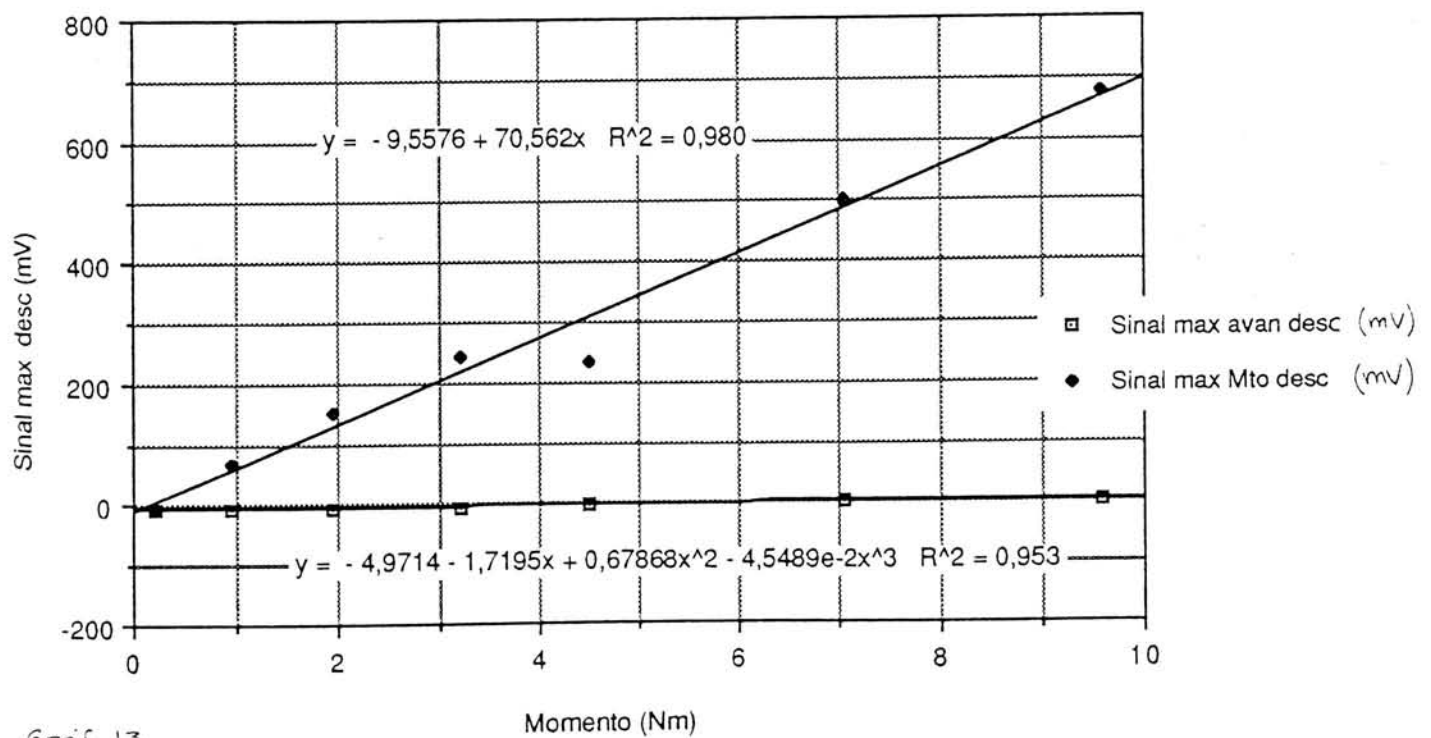
Gráf. 10



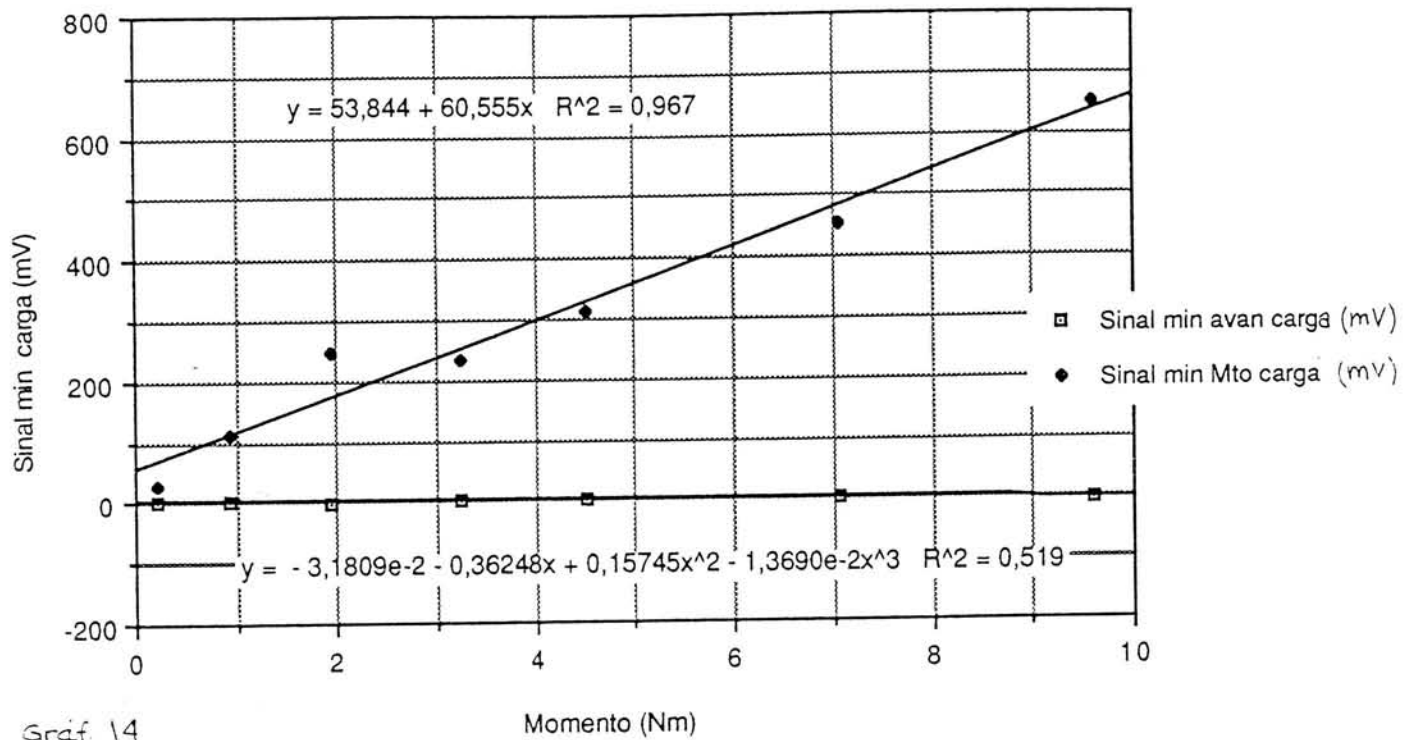
Gráf. 11



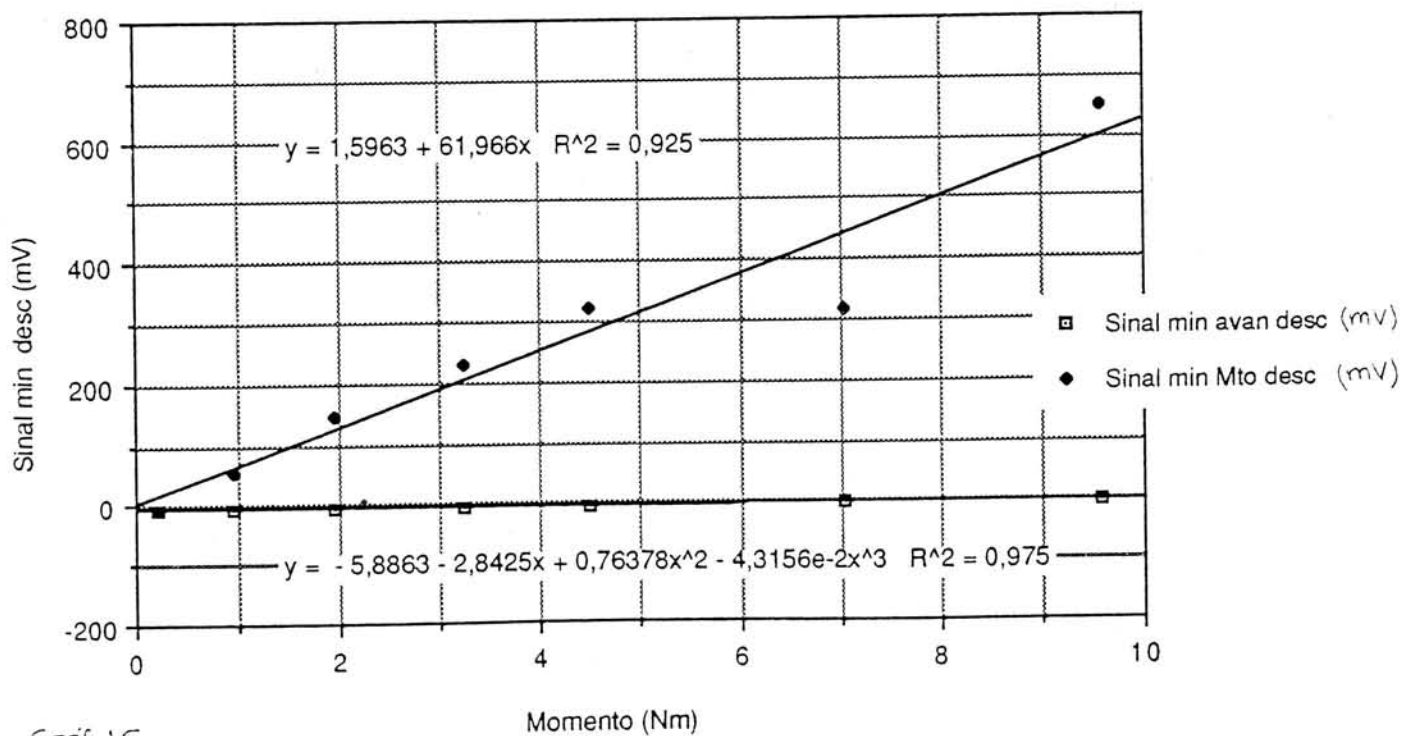
Gráf 12



Gráf 13



Gráf 14



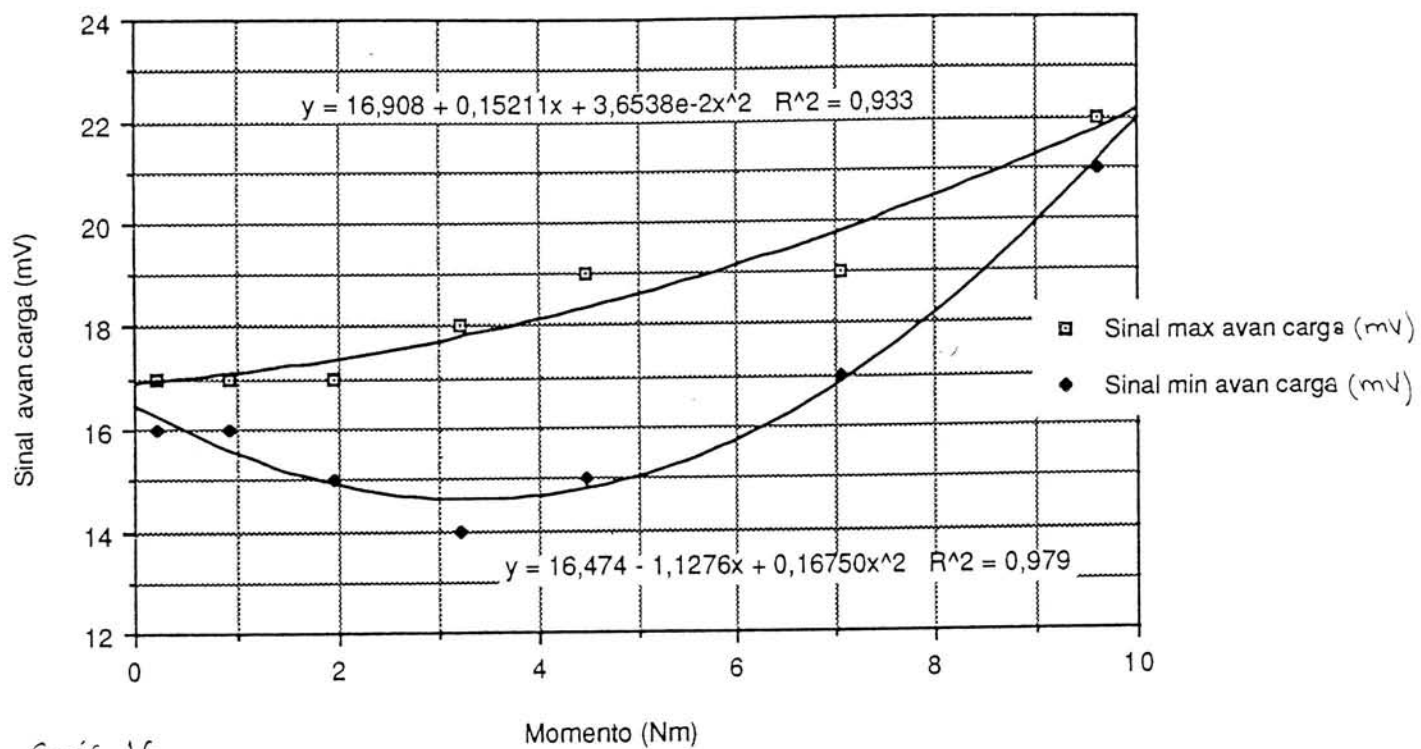
Gráf 15

TABELA AVANÇO 2 (19,6 N)

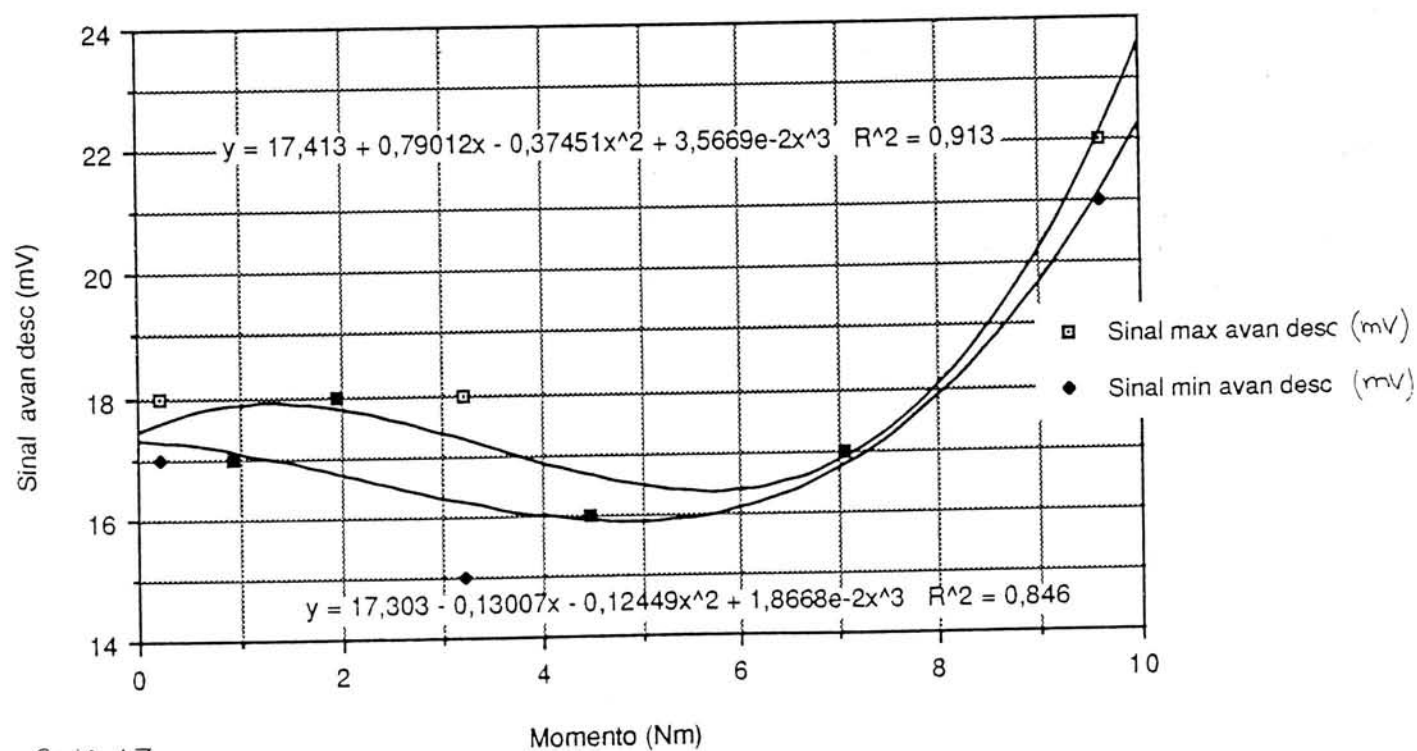
Momento (Nm)	Sinal max avan carga (mV)	Sinal min avan carga (mV)	Sinal max avan desc (mV)	Sinal min avan desc (mV)
0,221	17	16	18	17
0,936	17	16	17	17
1,949	17	15	18	18
3,223	18	14	18	15
4,497	19	15	16	16
7,045	19	17	17	17
9,593	22	21	22	21

Sinal max Mto carga	Sinal min Mto carga	Sinal max Mto desc	Sinal min Mto desc
8	0	0	-57
28	13	25	-40
117	44	70	3
243	110	128	77
246	175	195	172
317	253	286	260
412	404	412	404

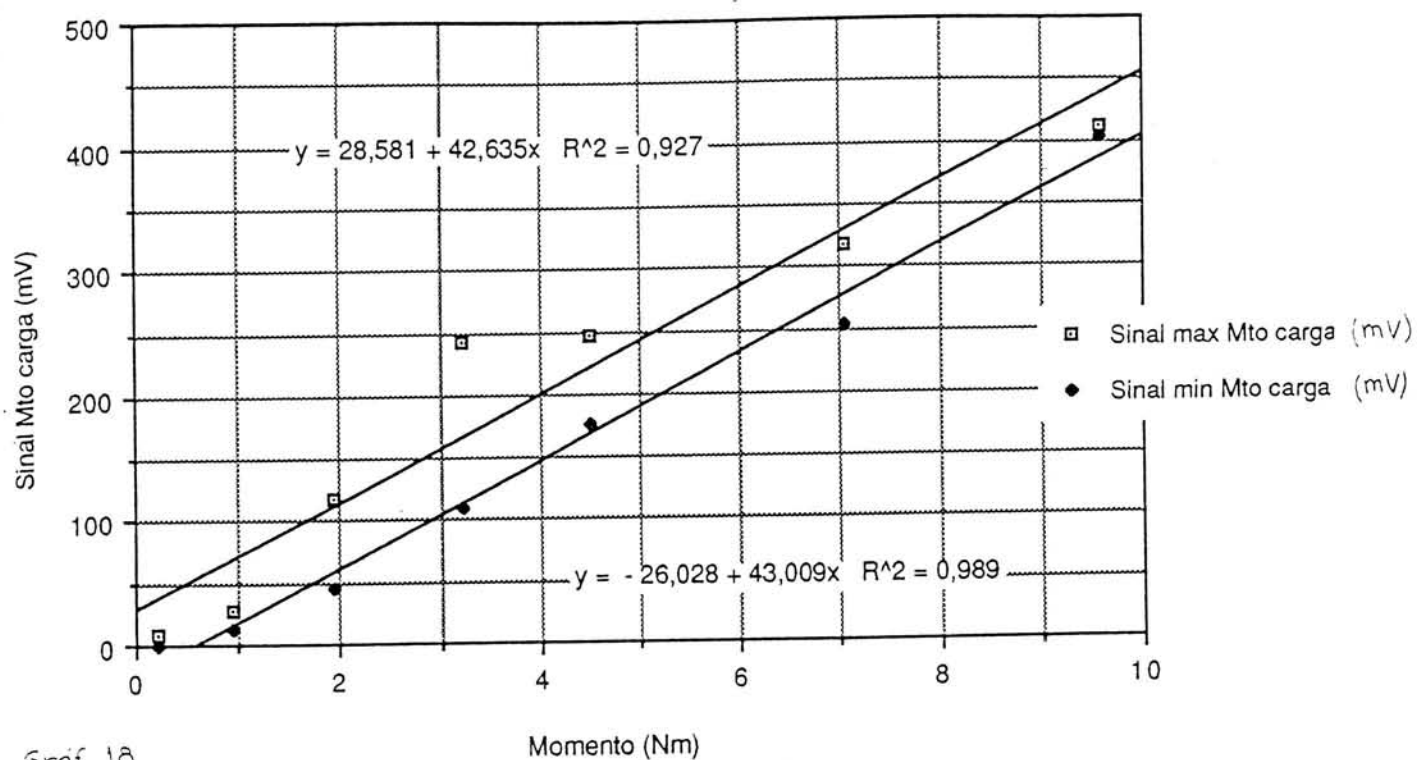
Tab. 9



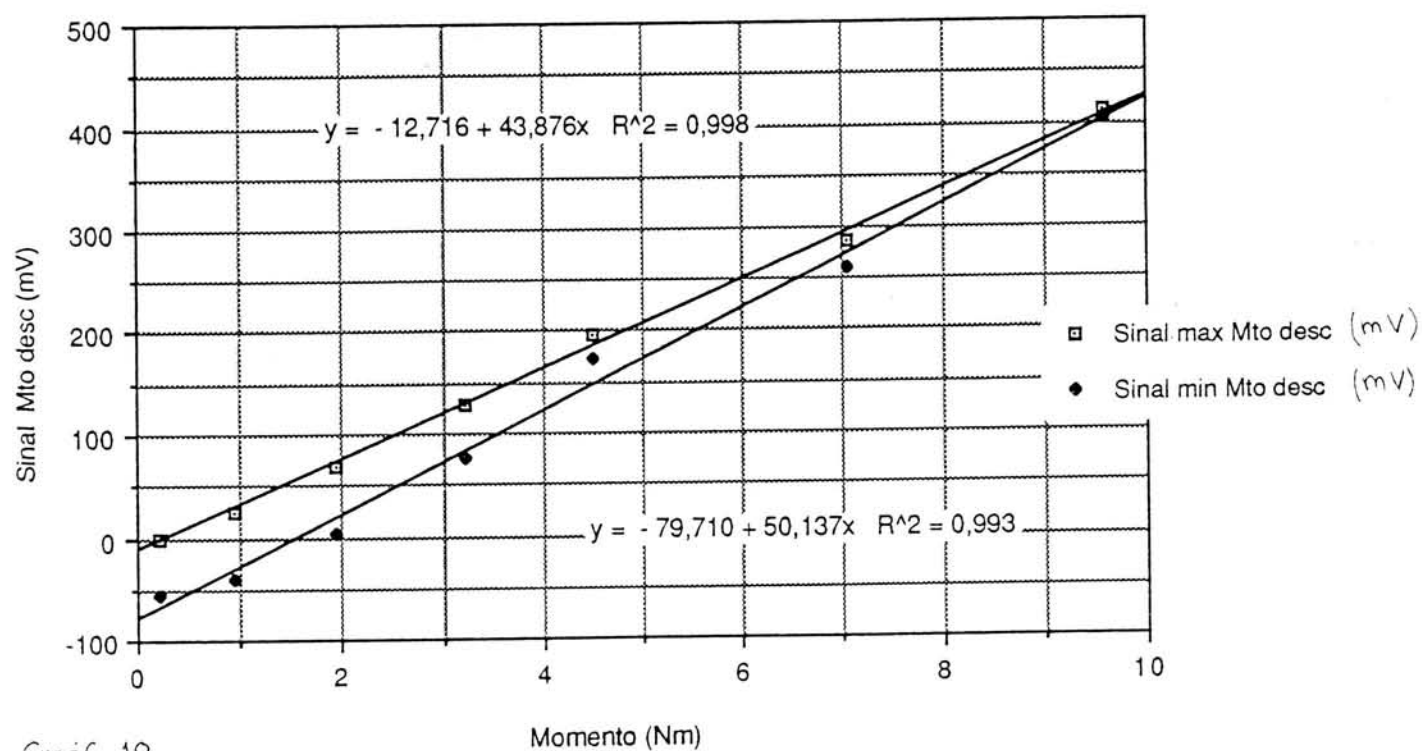
Gráf. 16



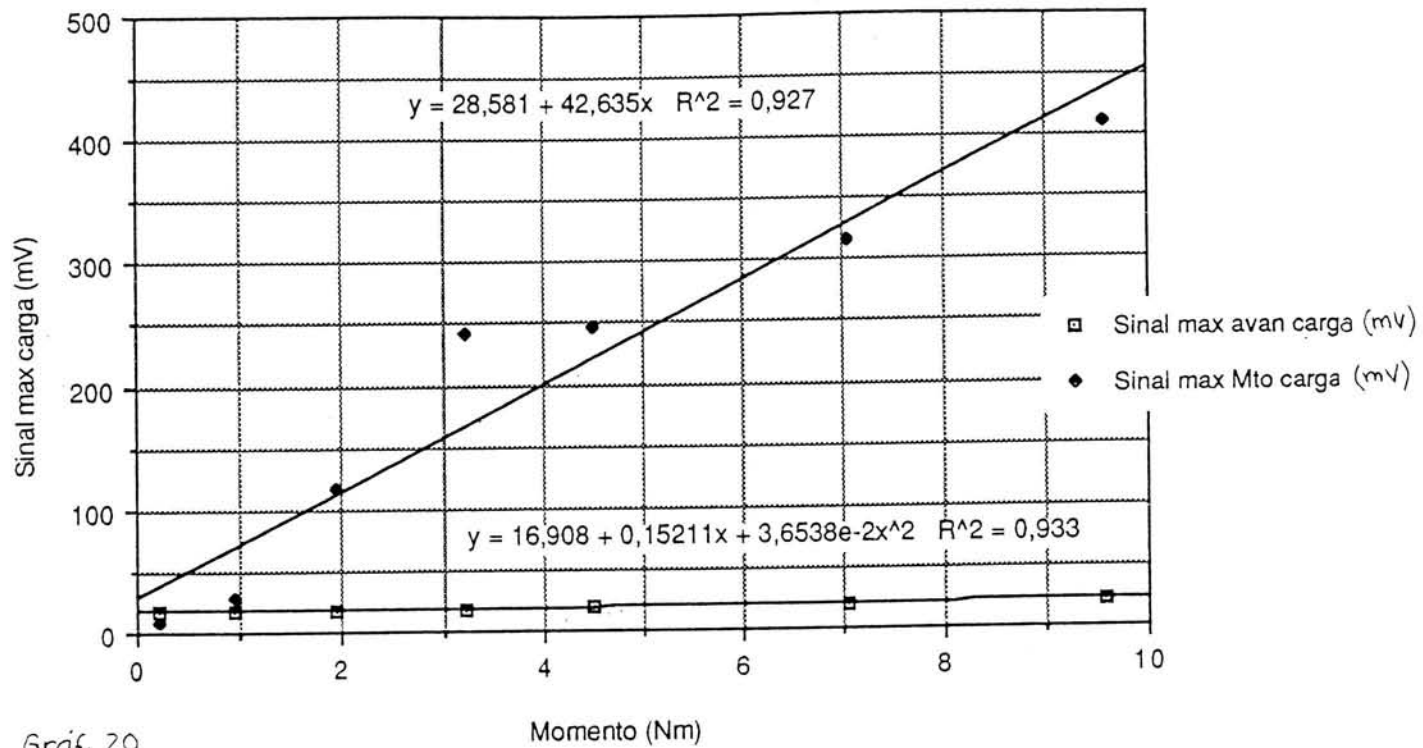
Gráf. 17



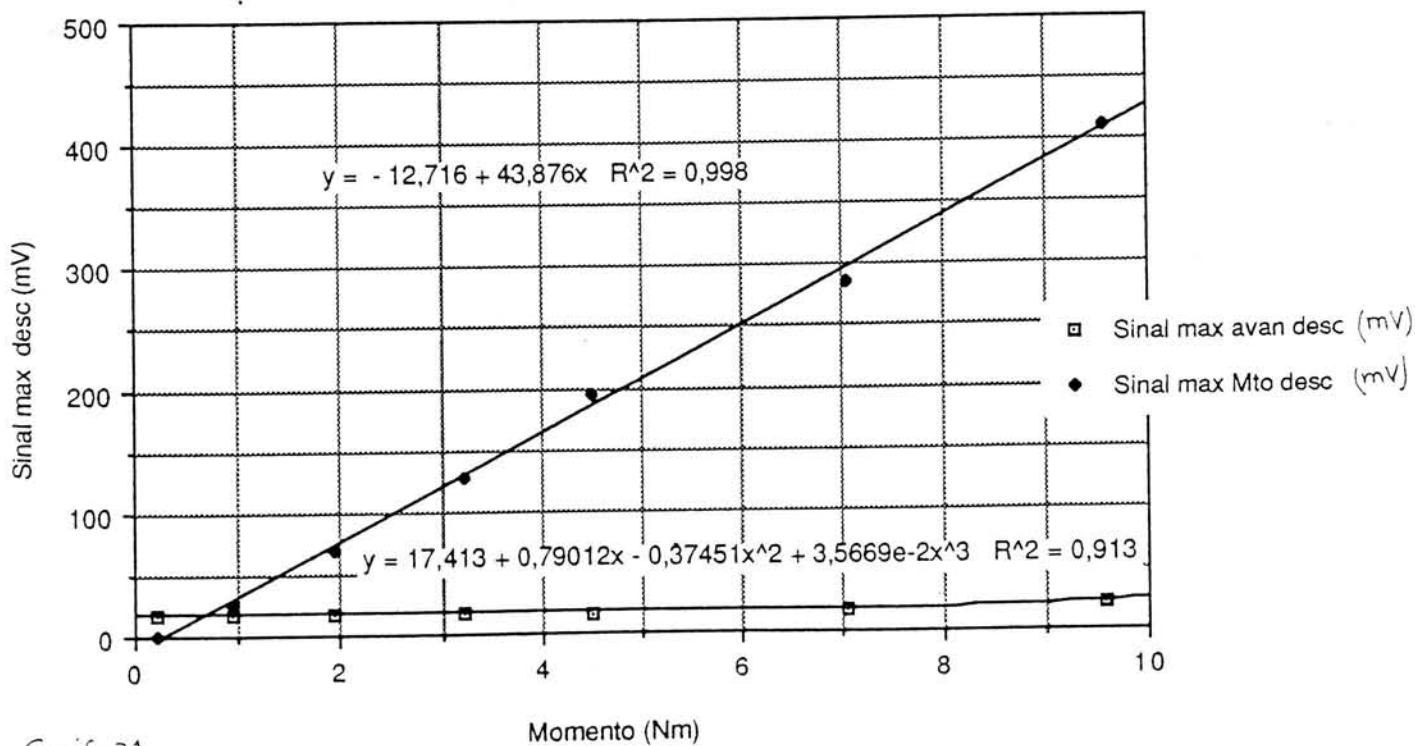
Gráf 18



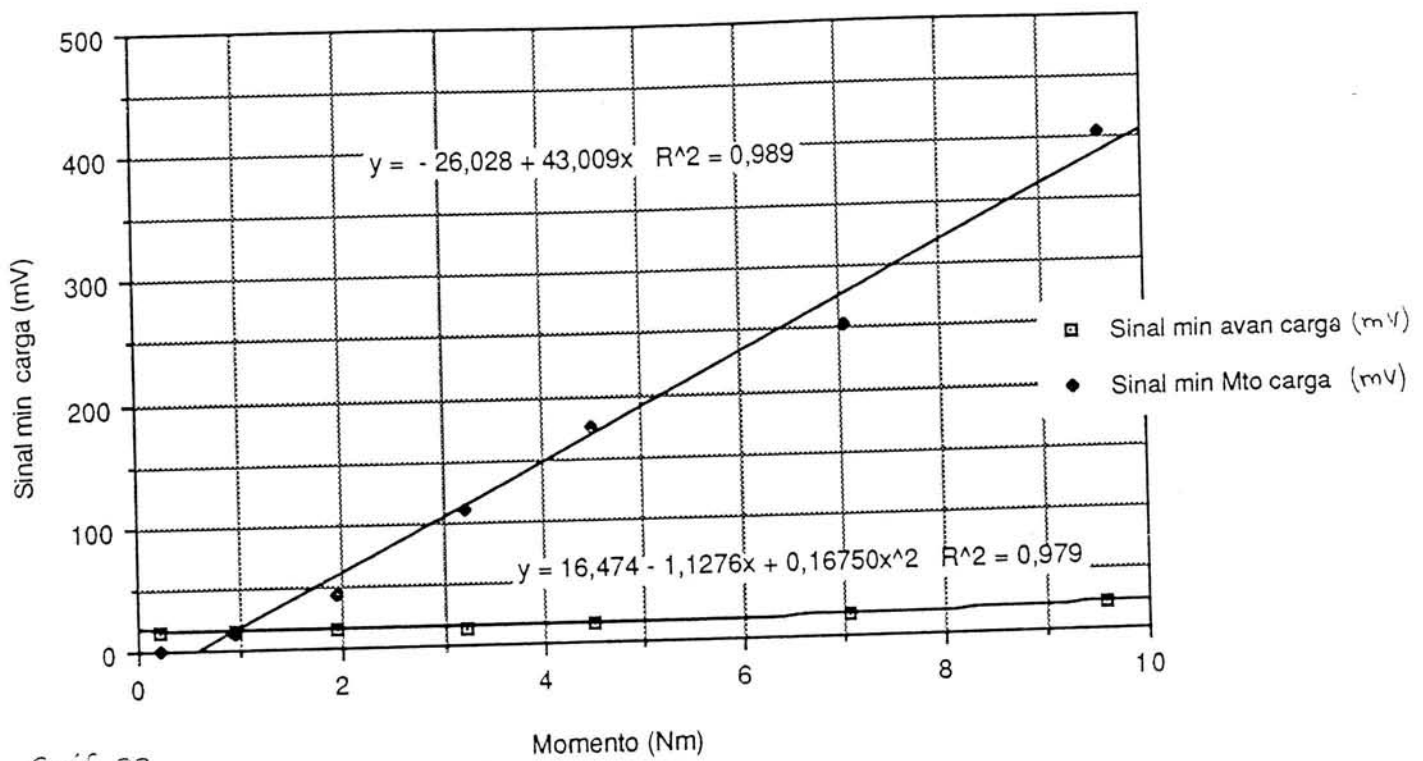
Gráf 19



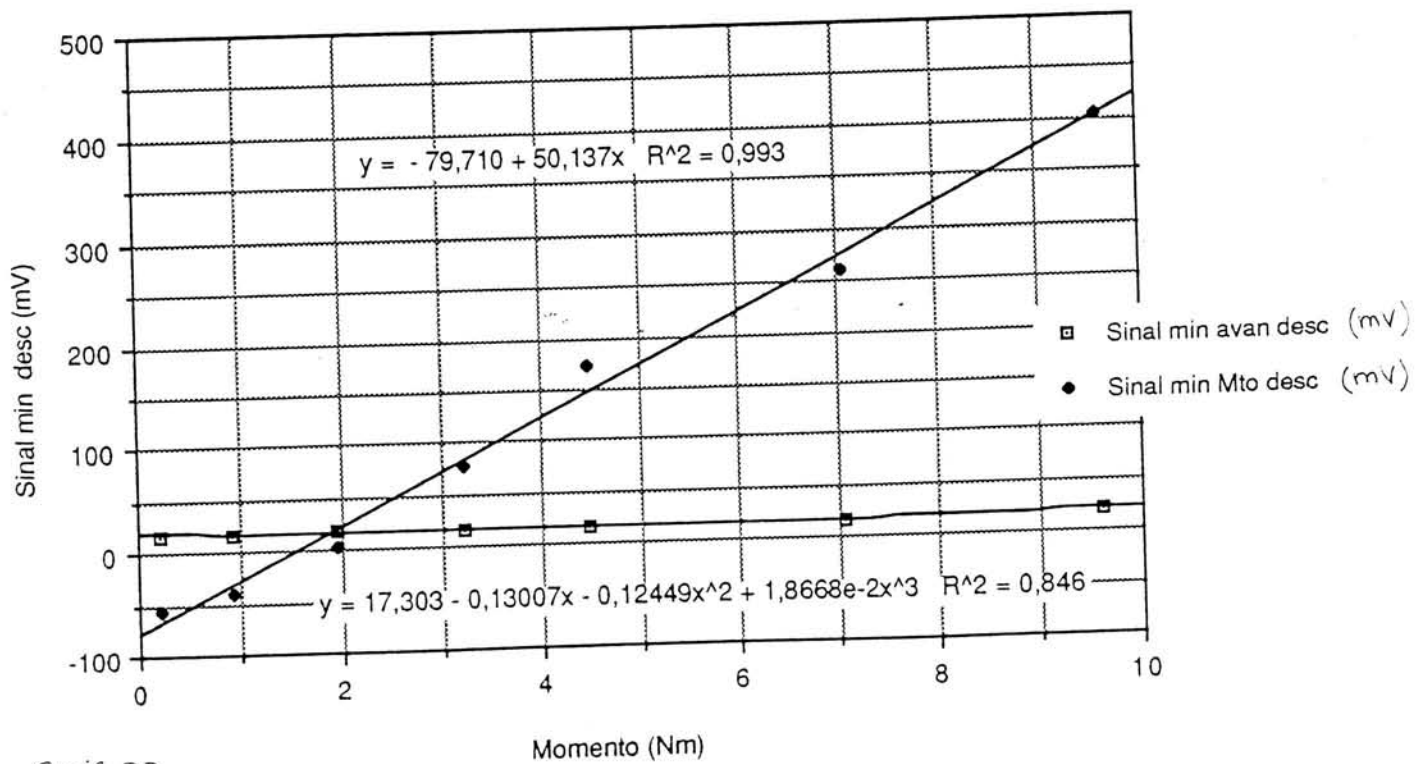
Gráf. 20



Gráf. 21



Gráf 22



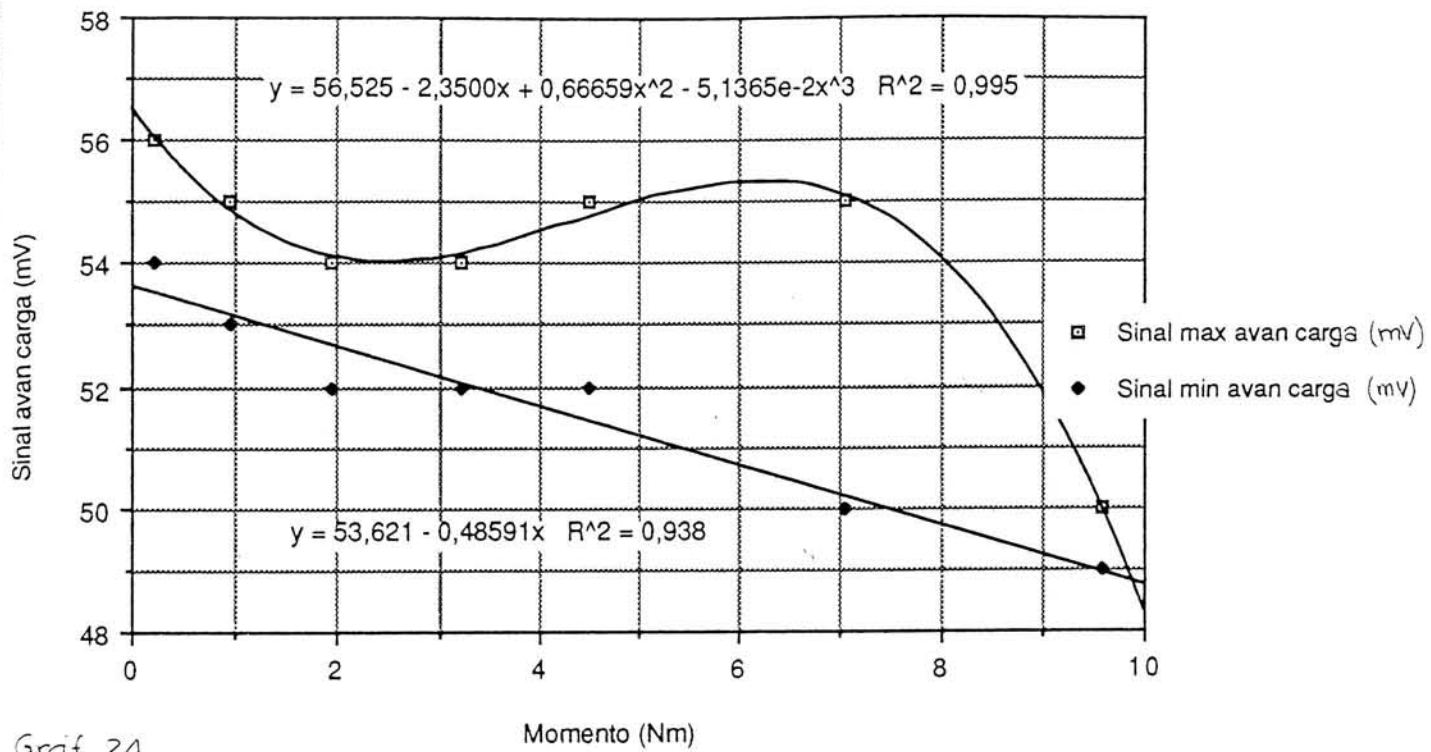
Gráf 23

TABELA AVANÇO 6 (58,8 N)

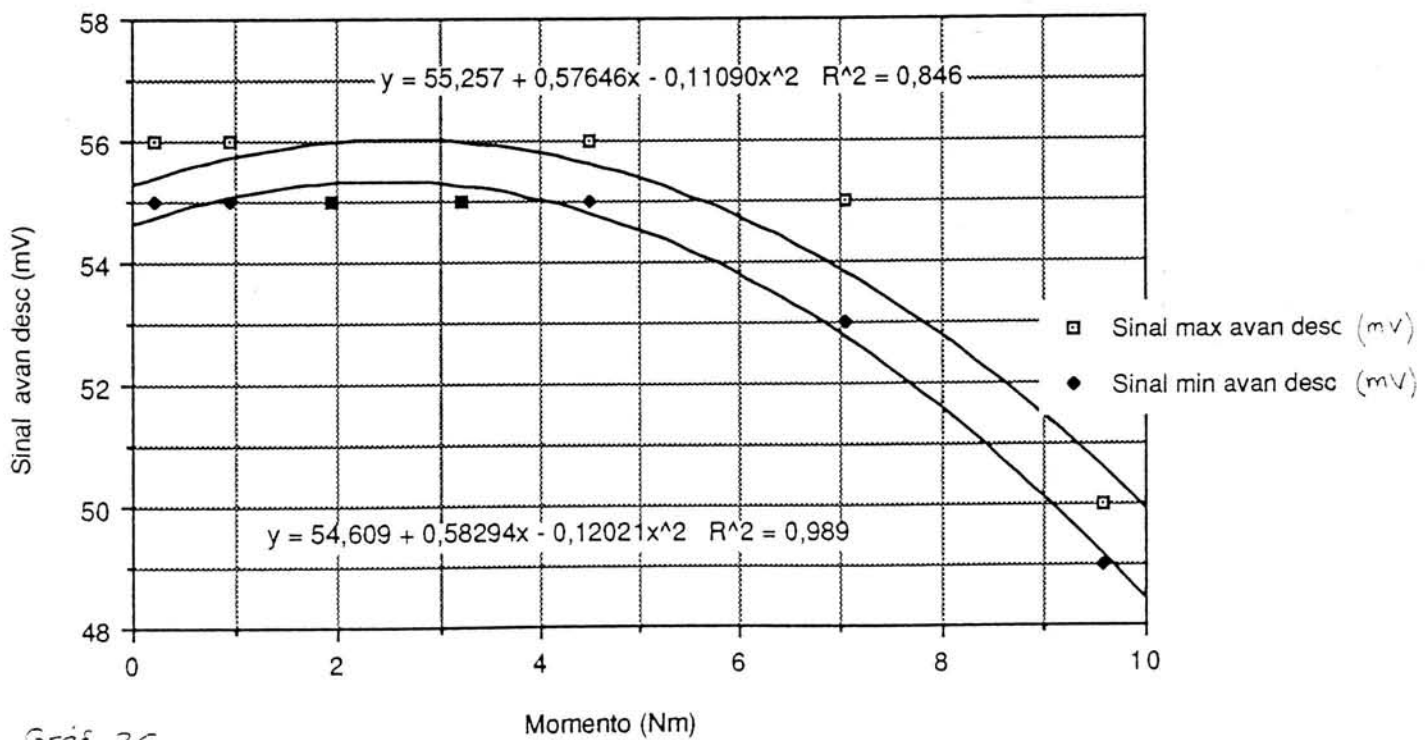
Momento (Nm)	Sinal max avan carga (mV)	Sinal min avan carga (mV)	Sinal max avan desc (mV)	Sinal min avan desc (mV)
0,221	56	54	56	55
0,936	55	53	56	55
1,949	54	52	55	55
3,223	54	52	55	55
4,497	55	52	56	55
7,045	55	50	55	53
9,593	50	49	50	49

Sinal max Mto carga	Sinal min Mto carga	Sinal max Mto desc	Sinal min Mto desc
15	4	- 8	- 74
20	11	8	- 66
59	57	55	- 17
127	114	124	40
221	193	205	135
278	260	279	217
424	344	424	344

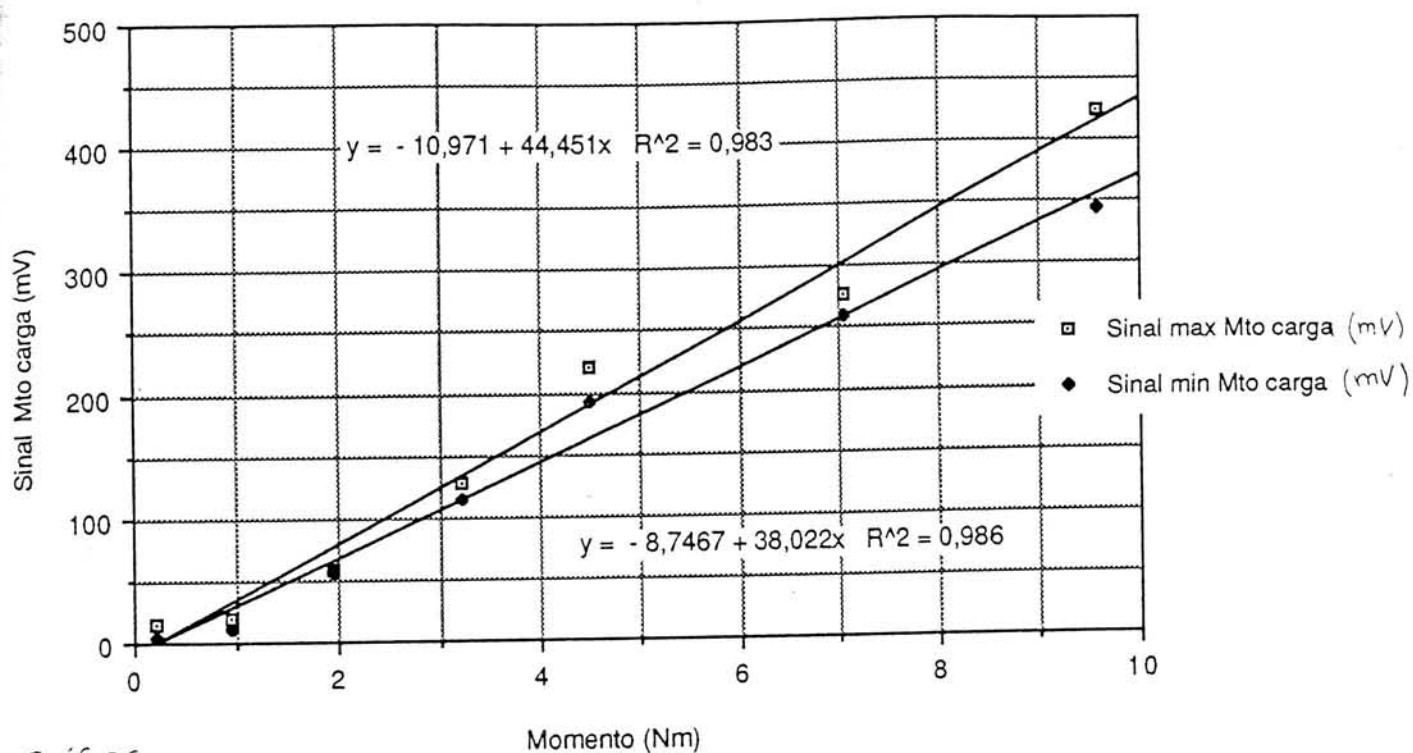
Tab. 10



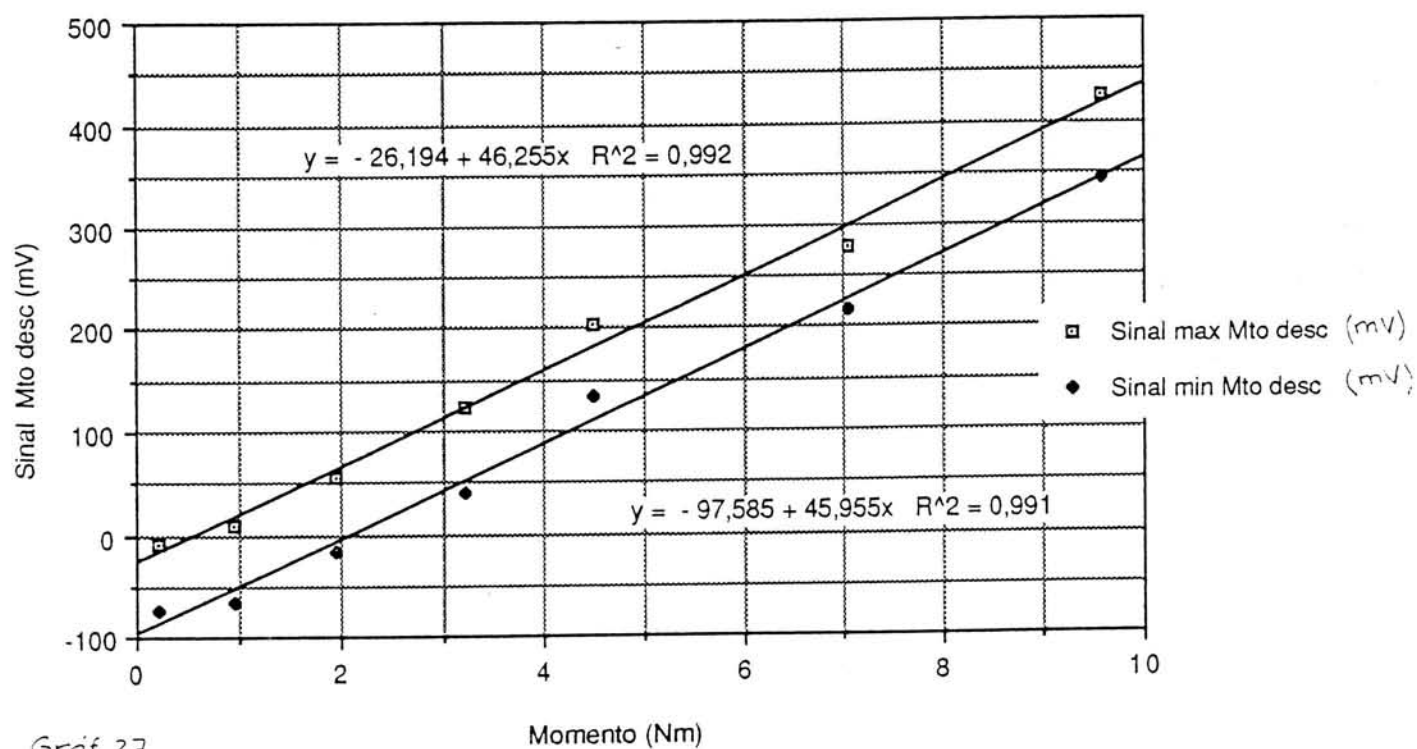
Gráf. 24



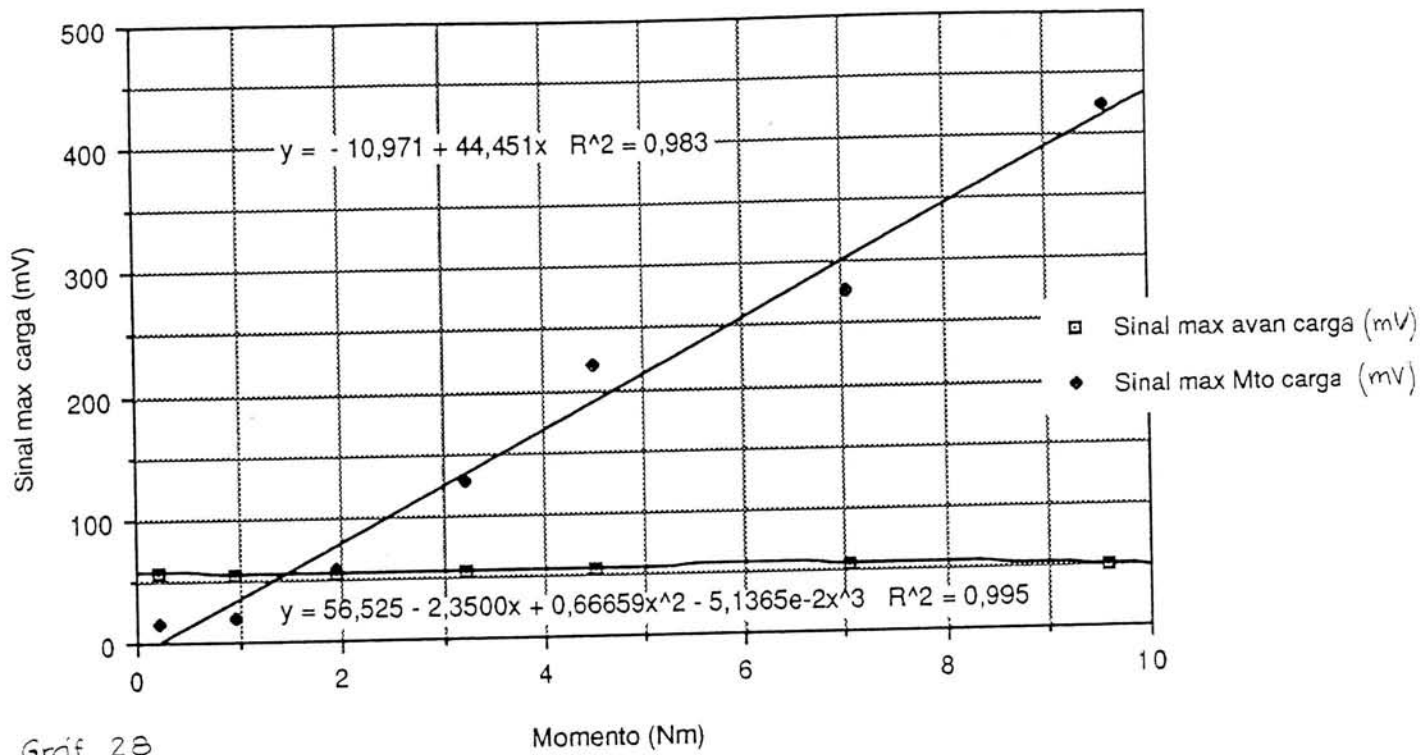
Gráf. 25



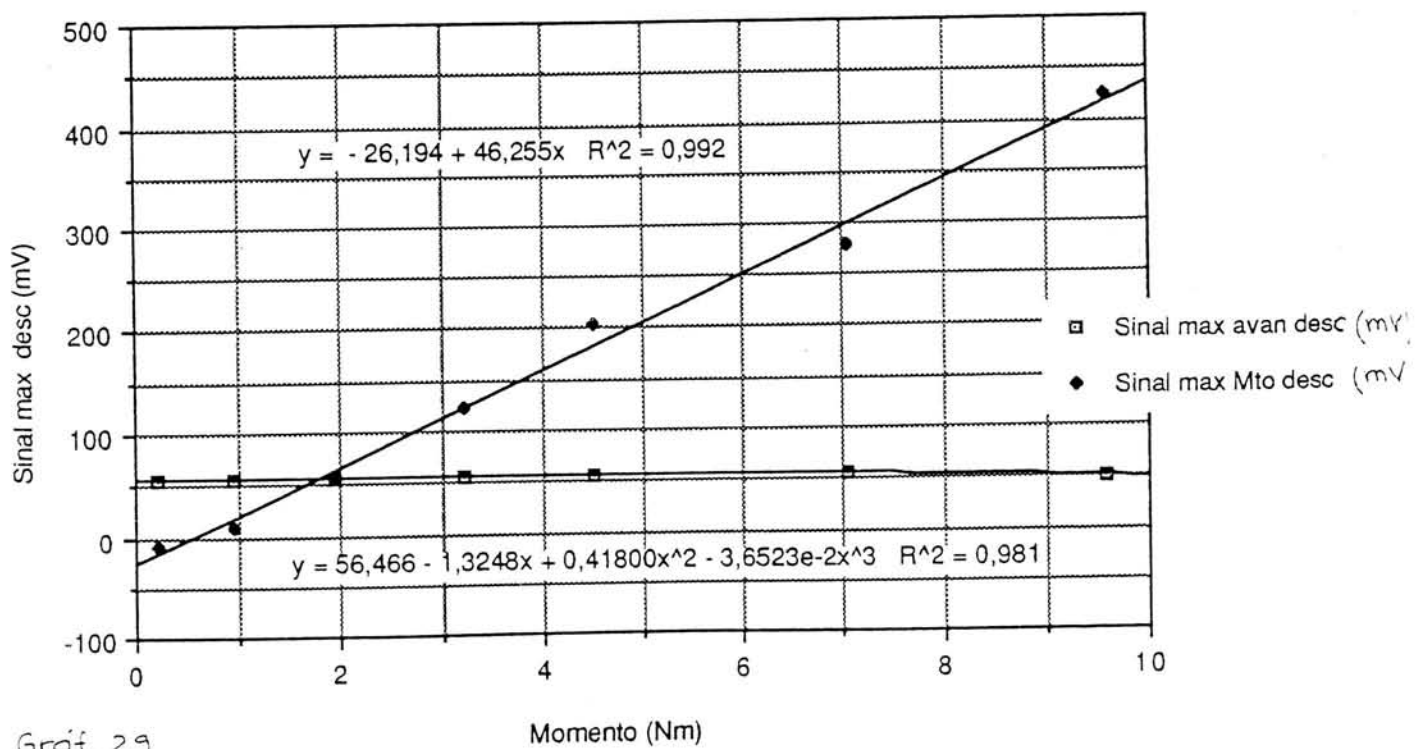
Gráf. 26



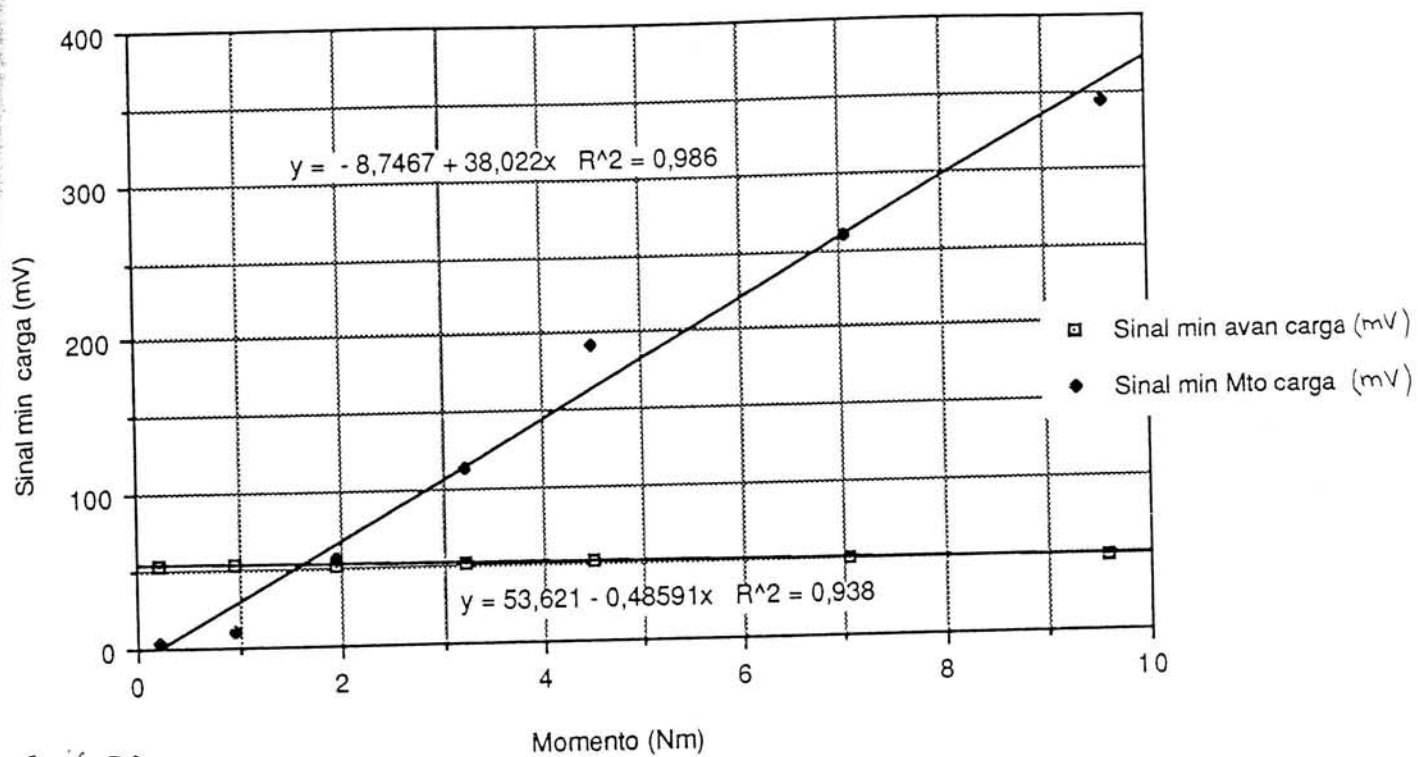
Gráf. 27



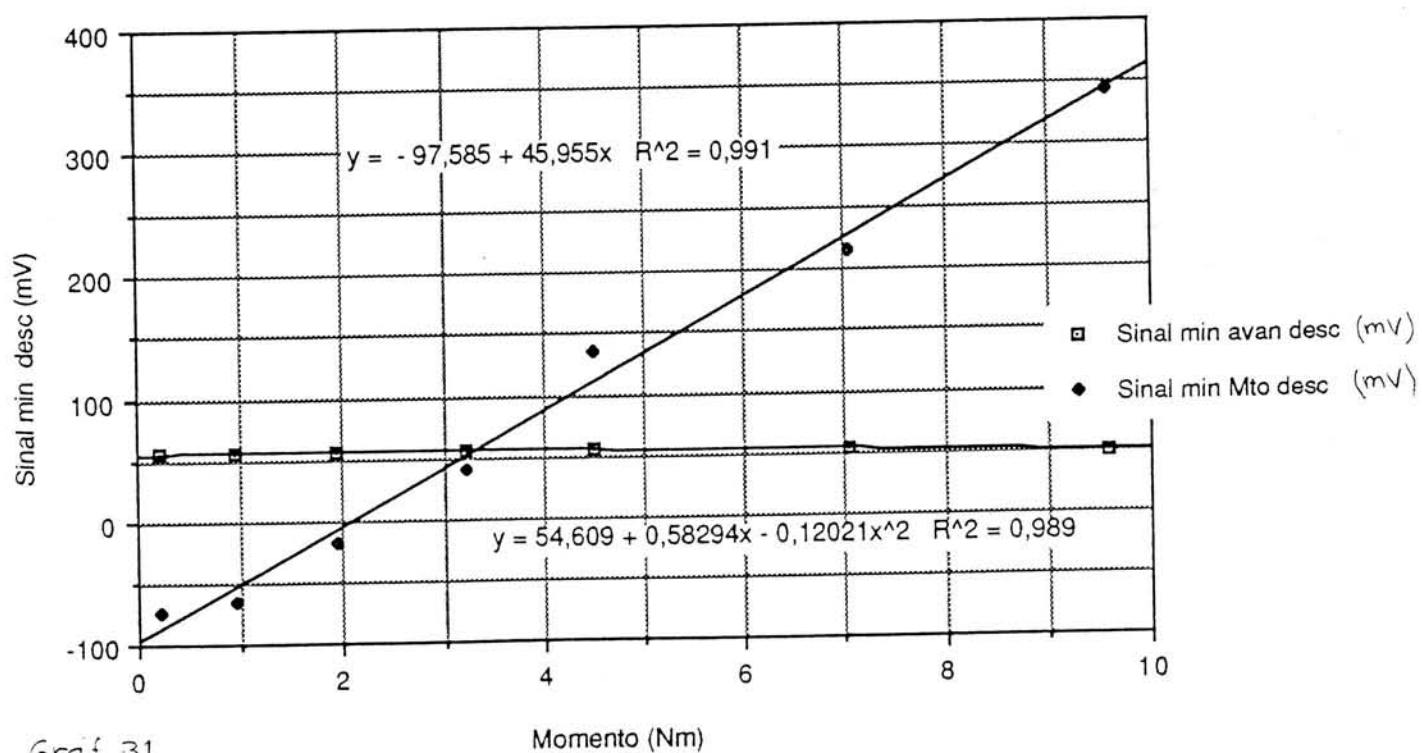
Gráf. 28



Gráf. 29



Gráf. 30



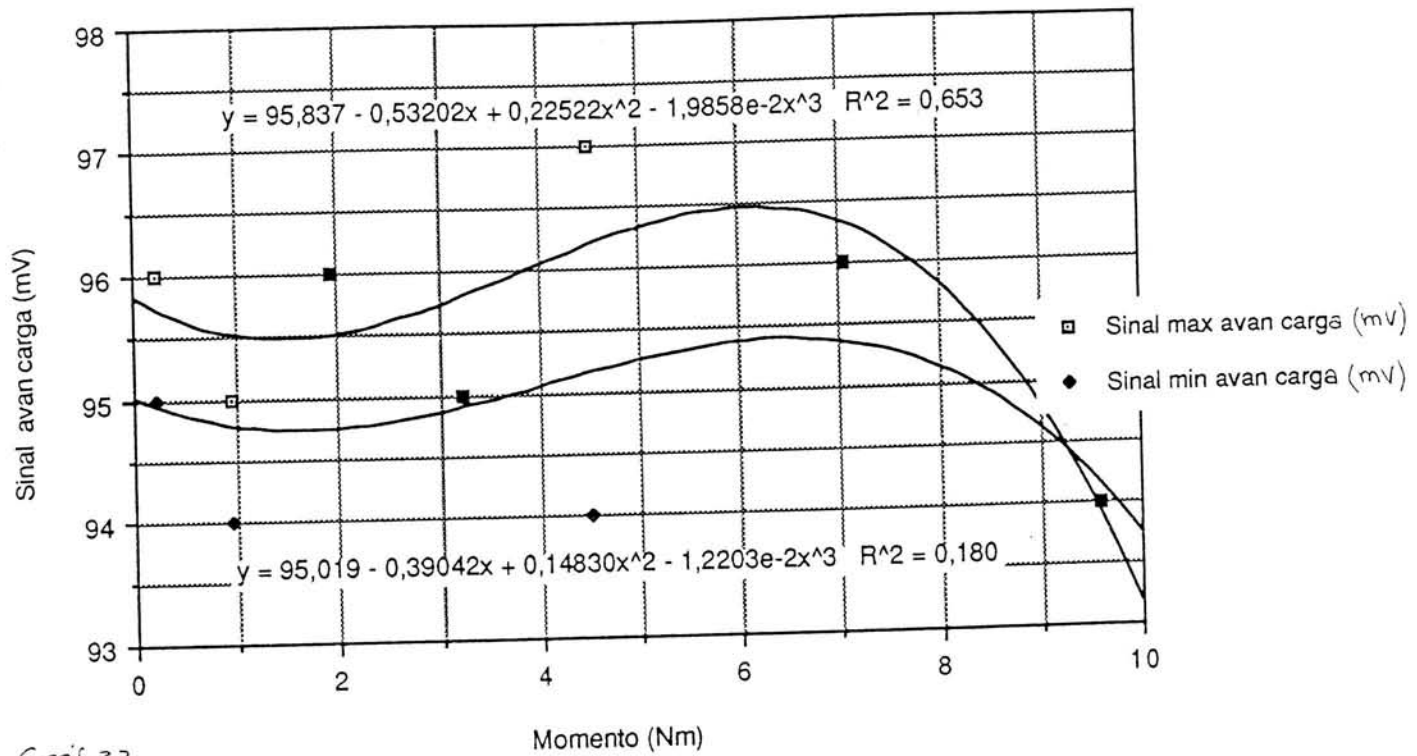
Gráf. 31

TABELA AVANÇO 10 (98 N)

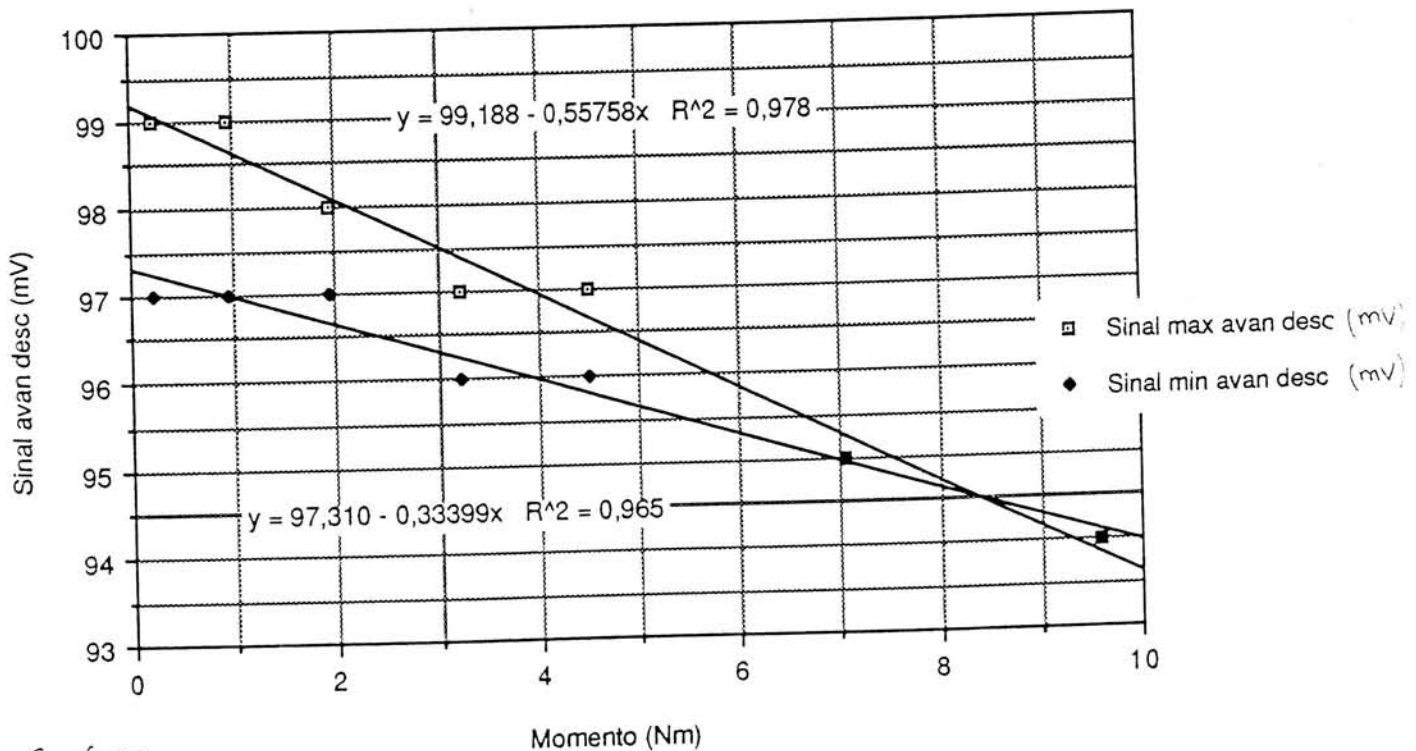
Momento (Nm)	Sinal max avan carga (mV)	Sinal min avan carga (mV)	Sinal max avan desc (mV)	Sinal min avan desc (mV)
0,221	96	95	99	97
0,936	95	94	99	97
1,949	96	96	98	97
3,223	95	95	97	96
4,497	97	94	97	96
7,045	96	96	95	95
9,593	94	94	94	94

Sinal max Mto carga	Sinal min Mto carga	Sinal max Mto desc	Sinal min Mto desc
30	12	- 5	-33
47	18	- 2	-25
96	69	73	20
140	125	133	81
225	208	217	173
287	272	294	242
455	405	455	405

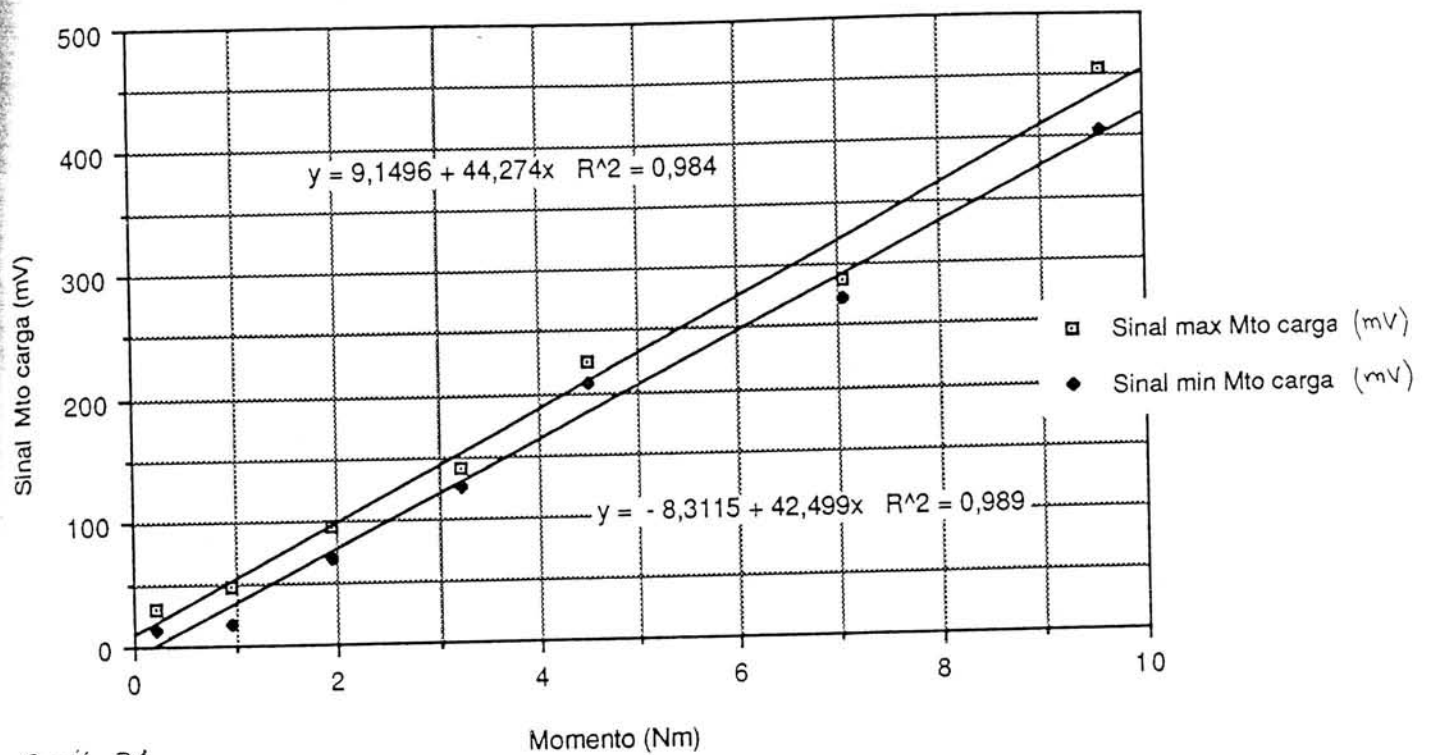
Tab. 11



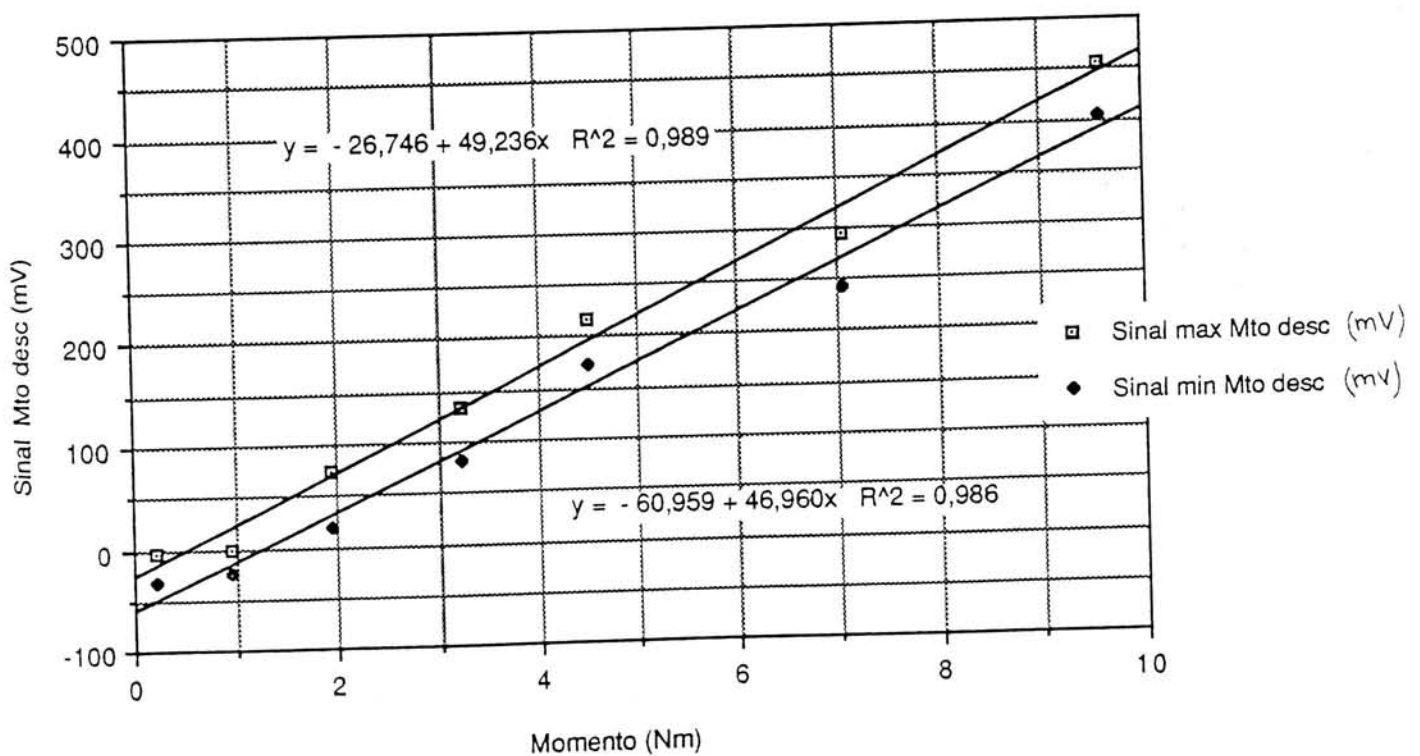
Gráf. 32



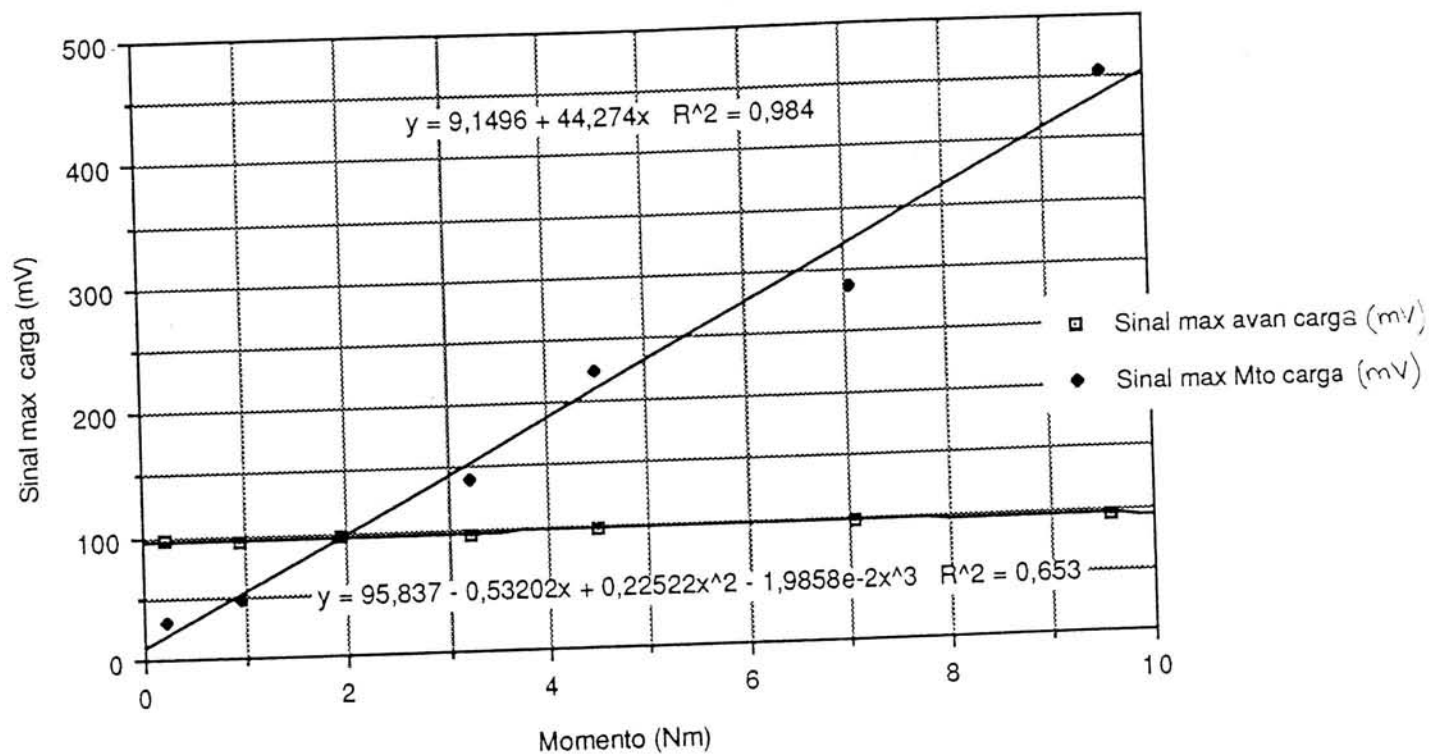
Gráf. 33



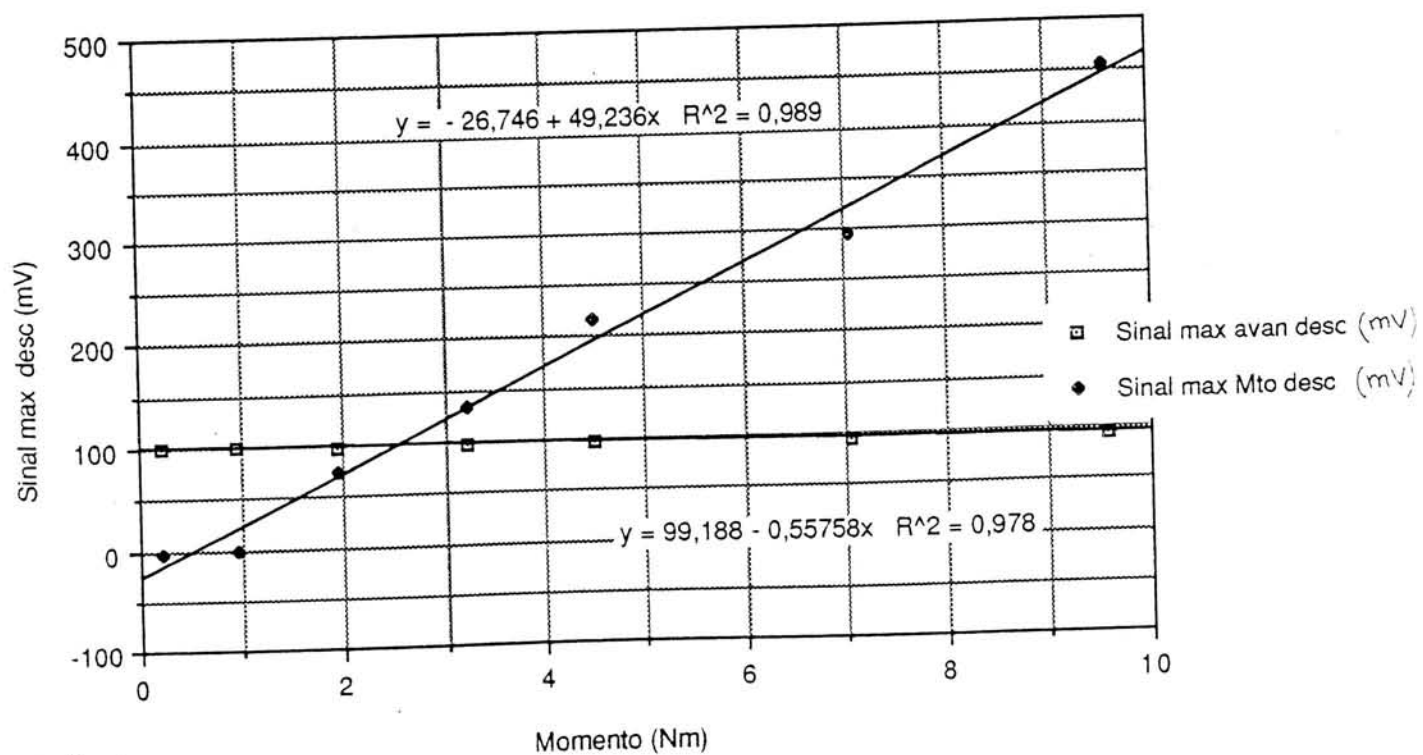
Gráf. 34



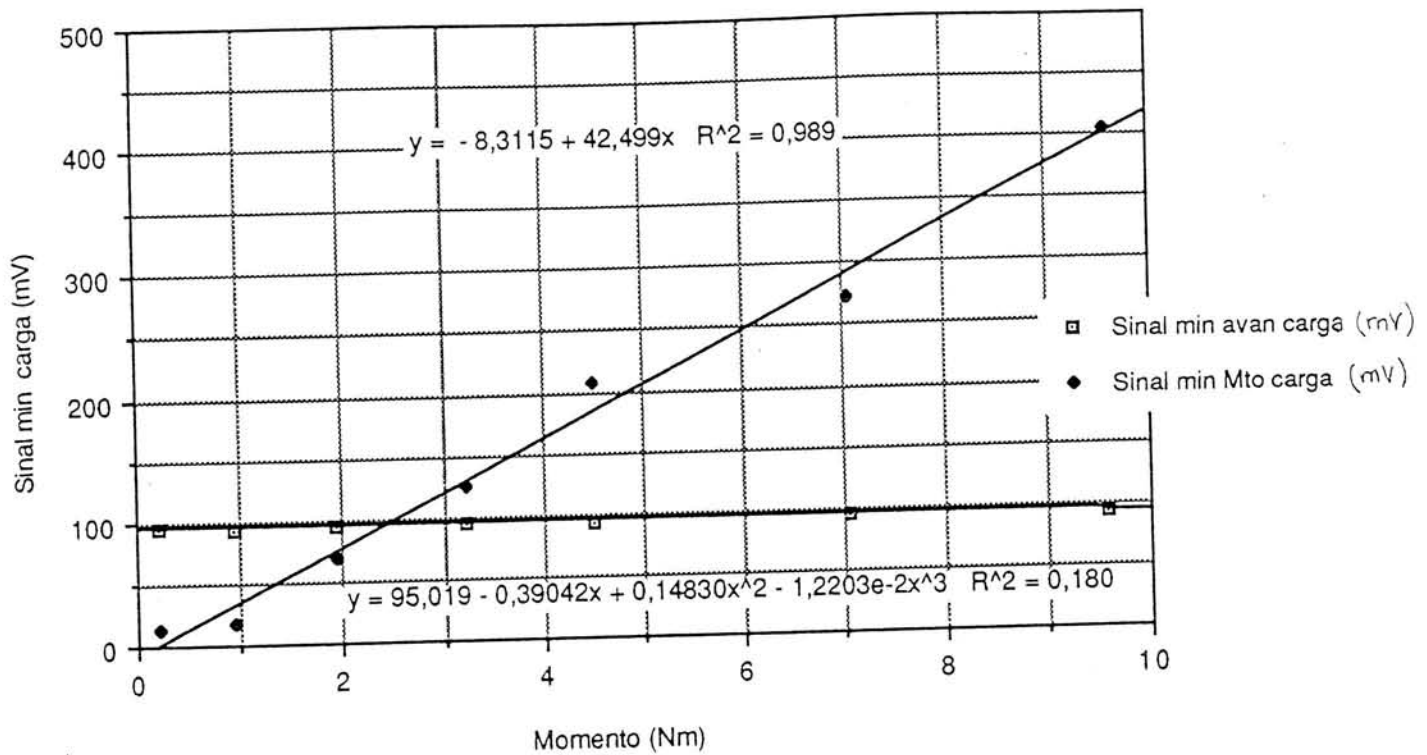
Gráf. 35



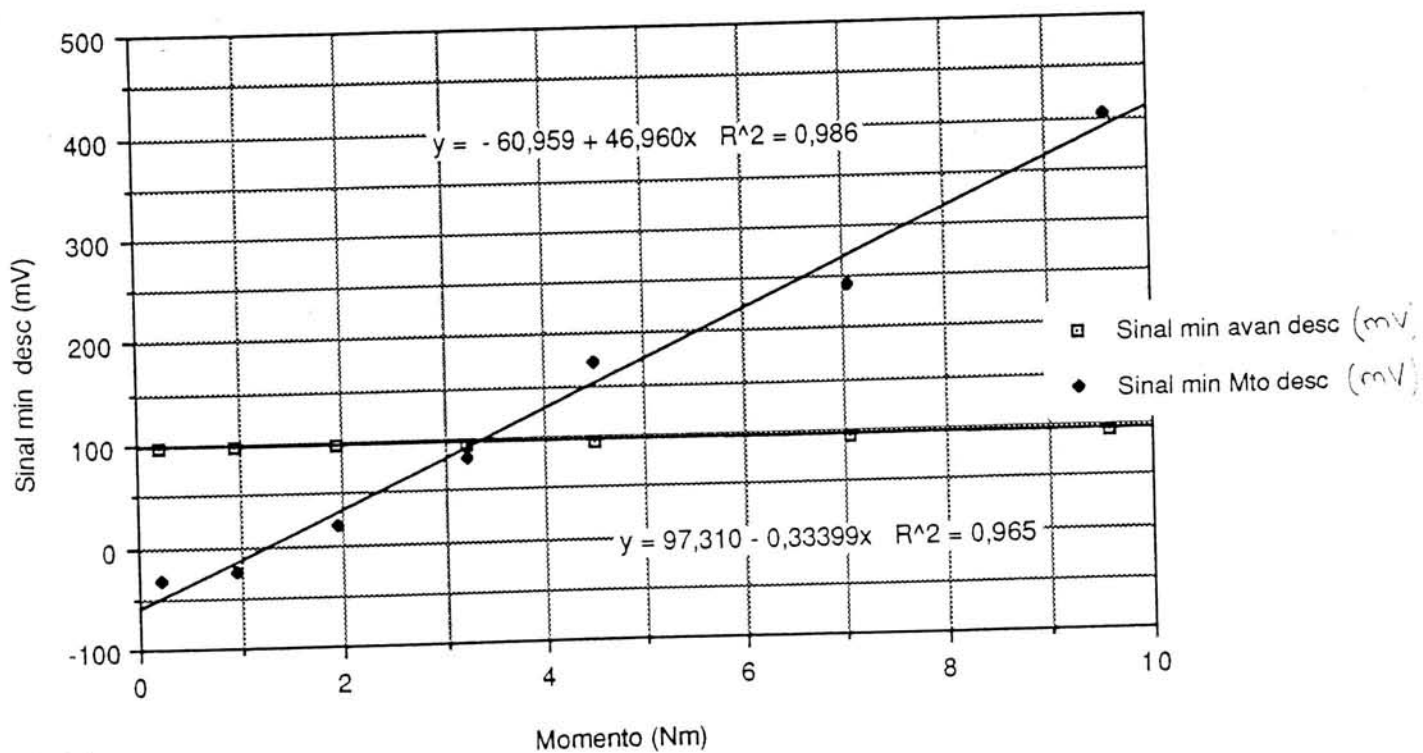
Gráf 36



Gráf. 37



Gráf. 38



Gráf. 39

3.3.3 - ANÁLISE DE RESULTADOS

Para o avanço 0, os resultados mostram que a variação do momento praticamente não altera o sinal de avanço em carga nem em descarga, conforme se verifica nos gráficos 8 e 9.

Os gráficos 10 e 11 dão-nos a banda de erro para os valores máximos e mínimos do sinal do momento em carga e em descarga.

Os gráficos 12, 13, 14 e 15 mostram que para variações do momento o sinal do avanço se mantém praticamente constante.

Para os avanços de 19.6, 58.8 e 98 N os resultados são semelhantes aos verificados para o avanço 0.

Os gráficos de 16 a 39 comprovam o descrito anteriormente.

3.4 - LEITURA DOS AVANÇOS COM MOMENTOS CONSTANTES

3.4.1 - DESCRIÇÃO DO ENSAIO

Para cargas de momentos constantes de 0, 1.7, 7.2 e 10.3 N.m foi variada a carga para o avanço entre os valores de 0 e 254.8 N. Com estes valores mediu-se o sinal em carga e descarga tanto para o avanço como para o momento.

Foi efectuado um estudo completo para cada uma das cargas de momentos.

3.4.2 - TABELAS E GRÁFICOS

1ª LEITURA MOMENTO Cte

MOMENTO (Nm)	AVANÇO (N)	Sinal avan carga (mV)	Sinal avan desc (mV)	Sinal Mto carga (mV)	Sinal Mto desc (mV)
0,0	0,0	0	7	0	- 2
0,0	19,6	18	29	0	0
0,0	39,2	34	50	4	2
0,0	58,8	53	70	7	6
0,0	78,4	73	92	6	5
0,0	98,0	94	114	11	6
0,0	117,6	115	134	13	10
0,0	156,8	159	174	17	17
0,0	254,8	262	262	31	31
1,7	0,0	0	3	36	38
1,7	19,6	17	25	42	39
1,7	39,2	35	47	47	36
1,7	58,8	54	66	49	40
1,7	78,4	74	84	52	41
1,7	98,0	94	113	52	38
1,7	117,6	113	132	54	42
1,7	156,8	155	169	60	53
1,7	254,8	262	262	72	72
7,2	0,0	3	4	107	114
7,2	19,6	19	26	112	115
7,2	39,2	37	48	120	110
7,2	58,8	57	70	114	108
7,2	78,4	76	89	120	109
7,2	98,0	97	112	126	114
7,2	117,6	120	132	126	118
7,2	156,8	156	169	130	126
7,2	254,8	261	261	145	145
10,3	0,0	2	5	153	159
10,3	19,6	21	27	157	157
10,3	39,2	38	49	164	157
10,3	58,8	57	69	160	157
10,3	78,4	78	93	159	151
10,3	98,0	98	112	165	155
10,3	117,6	117	133	171	157
10,3	156,8	158	173	176	166
10,3	254,8	263	263	183	183

2ª LEITURA MOMENTO cte

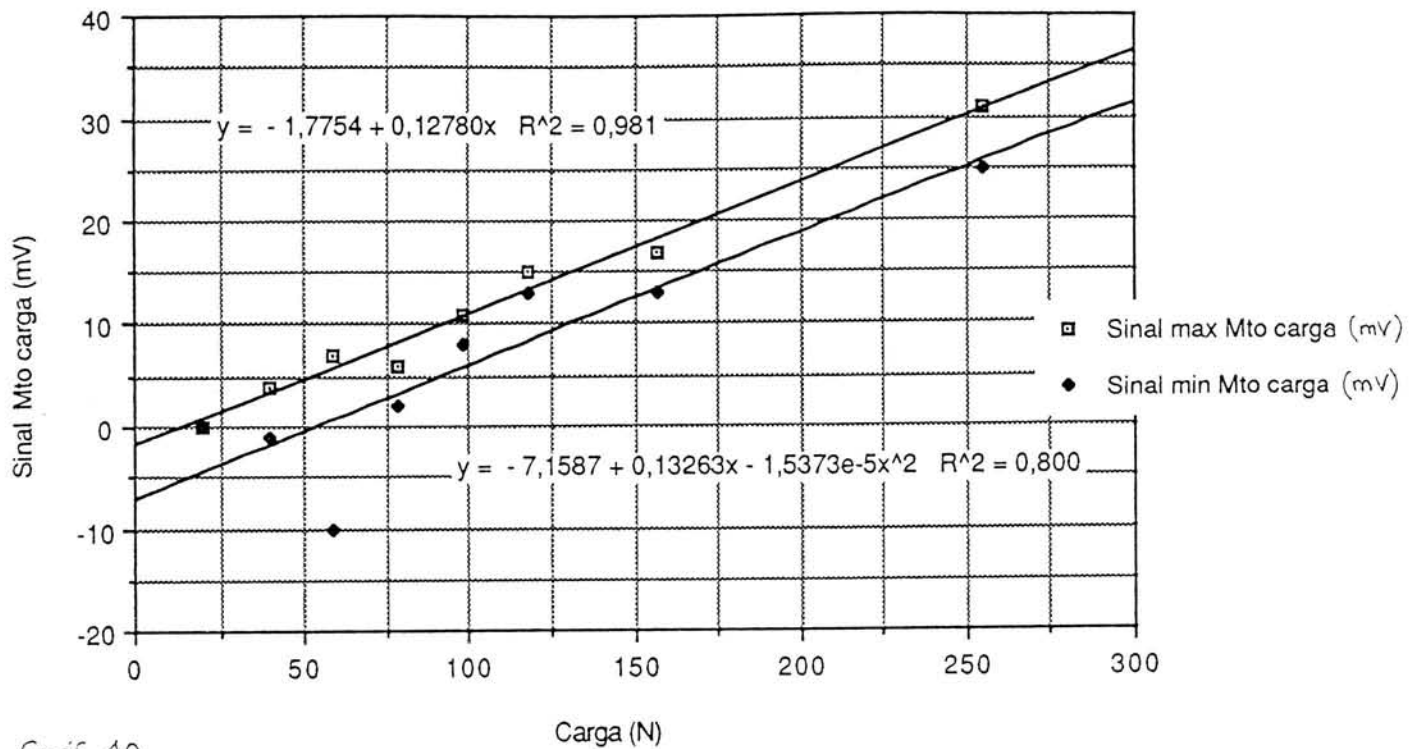
Momento (Nm)	Avanço (N)	Sinal avan carga (mV)	Sinal avan desc (mV)	Sinal Mto carga (mV)	Sinal Mto desc (mV)
0,0	0,0	0	0	0	-2,000
0,0	19,6	18	22	0	-1,000
0,0	39,2	35	43	-1	0,000
0,0	58,8	53	66	-10	-6,000
0,0	78,4	74	87	2	-3,000
0,0	98,0	93	109	8	3,000
0,0	117,6	112	130	15	11,000
0,0	156,8	154	169	13	17,000
0,0	254,8	260	260	25	25,000
1,7	0,0	0	1	26	28,000
1,7	19,6	16	24	29	30,000
1,7	39,2	34	46	37	30,000
1,7	58,8	54	69	37	25,000
1,7	78,4	78	90	35	26,000
1,7	98,0	95	112	35	29,000
1,7	117,6	114	130	40	32,000
1,7	156,8	158	173	43	37,000
1,7	254,8	267	267	54	54,000
7,2	0,0	0	1	99	105,000
7,2	19,6	18	23	107	105,000
7,2	39,2	36	45	112	103,000
7,2	58,8	54	67	113	103,000
7,2	78,4	76	90	114	108,000
7,2	98,0	94	111	117	113,000
7,2	117,6	114	131	114	117,000
7,2	156,8	159	167	104	126,000
7,2	254,8	267	267	132	132,000
10,3	0,0	0	2	144	152,000
10,3	19,6	17	24	152	151,000
10,3	38,2	38	44	156	149,000
10,3	58,8	58	68	160	145,000
10,3	78,4	76	91	160	145,000
10,3	98,0	95	110	161	146,000
10,3	117,6	115	130	163	151,000
10,3	156,8	157	170	159	157,000
10,3	254,8	266	266	175	175,000

MOMENTO 0

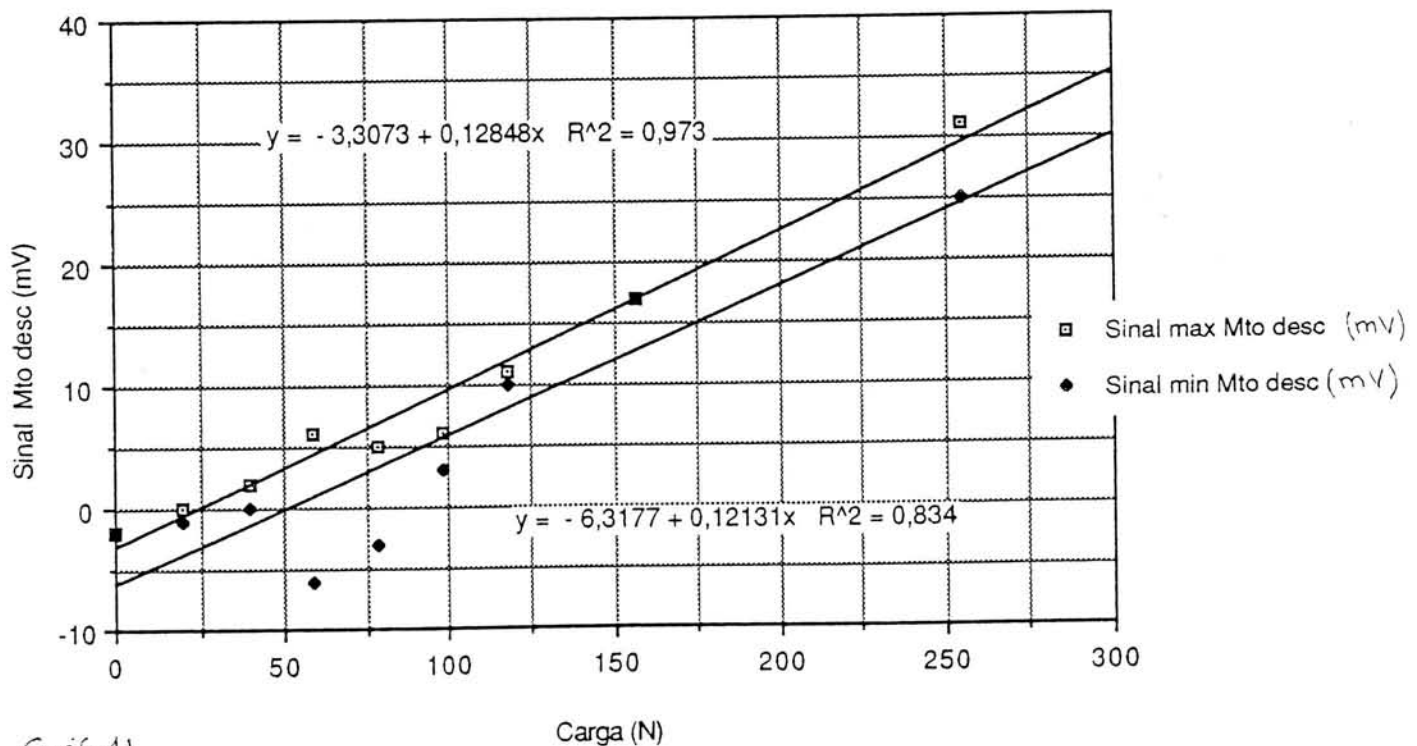
Avanço (N)	Sinal max. avan carga (mV)	Sinal min. avan carga (mV)	Sinal max avan desc (mV)	Sinal min avan desc (mV)
0,0			7	0
19,6	18	18	29	22
39,2	35	34	50	43
58,8	53	53	70	66
78,4	74	73	92	87
98,0	94	93	114	109
117,6	115	112	134	130
156,8	159	154	174	169
254,8	262	260	262	260

Sinal max Mto carga (mV)	Sinal min Mto carga (mV)	Sinal max Mto desc (mV)	Sinal min Mto desc (mV)
		-2	-2
0	0	0	-1
4	-1	2	0
7	-10	6	-6
6	2	5	-3
11	8	6	3
15	13	11	10
17	13	17	17
31	25	31	25

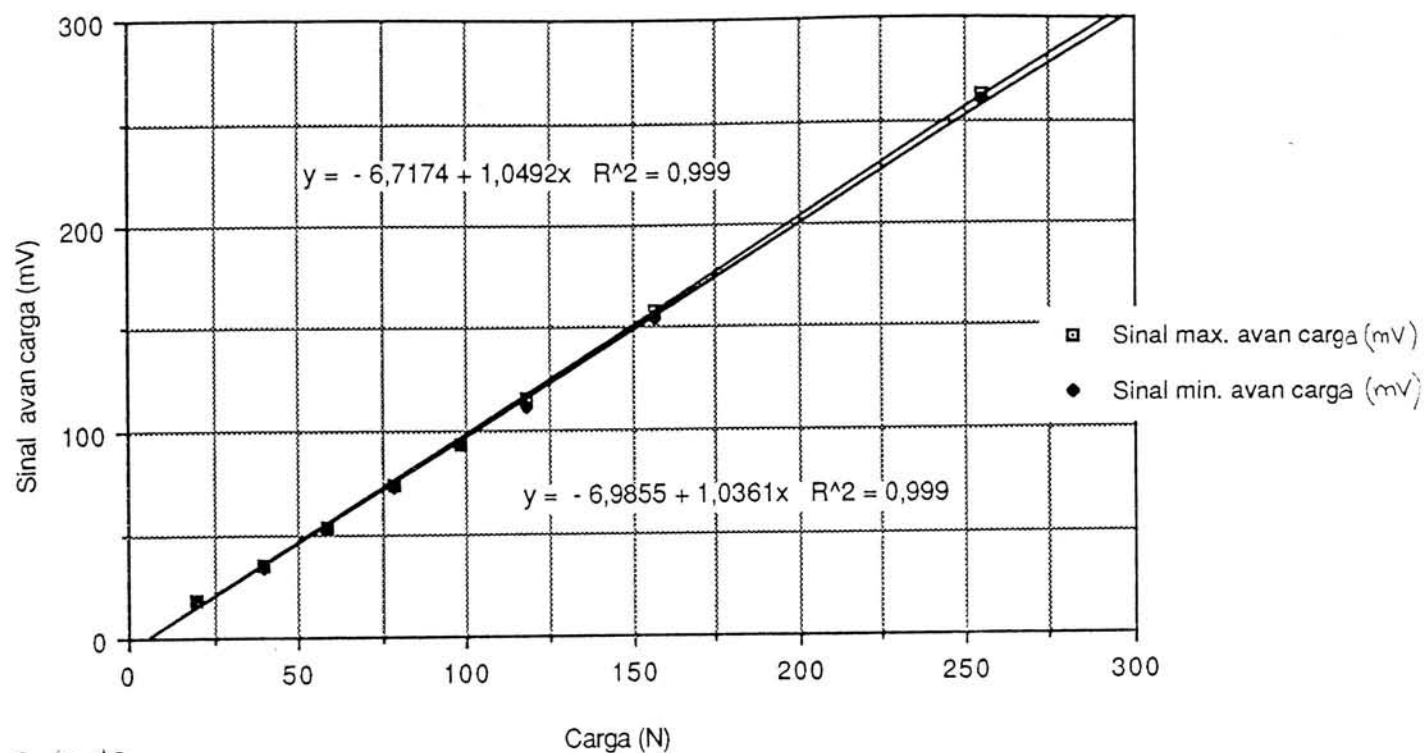
Tab. 14



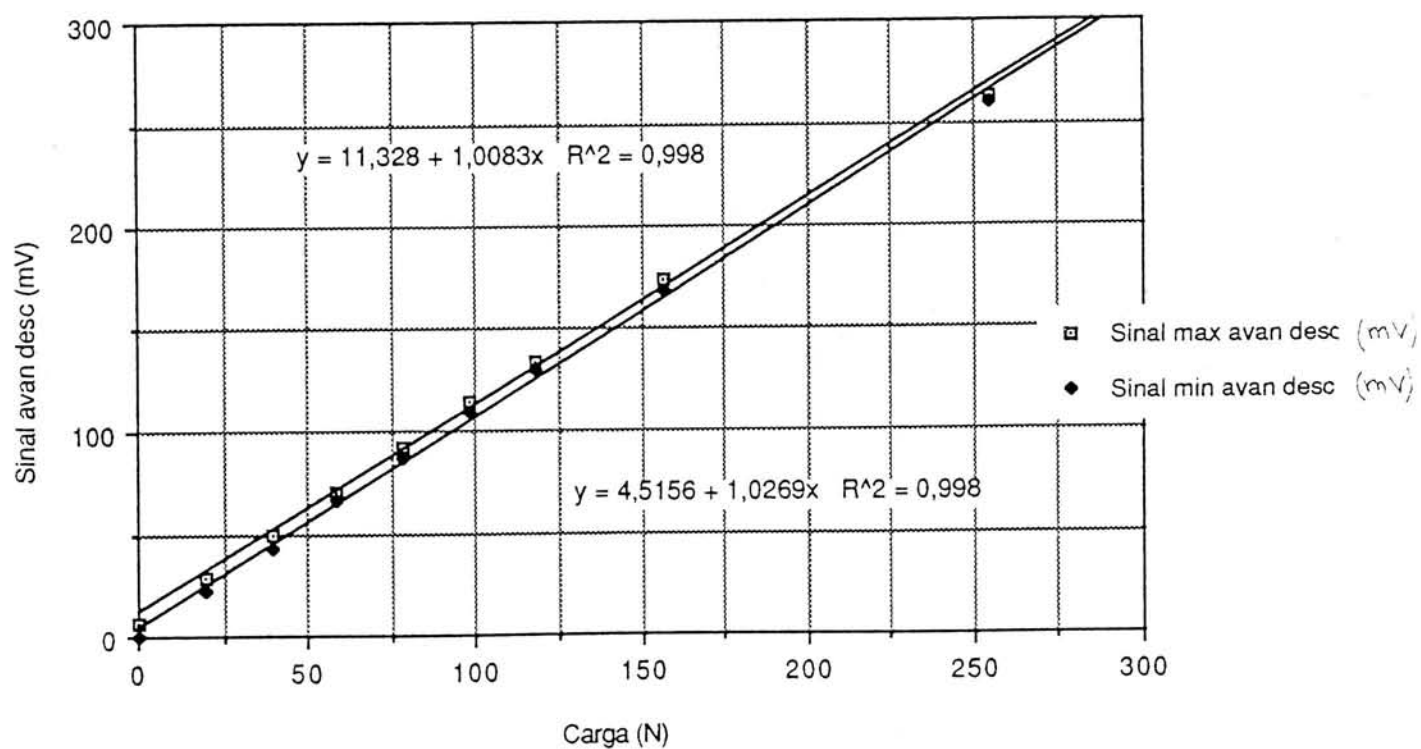
Gráf. 40



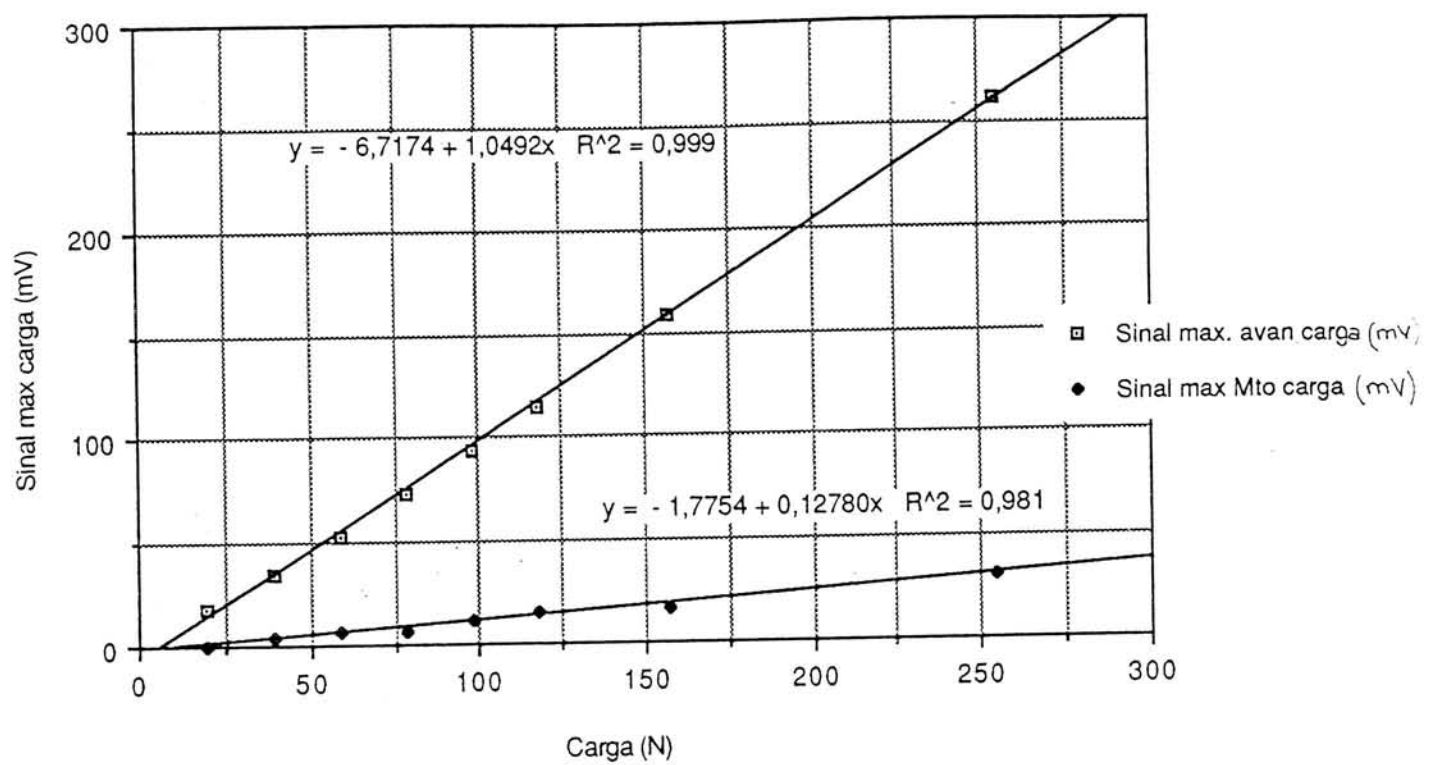
Gráf. 41



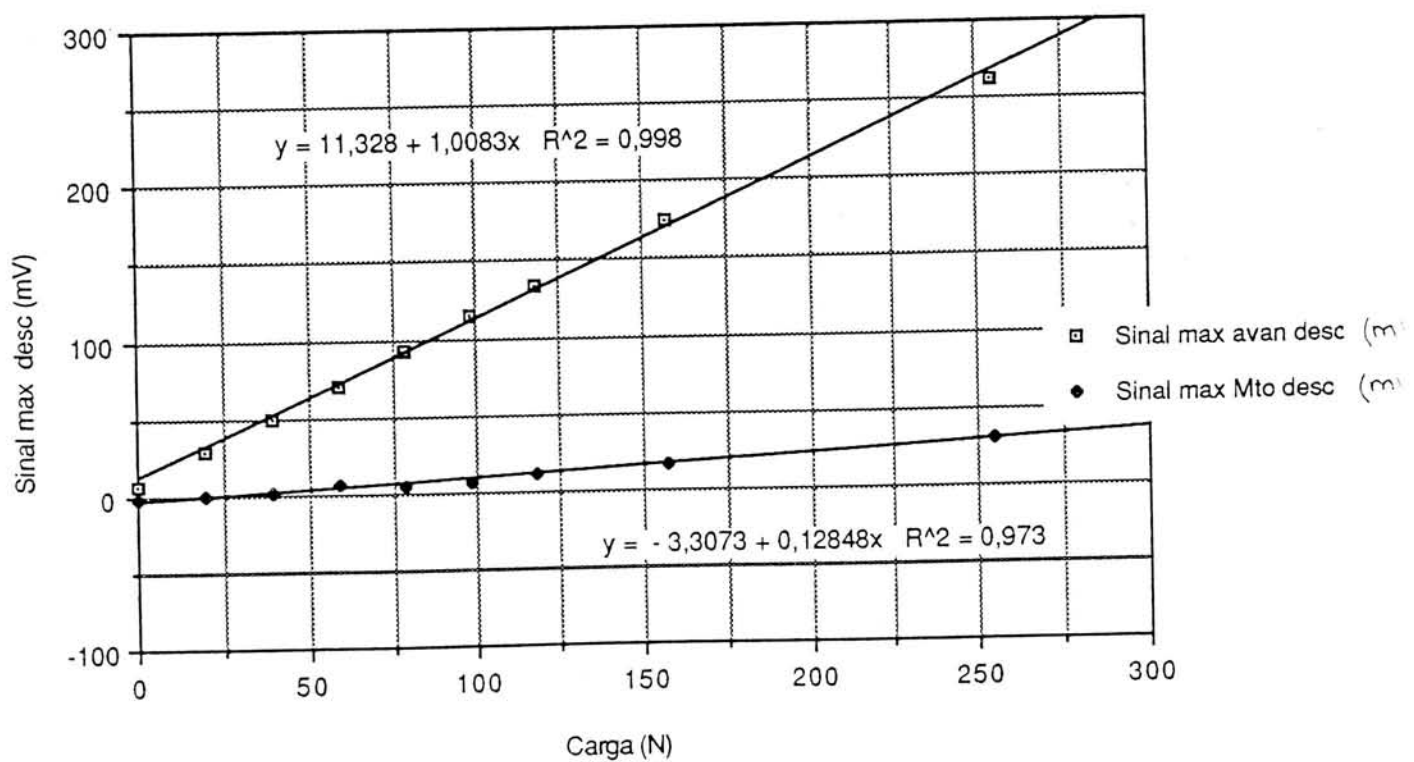
Gráf. 42



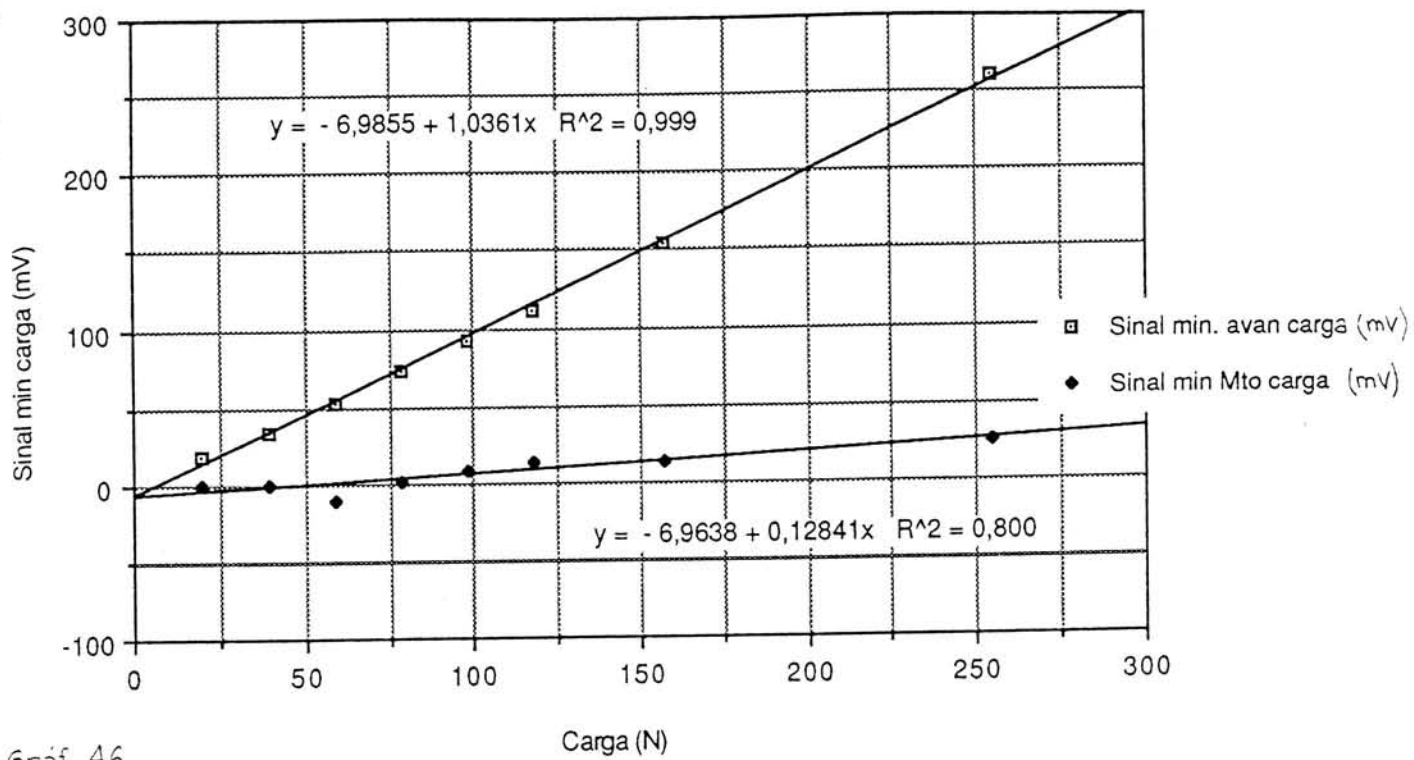
Gráf. 43



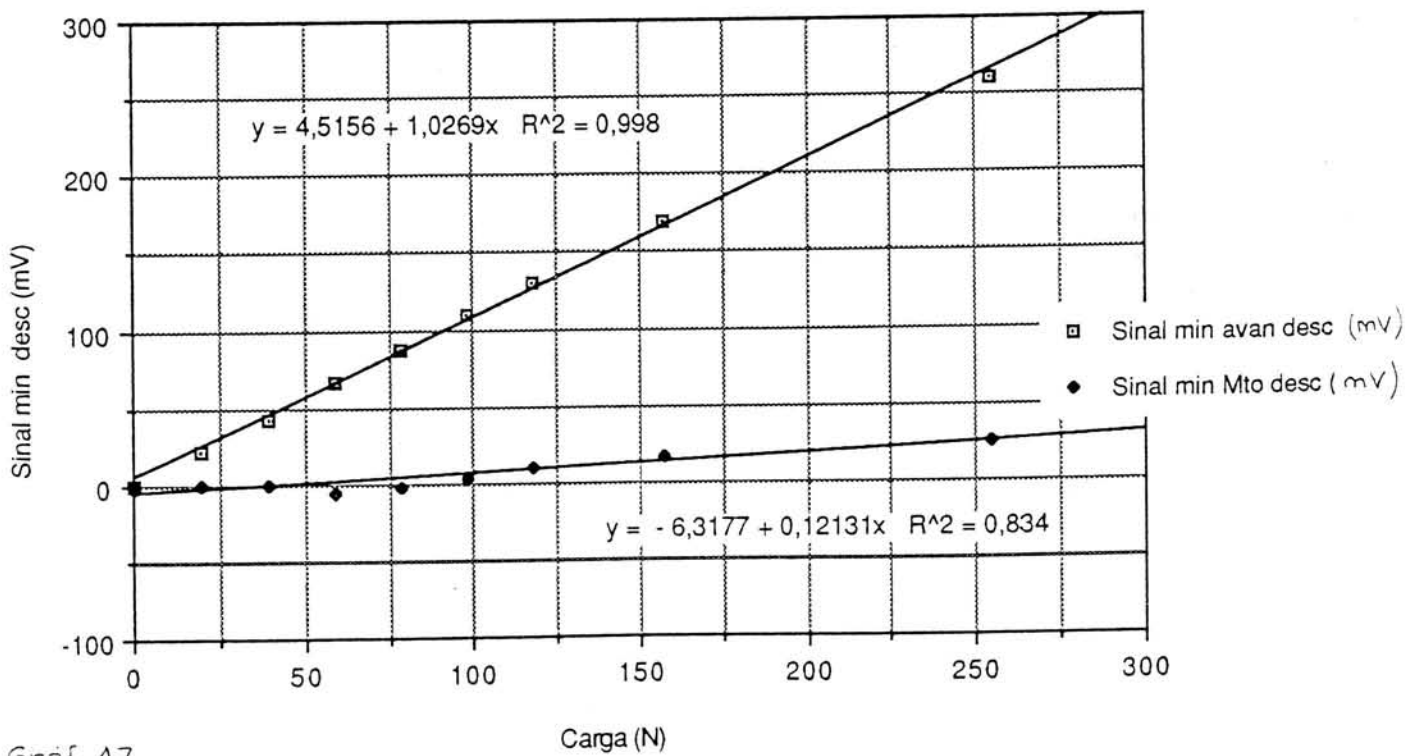
Gráf 44



Gráf. 45



Gráf. 46



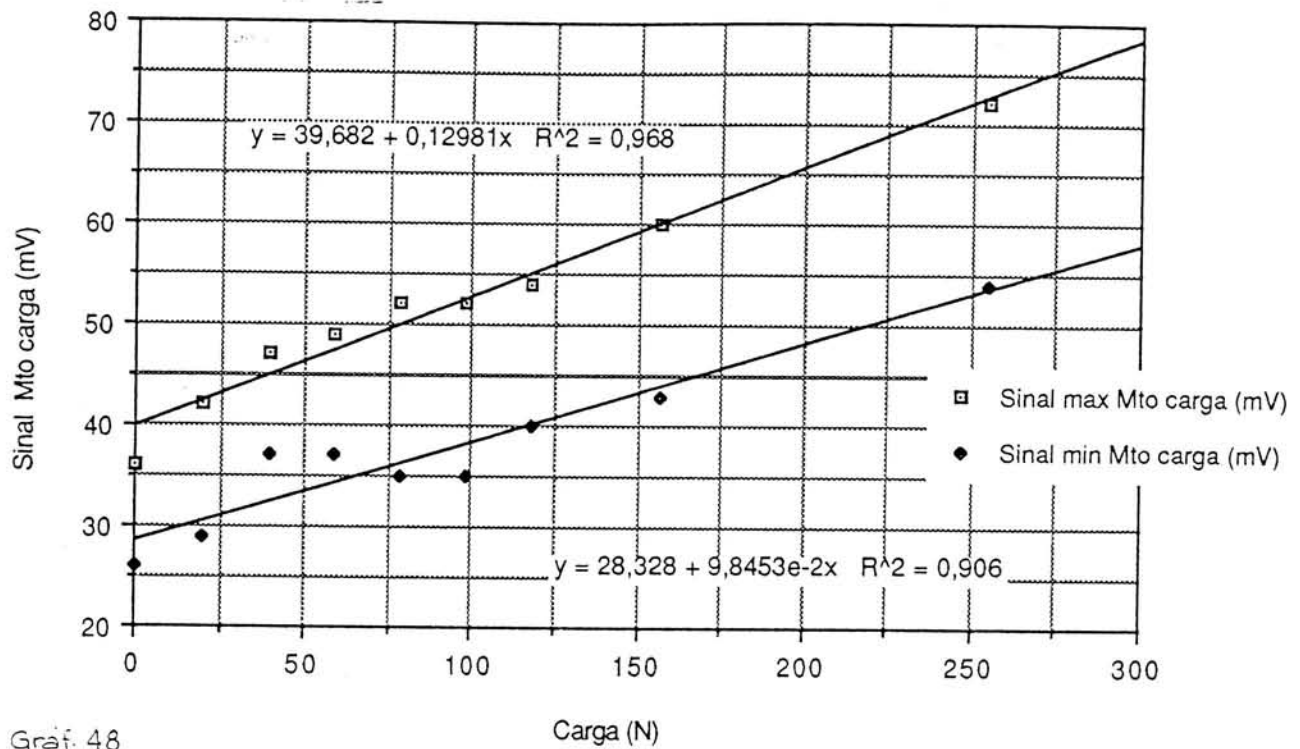
Gráf. 47

MOMENTO 1.7

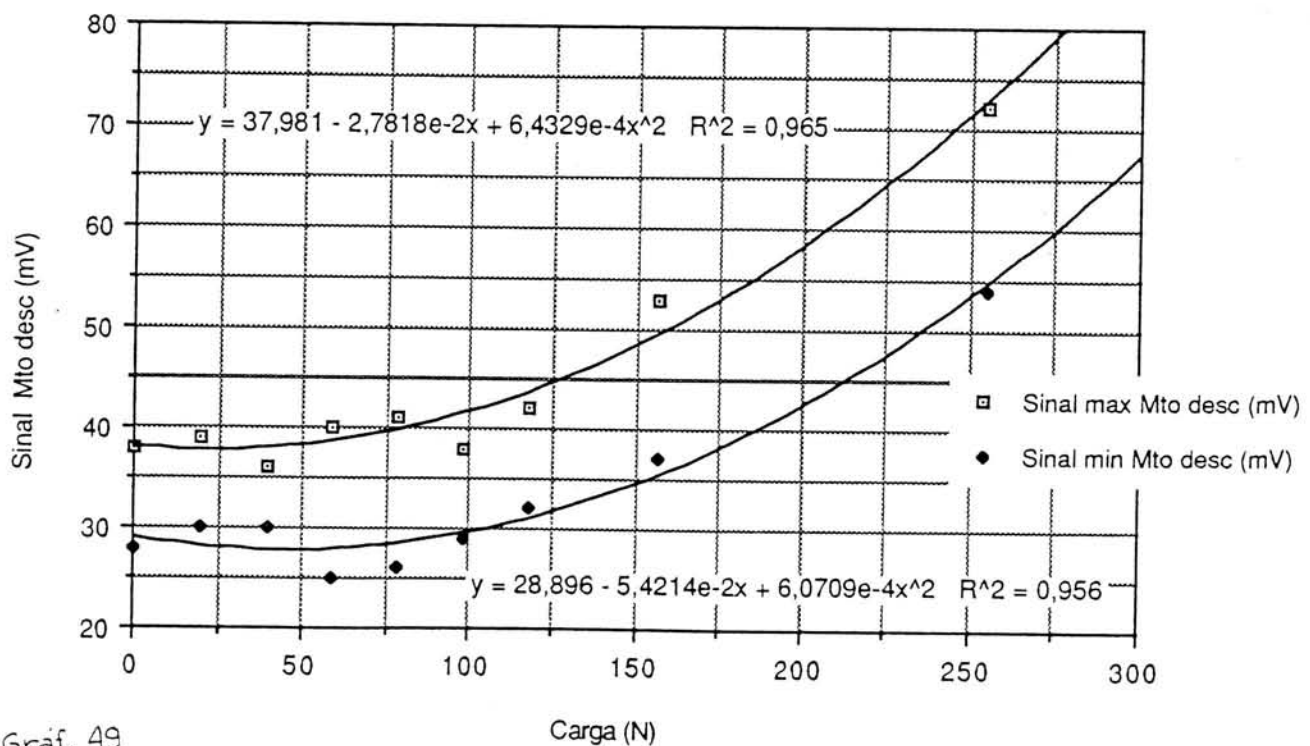
Carga (N)	Sinal max. avan carga (mV)	Sinal min. avan carga (mV)	Sinal max avan desc (mV)	Sinal min avan desc (mV)
0,0	0	0	3	1
19,6	17	16	25	24
39,2	35	34	47	46
58,8	54	54	69	66
78,4	78	74	90	84
98,0	95	94	113	111
117,6	114	113	132	130
156,8	158	155	173	169
254,8	267	262	267	262

Sinal max Mto carga (mV)	Sinal min Mto carga (mV)	Sinal max Mto desc (mV)	Sinal min Mto desc (mV)
36	26	38	28
42	29	39	30
47	37	36	30
49	37	40	25
52	35	41	26
52	35	38	29
54	40	42	32
60	43	53	37
72	54	72	54

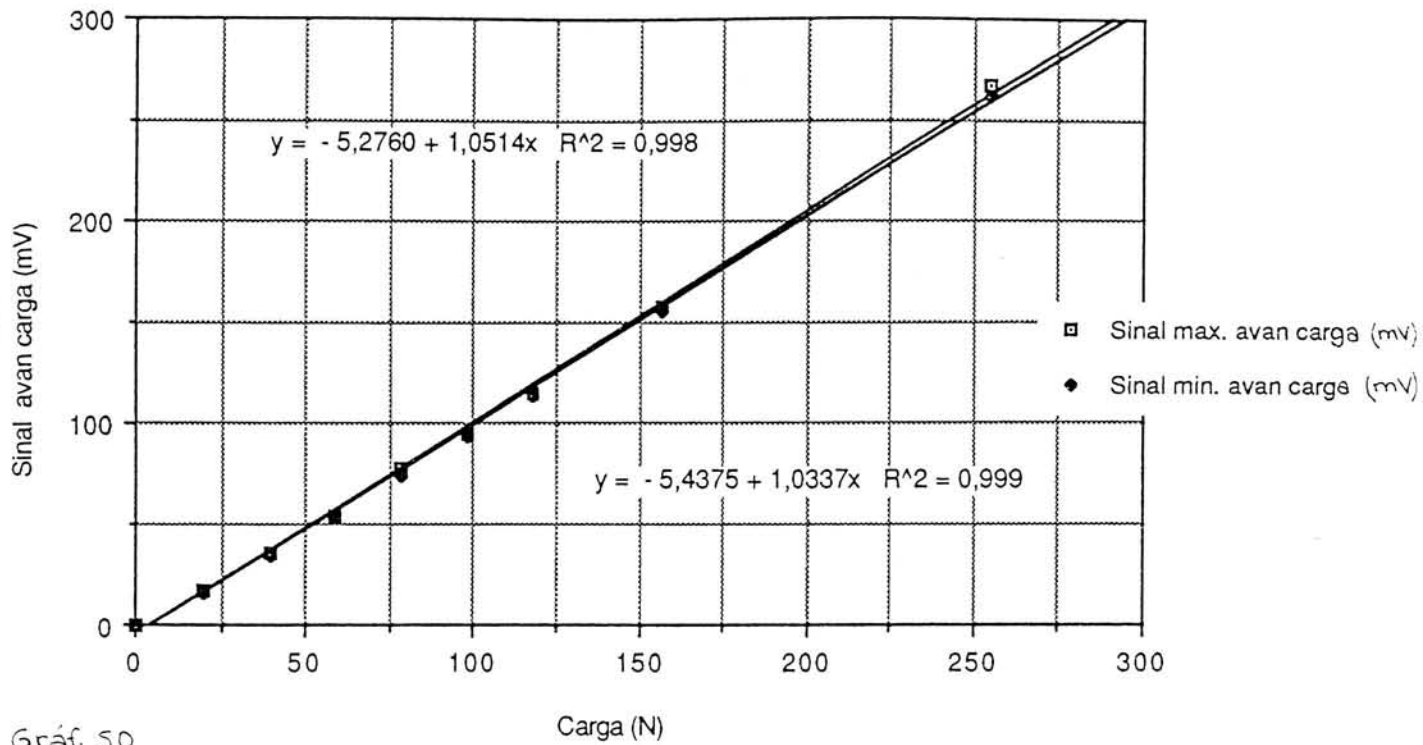
Tab. 15



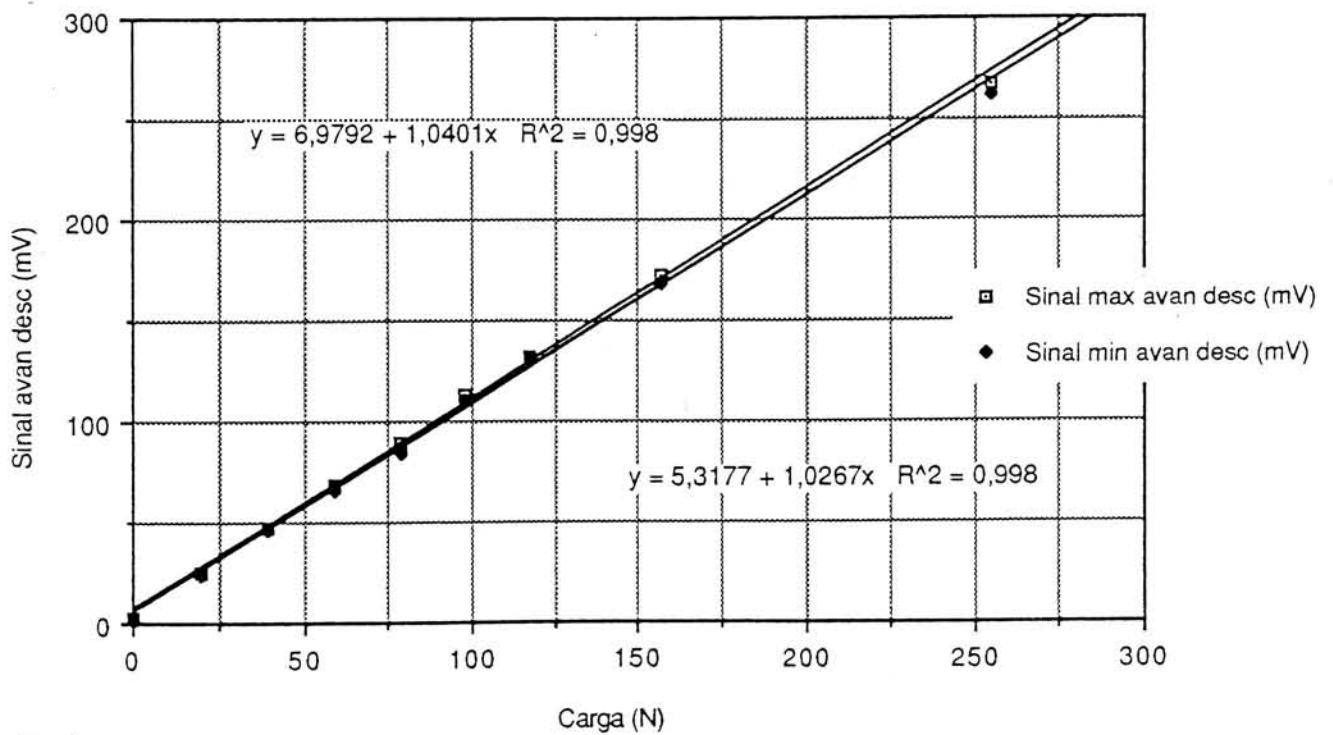
Gráf. 48



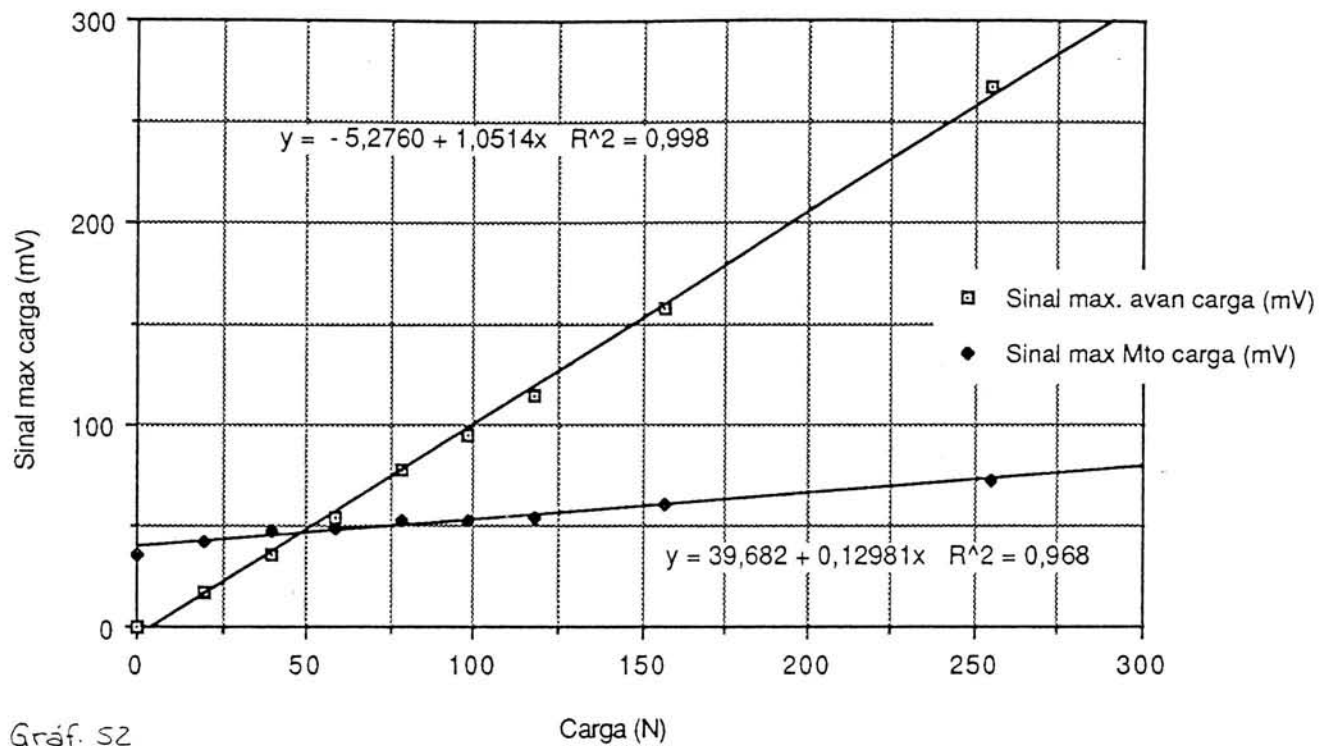
Gráf. 49



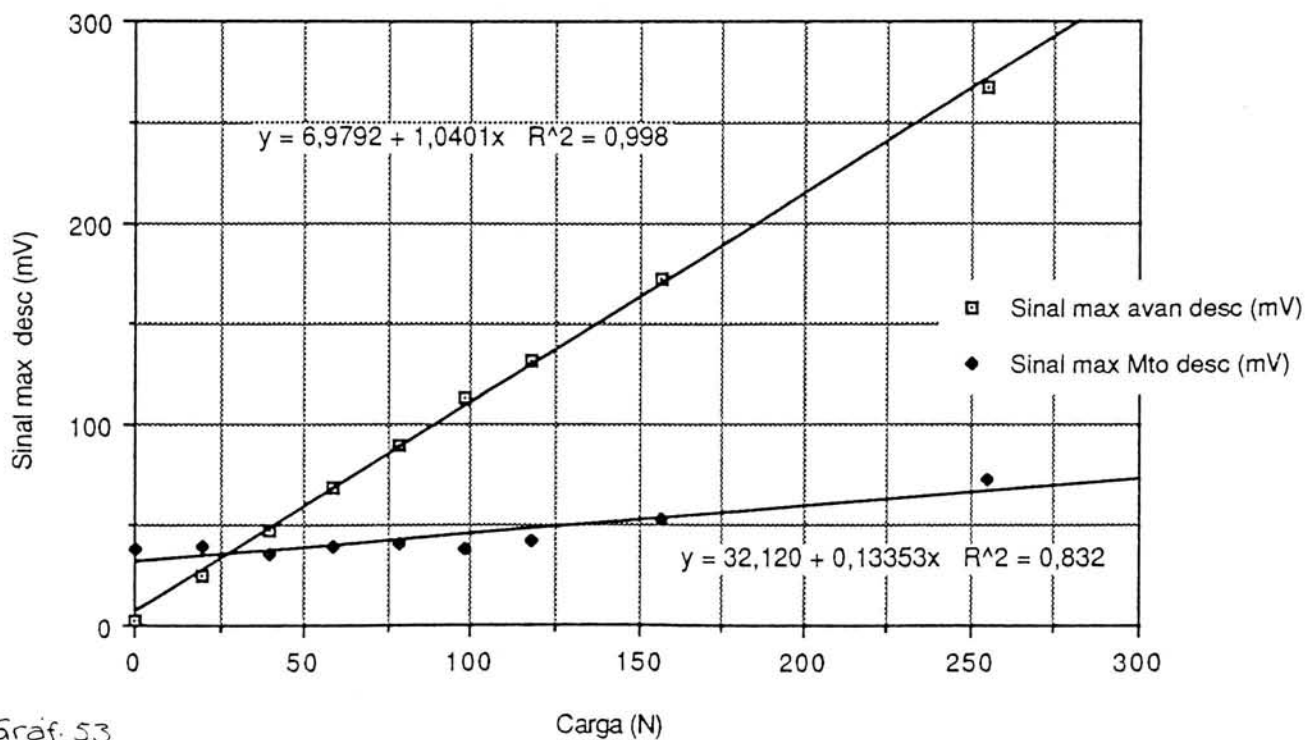
Gráf. 50



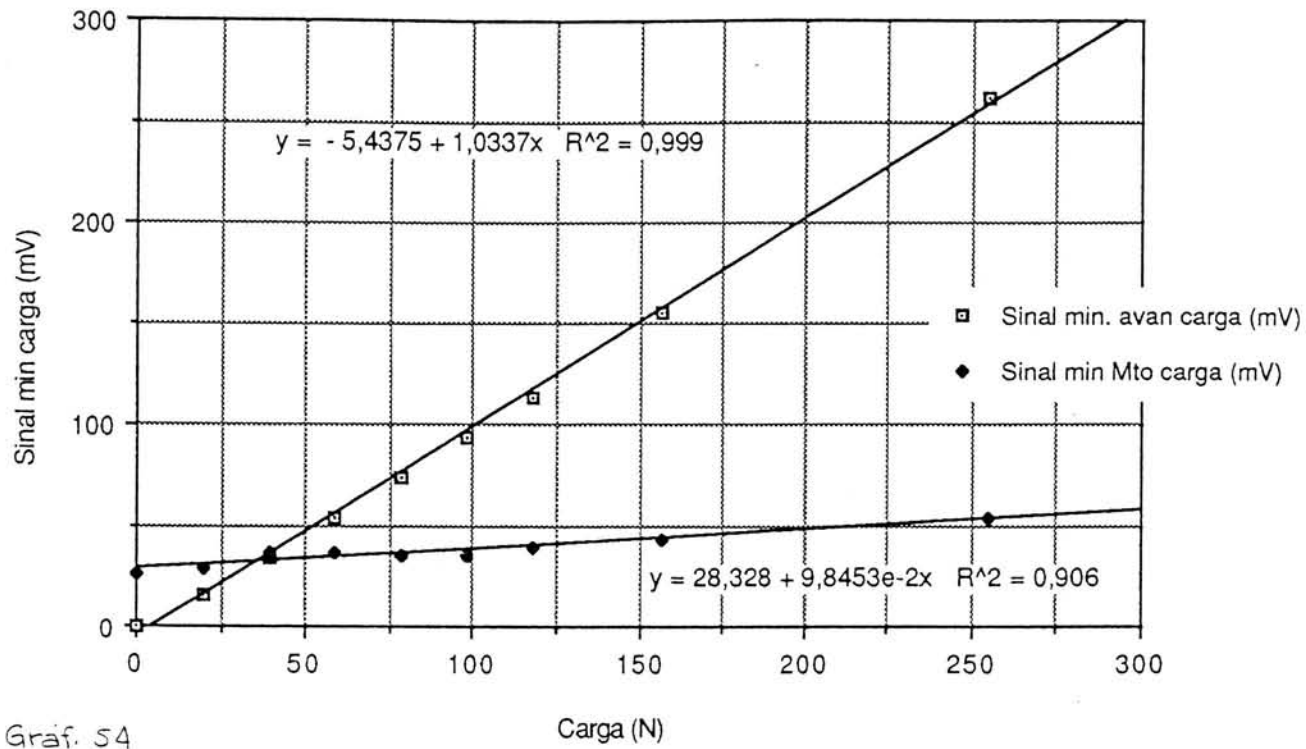
Gráf. 51



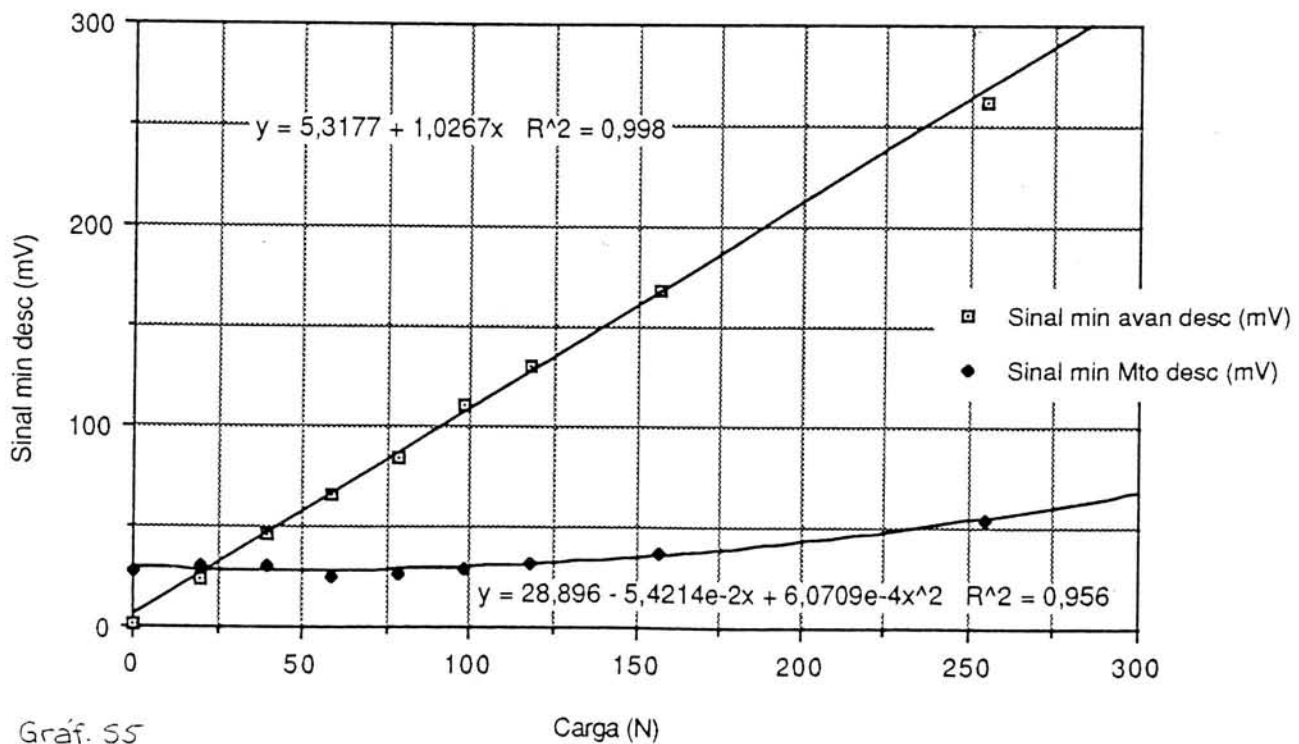
Gráf. 52



Gráf. 53



Gráf. 54



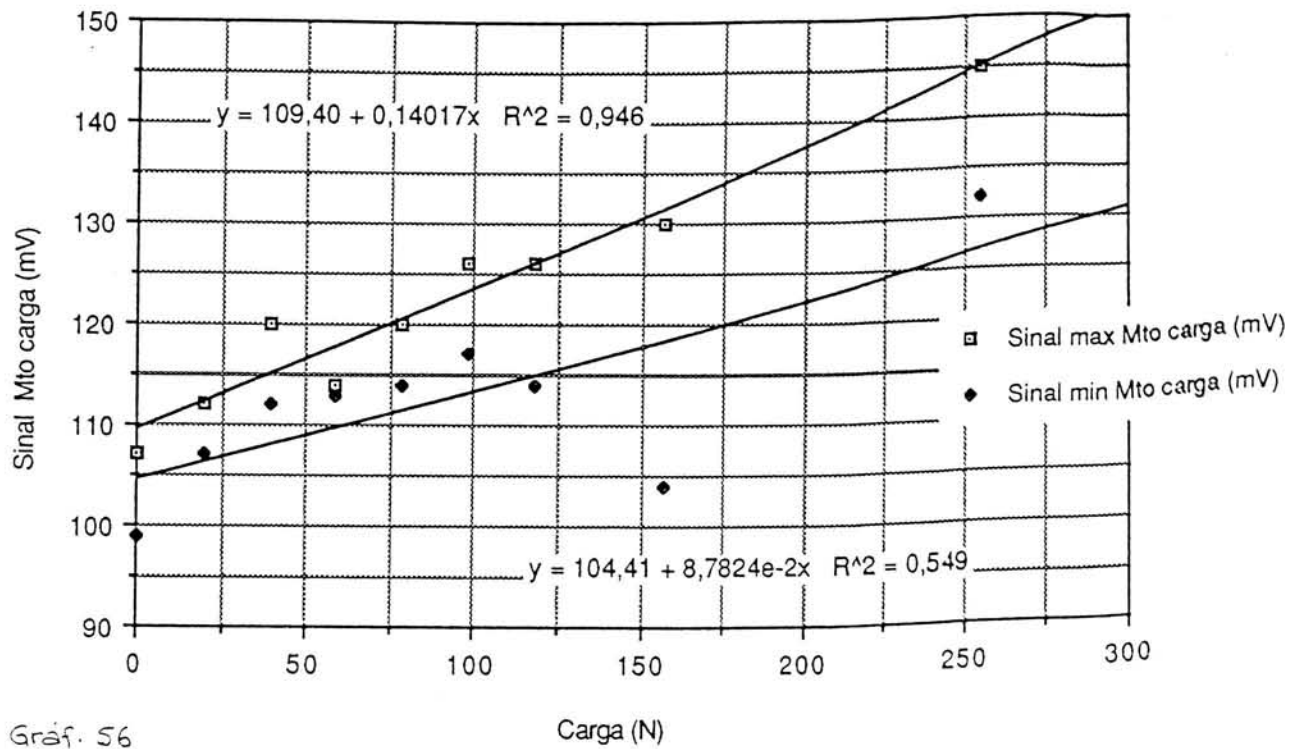
Gráf. 55

MOMENTO 7.2

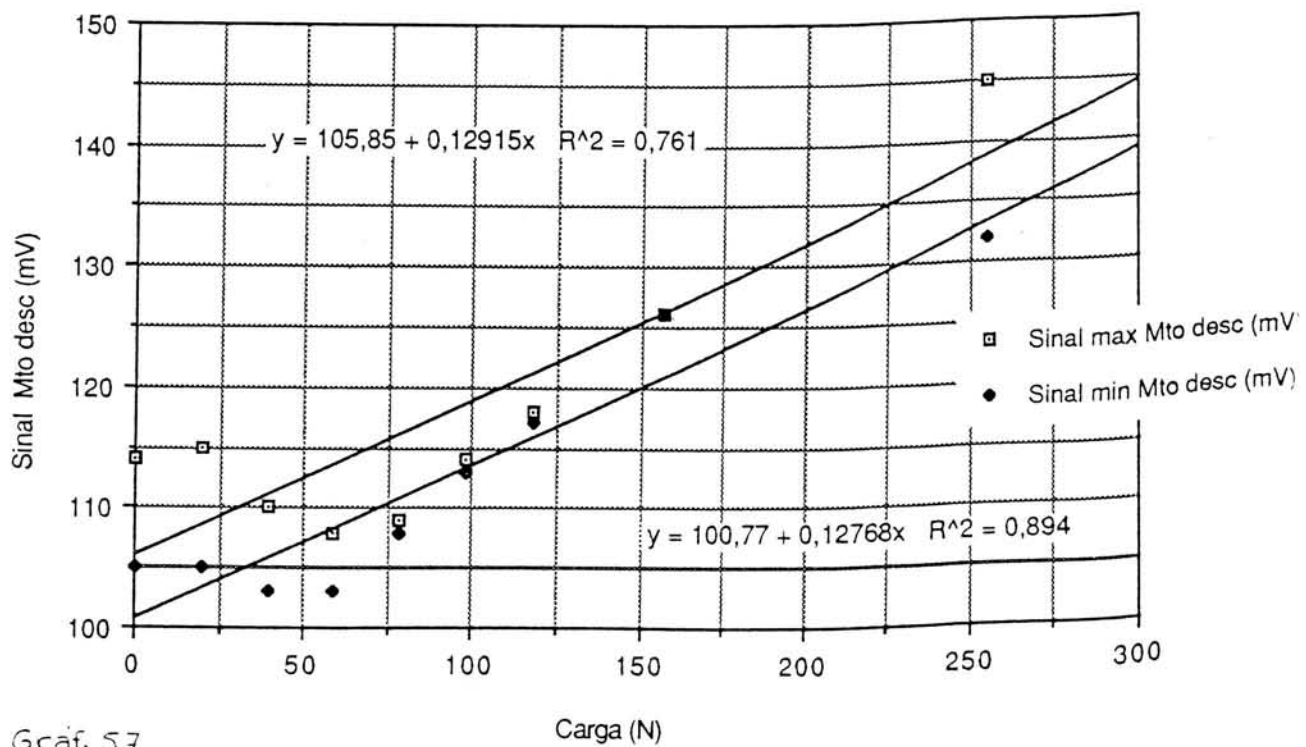
Carga (N)	Sinal max. avan carga (mV)	Sinal min. avan carga (mV)	Sinal max avan desc (mV)	Sinal min avan desc (mV)
0,0	3	0	4	1
19,6	19	18	26	23
39,2	37	36	48	45
58,8	57	54	70	67
78,4	76	76	90	89
98,0	97	94	112	111
117,6	120	114	132	131
156,8	159	156	169	167
254,8	267	261	267	261

Sinal max Mto carga (mV)	Sinal min Mto carga (mV)	Sinal max Mto desc (mV)	Sinal min Mto desc (mV)
107	99	114	105
112	107	115	105
120	112	110	103
114	113	108	103
120	114	109	108
126	117	114	113
126	114	118	117
130	104	126	126
145	132	145	132

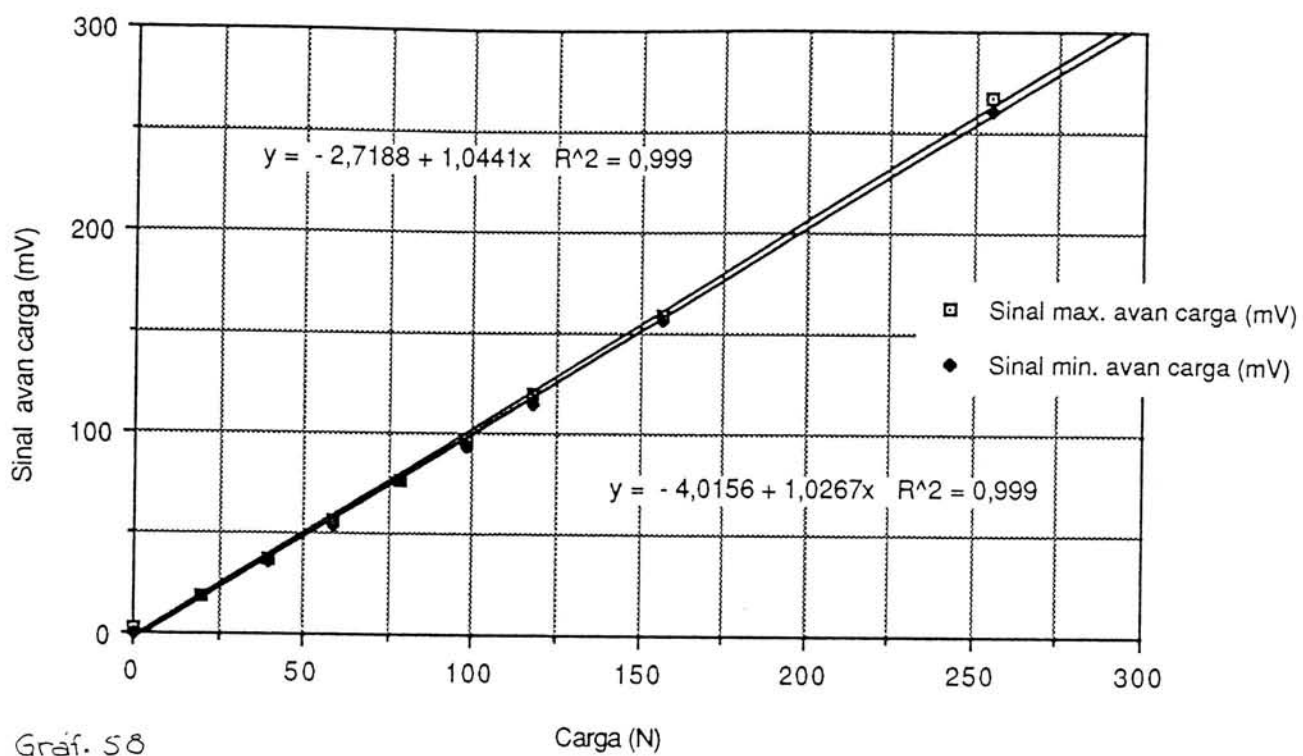
Tab. 16



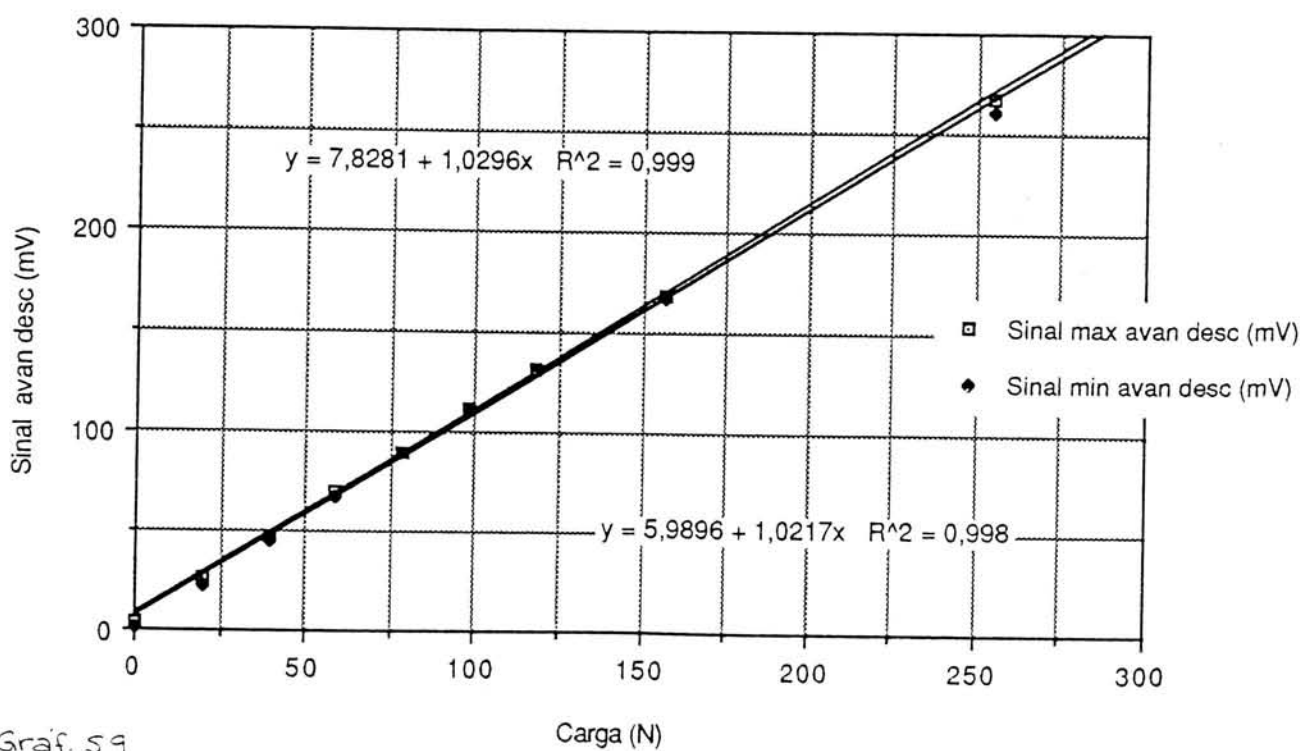
Gráf. 56



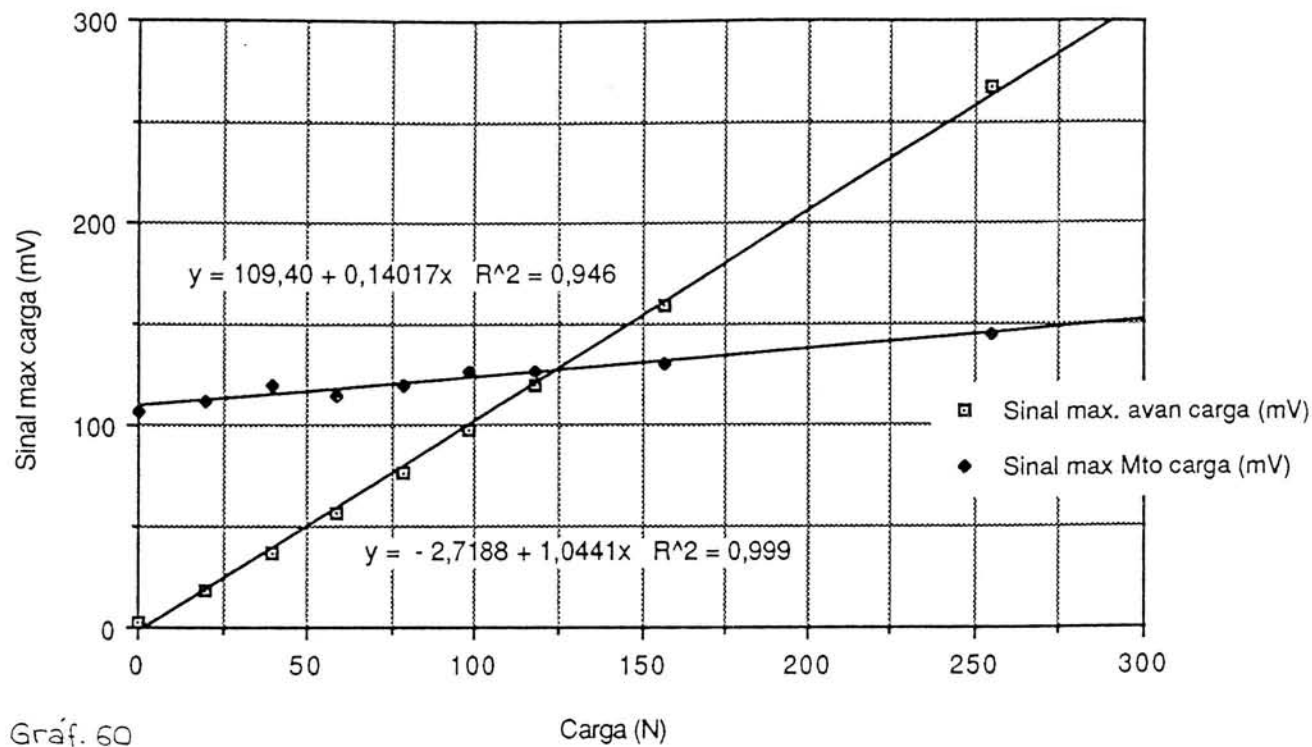
Gráf. 57



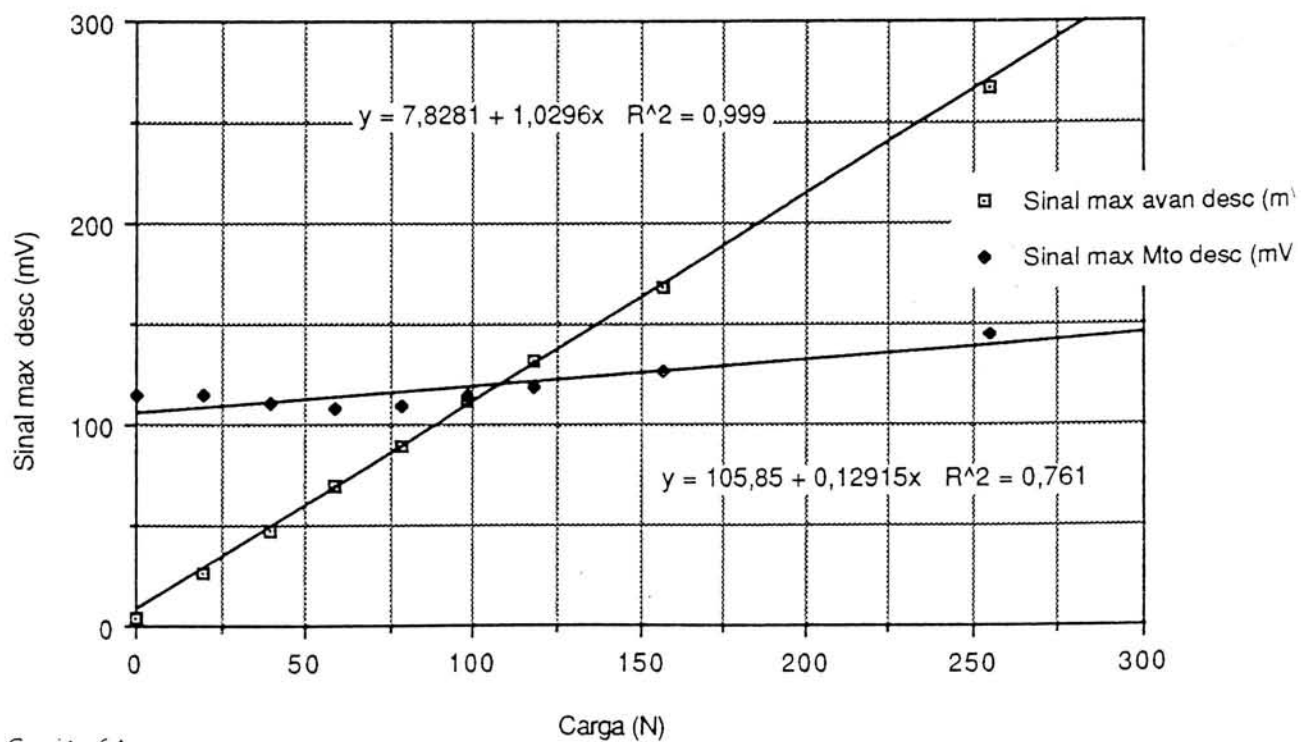
Gráf. 58



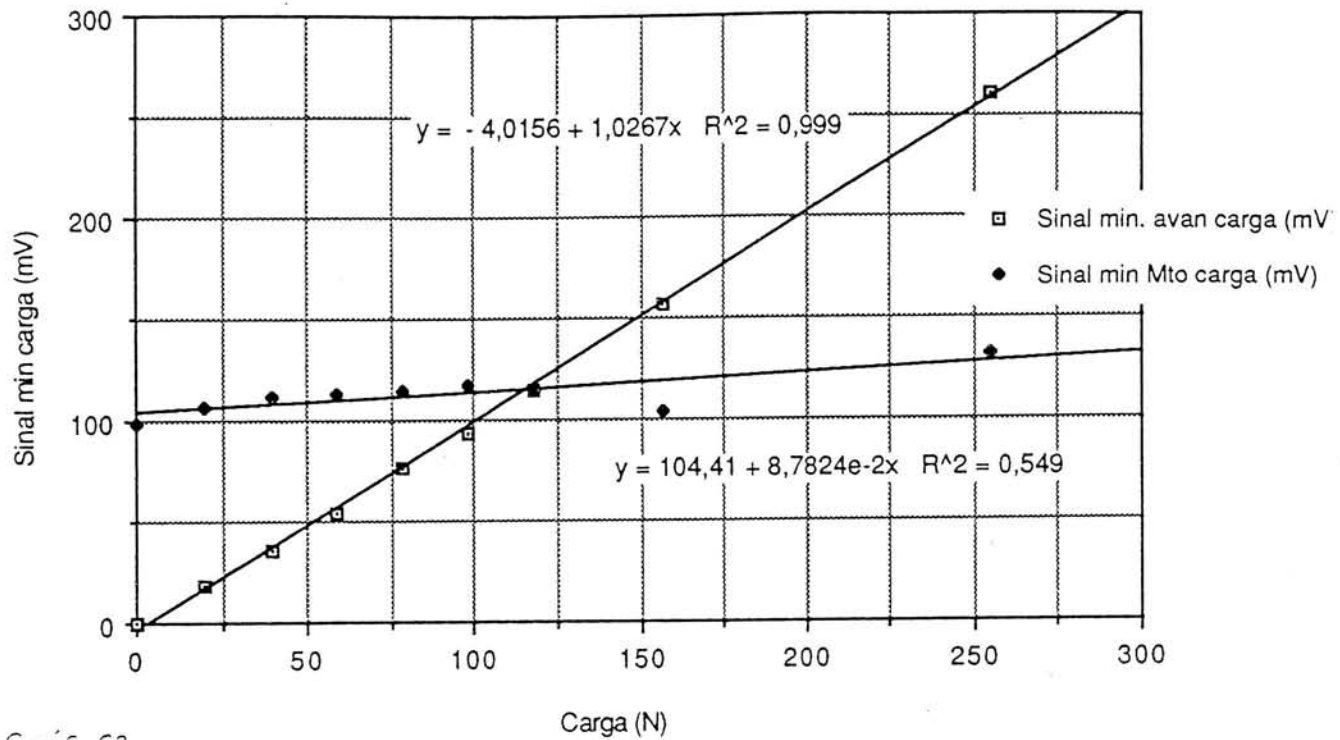
Gráf. 59



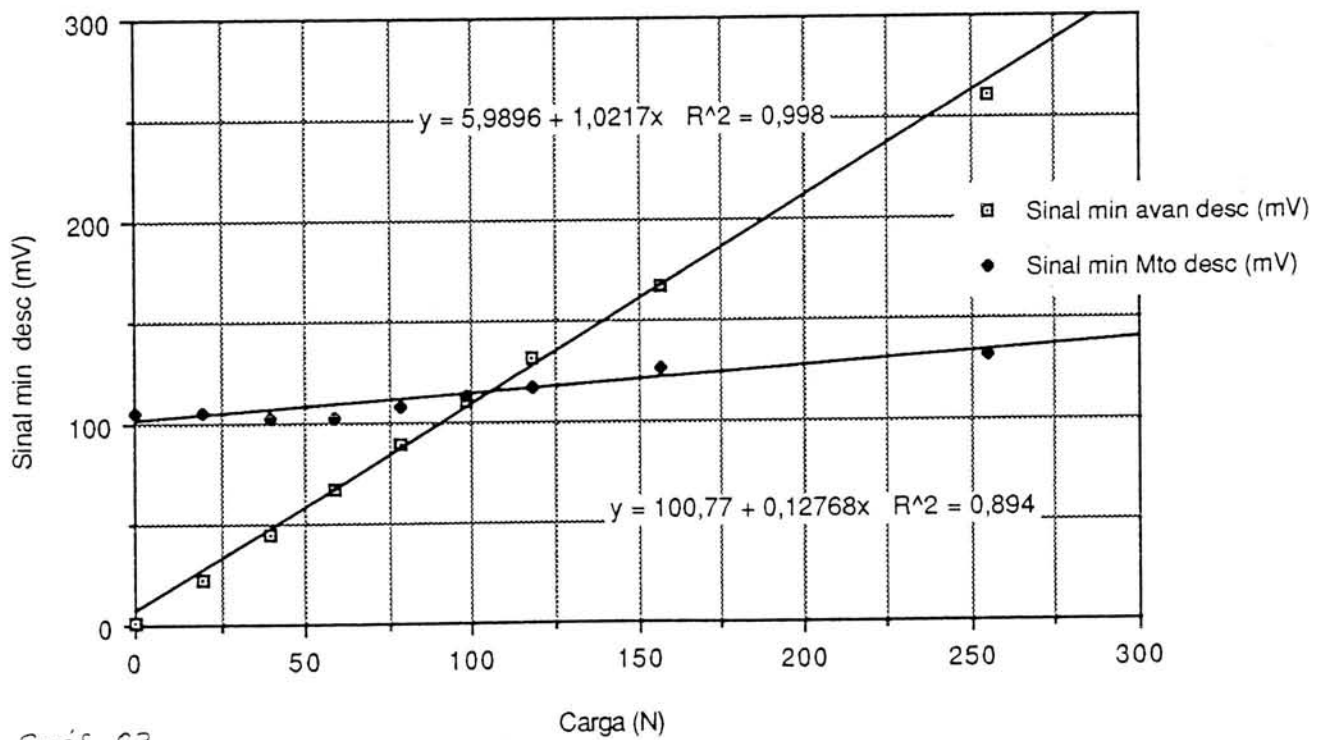
Gráf. 60



Gráf. 61



Gráf 62



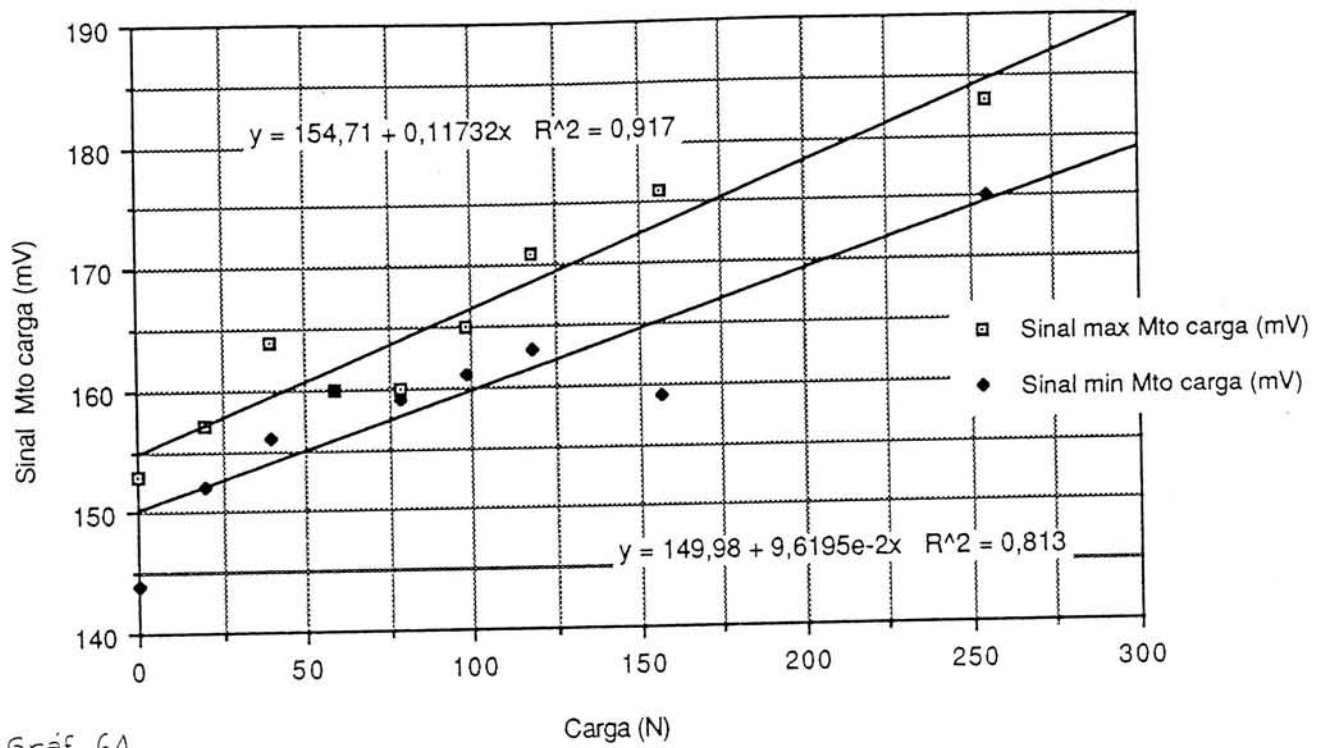
Gráf. 63

MOMENTO 10.3

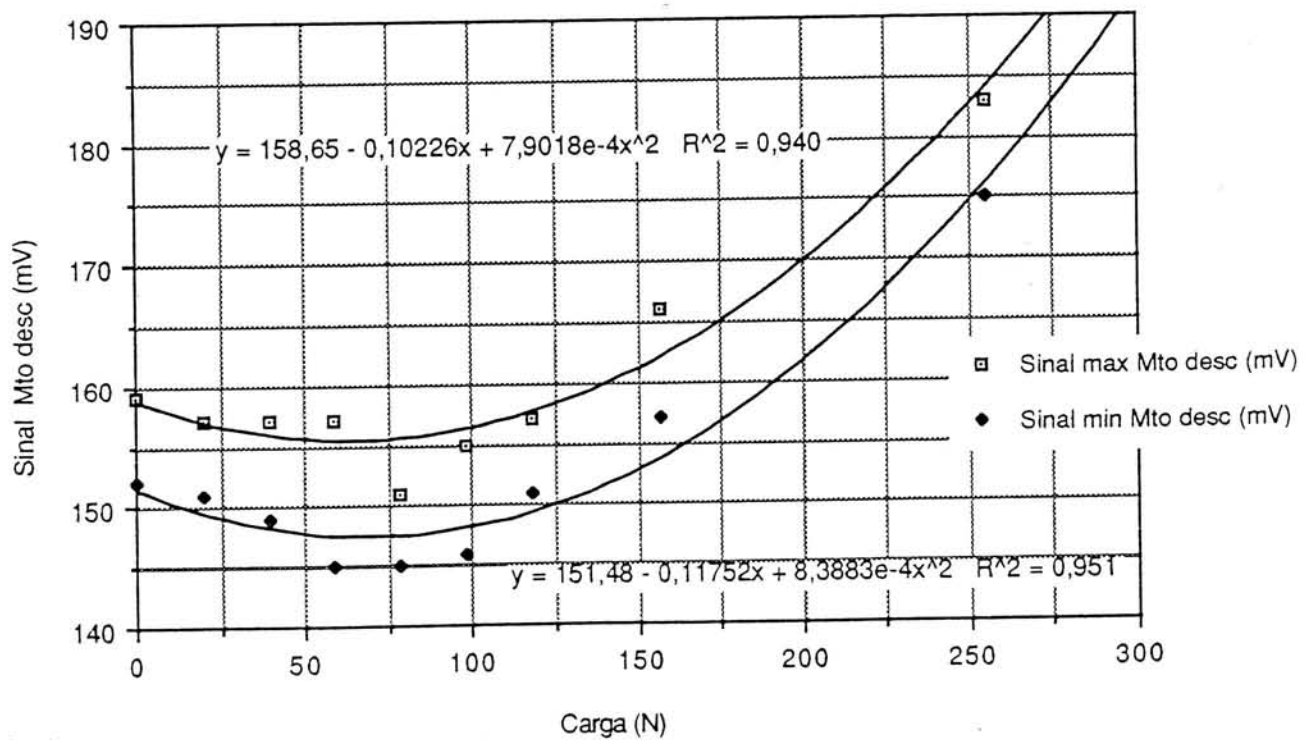
Carga (N)	Sinal max. avan carga (mV)	Sinal min. avan carga (mV)	Sinal max avan desc (mV)	Sinal min avan desc (mV)
0,0	2	0	5	2
19,6	21	17	27	24
39,2	38	38	49	44
58,8	58	57	69	68
78,4	78	76	93	91
98,0	98	95	112	110
117,6	117	115	133	130
156,8	158	157	173	170
254,8	266	263	266	263

Sinal max Mto carga (mV)	Sinal min Mto carga (mV)	Sinal max Mto desc (mV)	Sinal min Mto desc (mV)
153	144	159	152
157	152	157	151
164	156	157	149
160	160	157	145
160	159	151	145
165	161	155	146
171	163	157	151
176	159	166	157
183	175	183	175

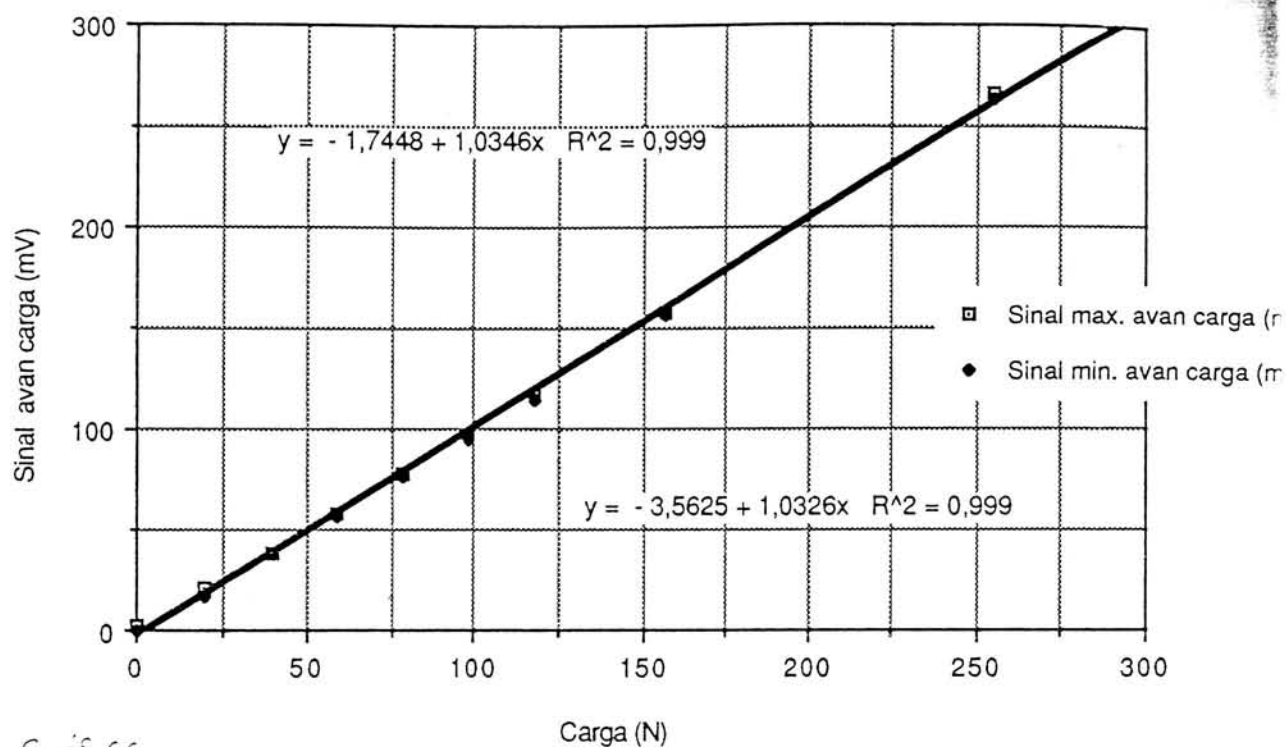
Tab. 17



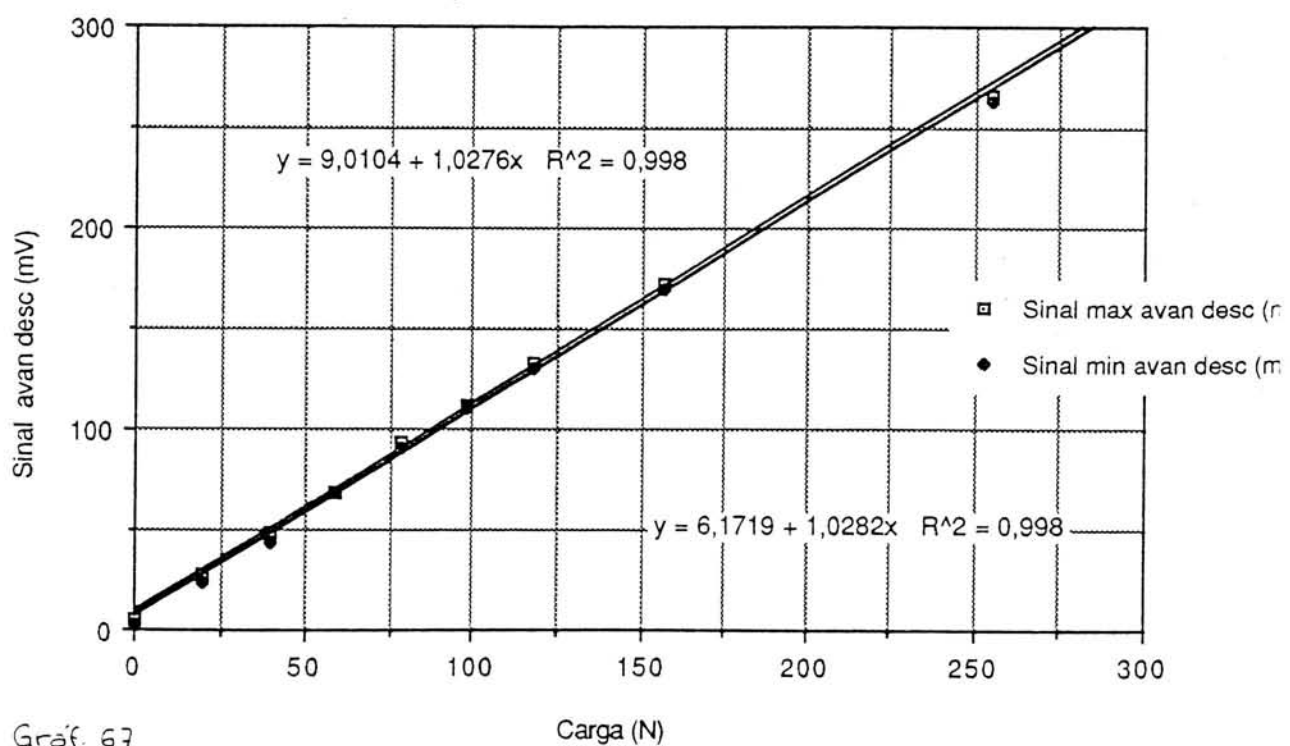
Gráf. 64



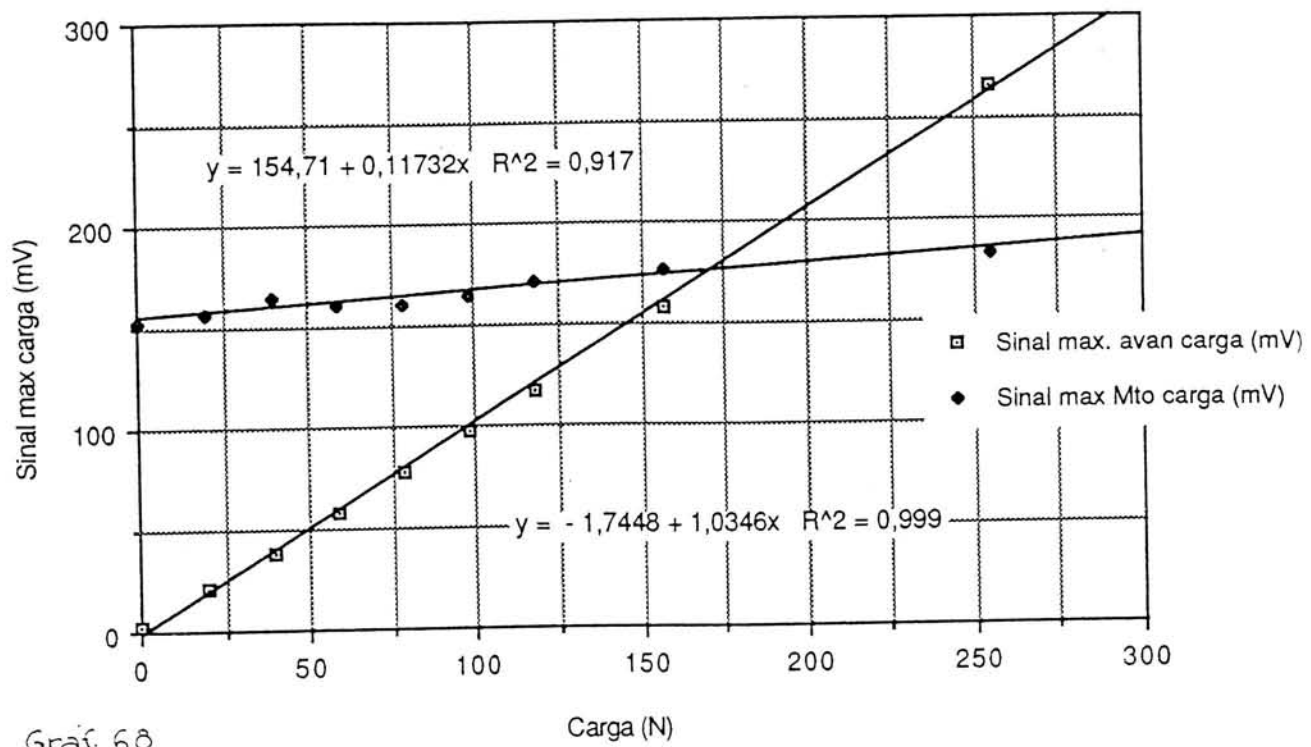
Gráf. 65



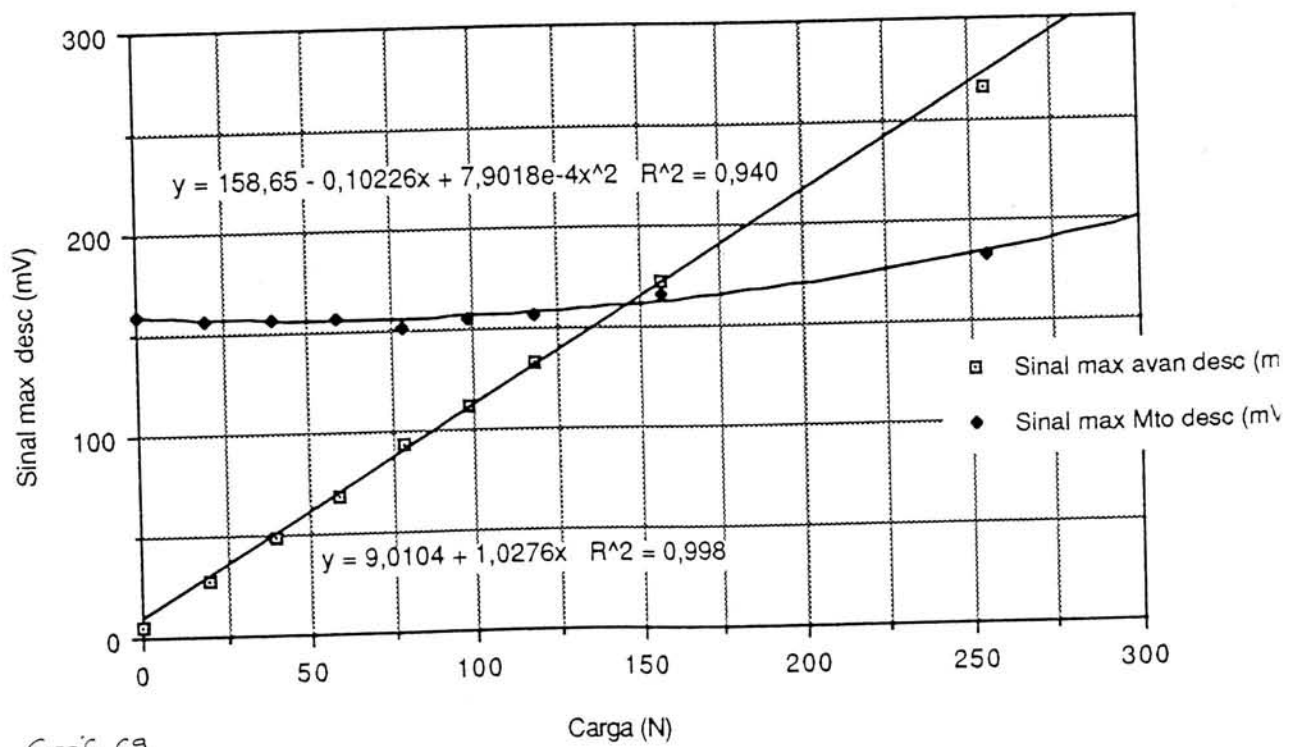
Gráf. 66



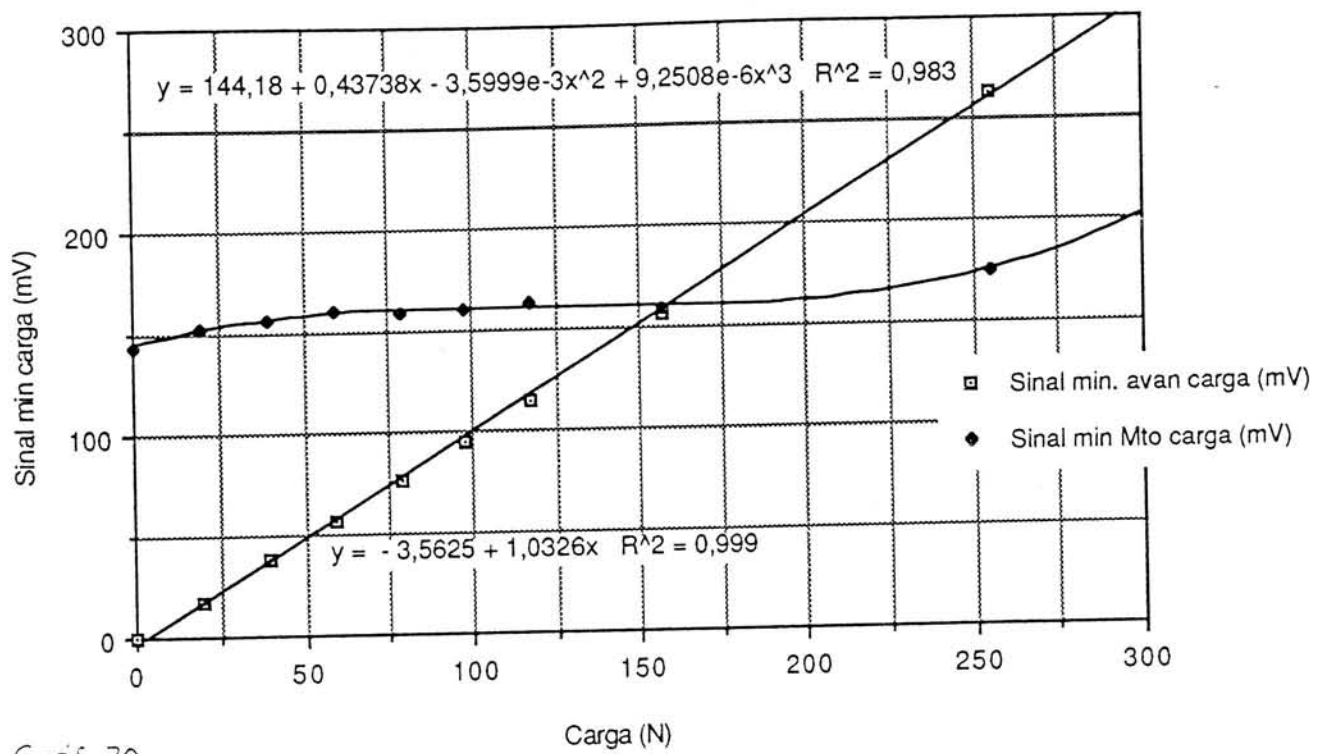
Gráf. 67



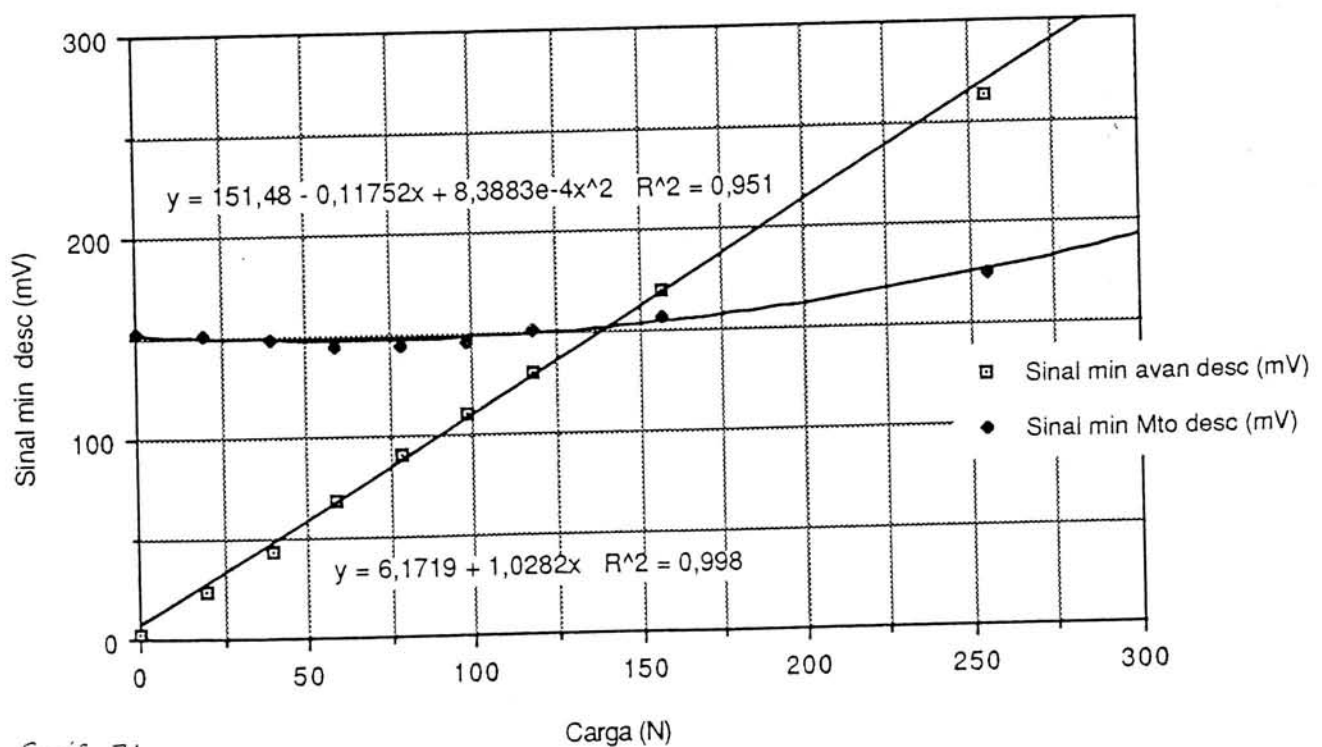
Gráf. 68



Gráf. 69



Gráf. 70



Gráf. 71

3.4.3 - ANÁLISE DE RESULTADOS

Para as diferentes cargas do avanço verificou-se um ligeiro aumento no sinal do momento, conforme se ilustra nos gráficos 40, 41, 48, 49, 56, 57, 64 e 65. Os gráficos mostram também a existência de uma banda de erro.

No entanto, conforme mostram os gráficos 42, 43, 50, 51, 58, 59, 66 e 67 esta banda de erro é extremamente reduzida, o que mostra que o funcionamento do dinamômetro em avanço é bastante satisfatório.

Os restantes gráficos apresentam uma diferente combinação de sinais que possibilita comprovar os resultados obtidos através de diferentes leituras.

4 - CONCLUSÕES

O comportamento do dinamómetro mostrou-se bastante satisfatório em solicitações de avanço, onde a banda de erro é bastante reduzida. O mesmo não pode porém dizer-se do seu comportamento em solicitações de torsão, onde a banda de erro se apresenta com valores relativamente elevados e irregulares.

Atendendo a que as solicitações a que o dinamómetro fica sujeito durante as operações de furação são simultâneas, deve ser tida especial atenção à precisão do seu funcionamento para que os valores obtidos sejam credíveis.

É opinião do autor deste seminário, que a futura utilização em trabalhos práticos deste dinamómetro deve ser antecedita de uma reparação que lhe melhore o comportamento, nomeadamente à torsão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Clyne, T.W.
Bader, M.G.
Cappleman, G.R.
Hubert, P.A.
"The Use of α - alumina
Fibre for metal-matrix composites"

Journal of Materials Science 20,
1985, pp 85-96
- [2] Kim, Y.H.
Lee, C.S.
Han, K.S.
Fabrication and Mechanical properties
of aluminum matrix composite materials

Journal of composite materials,
Vol.26 nº6/1992
- [3] Martensen, A.
Cornie, J.A.
Fleming, M.C.
"Status of current technology in metal
matrix composite castings"

Proceedings of the AFS Special
Conference, Rosemont, Illinois, May, 1987
- [4] Masur, L.J.
Mortensen, A.
Cornie, J.A.
Flemings, M.C.
"Pressure castings of fiber-reinforced metals"

Proceedings of the 6th Int. Conf. of
Comp. Mater. and 2nd Euro. Conf. on
Comp. Mater., Morton et al ed., 1987
pp 2.320-2.329
- [5] Otori, K.
Watanabe, H.
Takeuchi, Y.
"Silicon carbide whisker reinforced aluminium
composites-fabrication and properties"

Materials science and technology,
Vol.3, Jan 1987, pp57/60
- [6] Schoutens, J.E.
Kaman Tempo
"Introduction to metal matrix composite materials"

3th ed. MMIAC Tutorial Series,
MMC Nº272, 1982
- [7] Gigerenzer, H.
Pepper, R.T.
Lachman, W.L.
"Hot-Drawing of fiber (filament) reinforced metal-matrix
composites"

Proc. of the 1978 Int. Conf. Comp. Materials,
ICCM2 AIME, 1978 pp 175-188

- [8] Meyerer, W.
Kizer, D.
Paprocki, S.
Paul, H.
- "Versatility of Graphite-Aluminium composites"
- Proc. of the 1978 Int. Conf. on Comp. Materials,
ICCM2 AIME, pp 141-152
- [9] Fitzer, E.
Jacobsen, G.
- "Strengthening effect and interfacial adhesion
of boron silicon carbide fibre reinforced aluminum"
- Progress in science and Engineering
of Composites, ICCM IV, T. Hayashi et al
ed., Tokyo, 1982 pp 1315-1322
- [10] Rocher, J.P.
Giro, F.
Quemisset, J.M.
Pailler, R.
- "Procedes d'elaboration des materiaux
composite fibreux à matrice d'alliage
base aluminium"
- Memoires et etudes scientifiques revue
de metalurgie
Fev. 1986, pp 69-85
- [11] Vinson, J.R.
Chou, T.W.
- "Metal-Matrix composite materials"
- Composite Materials and their use in structures
pp 74-95
- [12] Clyne, T.W.
- "Fabrication and microstructure of metal matrix
composites"
- Proceedings of the 6th Int. Conf. on
Comp. Mater. and 2nd Euro. Conf. on
Comp. Mater., Morton et al ed., 1987,
pp 2.275-2.286
- [13] Nishimura, T.
Arai, A.
Morita, M.
Kashiwaya, H.
Kiryu, K.
Miyamoto, T.
- "Properties of SiC whiskers reinforced
6061 aluminium composite"
- Developments in the science and technology
of composites materials, proceedings of the
1st Euro. Conf. on Comp. Mater., ECCM 1, A.R.
Bunsell et al ed., Bordeaux, France, sept. 1985,
pp 628-633

- [14] Ohori,K.
Watanabe,H.
Takeuchi,Y.
"Silicon carbide whisker reinforced aluminium
composites-fabrication and properties"

Materials science and technology,
Vol.3,Jan. 1987,pp 57-60
- [15] Dinwoodie,J.
Moore,E.
Langman,C.
"Metal matrix composites based on short staple
alumina fibres"

Developments in the science and technology
of composites materials,proceedings of the
1st Euro. Conf. on Comp. Mater., ECCM 1,
A.R. Bunsell et al ed., Bordeaux, France, Sept.1985,
pp 623-627
- [16] Hoskings,F.M.
Portillo,F.F.
Wunderlin,R.
Mehrabian,R.
"Composites of aluminium alloys:fabrication and wear
beaviour"

Journal of Materials Science 17,1982
pp 477-498
- [17] Trumper,R.L.
"Metal Matrix Composites-Applications
and prospects"

Metals and Materials,
Nov., pp 662-667
- [18] Wei,W.
"High temperature MMCs for aero-engines:challenge
and potencial"

Metals and Materials
Ag.92, pp 430-434
- [19] Feest,E.A.
"Exploitation of the metal matrix composites concept"

Metals and Materials
Maio 88, pp 273-278
- [20] Janssen,R.
Heussner,H.
"Platelet-Reinforced Ceramic Composite Materials"

Powder Metallurgy International
Vol.23,nº4, Agosto 1991,pp 241-245

- [21] Chadwick, G.A.
Heath, P.J. "Machining metal matrix composites"

Metals and Materials
Fev.1990, pp 73-76
- [22] Mykura, N. "Casting MMCs by liquid pressure forming"

Metals and Materials
Jan.1991, pp 7-10
- [23] Duarte, J.F. Compósitos de Matriz Metálica

Tese de Mestrado
Curso de 1986-88
- [24] Gindy, N.N.Z.
Clegg, A.J. Paper nº32
"Machining of Metal Compósitos"
- [25] Heath, P.J. "Composites in Manufacturing"

Technical Manager
Vol. 7 Nº3 1991
- [26] Ricci, W.S.
Swider, S.E.
Moore, T.J. "Drilling Metal Matrix Composites"

January 1988
- [27] McGinty, M.J.
Press, C.W. "Machining Ceramic Fiber Metal
Matrix Composites"
- [28] SANDVIK "Guida Alla Foratura"
- [29] Lee, S.M. "International Encyclopedia of Composites"

VCM Publishers
New York, 1990
- [30] Cronjager, L.
Meister, D. "Machining of Fibre and Particle-Reinforced
Aluminium"

University of Dortmund/ Germany
January 1992



FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

BIBLIOTECA



0000101451