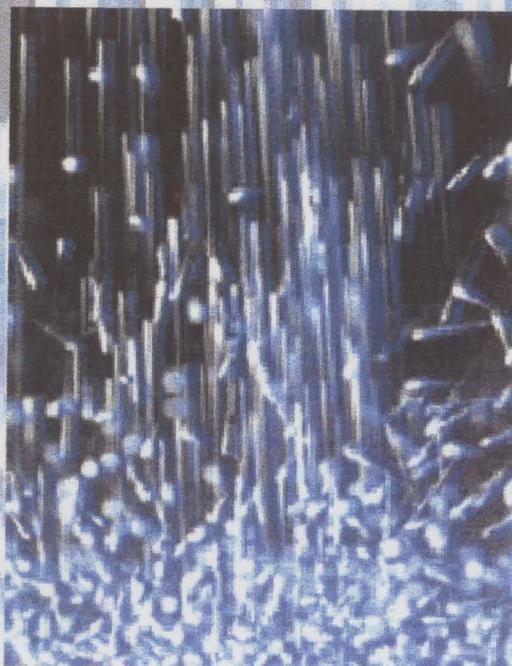


Relatório de Estágio

Verificação do efeito
de "Shot Peening" sobre
o Ferro Fundido Nodular



Colaboração: **PORTCAST S.A.**

10/2000

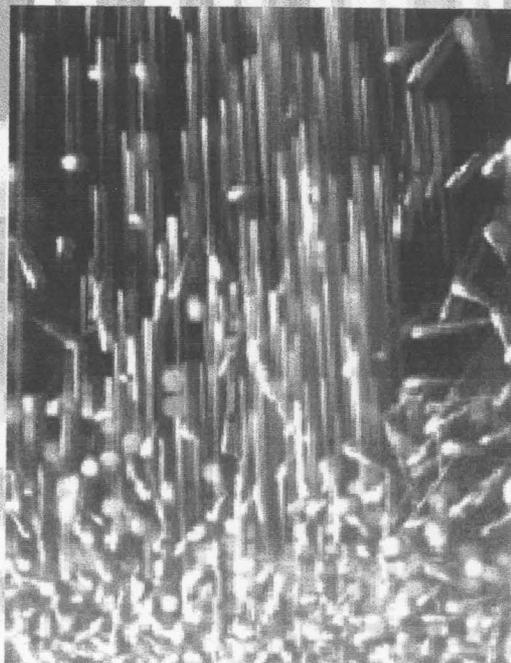
669(047.3)
LEMM 1999/GONm

Martinho F. O. Gonçalves
FEUP - 2000



Relatório de Estágio

Verificação do efeito
de "Shot Peening" sobre
o Ferro Fundido Nodular



Colaboração: **PORTCAST S.A.**

Martinho F. O. Gonçalves
FEUP - 2000



UNIÃO EUROPEIA
Fundo Social Europeu

prodep III

Mais Educação

Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia
Biblioteca

669 (047.5) / LEM 1999 / GON/m

Universidade do Porto Faculdade de Engenharia Biblioteca
Nº <u>88331</u>
CDU _____
Data <u>23 / 04 / 2007</u>

Agradecimentos

Desejo expressar os meus agradecimentos às várias pessoas e instituições que tornaram possível a realização deste trabalho, designadamente:

- ▶ Empresa PortCast S.A. (Maia), nomeadamente aos Eng.^{os} Jorge Silva, Jaime Seoane e Miguel Oliveira
- ▶ Eng.^o Carlos Silva Ribeiro (Dep. de Eng. Metalúrgica e de Materiais - FEUP)
- ▶ Eng.^o Duarte e Angela
- ▶ Laboratório de Ensaio de Materiais do Dep. de Mecânica (FEUP)

Agradecimentos também aos colegas Bruno, Susana e Cristina pelo apoio prestado.

Gostei de cá estagiar e a todos devo a boa impressão que tenho da PortCast.

ÍNDICE	1
I. Objectivo	2
II. Introdução: considerações teóricas	3
i) Resistência à fadiga	3
ii) Ensaios de fadiga	10
III. Procedimento experimental	12
1) Realização dos ensaios de fadiga	12
a) Composição, medidas e tratamento "Shot Peening" dos provetes	12
b) Cálculos para a carga	15
c) Contagem dos ciclos	16
2) Realização dos ensaios de dureza	16
a) Dureza na superfície	16
b) Microdureza Vickers com varrimento em profundidade	17
3) Estudo da produção no sector dos acabamentos	18
IV. Resultados e discussão	19
V. Conclusões	26
VI. Referências bibliográficas	27
VII. Anexos	28

I. Objectivo

Um objectivo deste trabalho foi a verificação experimental da alteração da resistência à fadiga em provetes retirados de uma peça de aplicação no sistema de travão automóvel, quando sujeitos a granalhagem ou “Shot Peening”.

O desenvolvimento deste trabalho percorre as seguintes etapas:

- Determinação da intensidade de “Shot Peening” a aplicar na espessura do provete
- Realização dos ensaios de flexão rotativa simples com diferentes cargas para a determinação da Curva Wohler,
- Comparação da Tensão Limite de Fadiga obtida com dados referentes a provetes não granalhados *,
- Comparação da dureza superficial entre amostras com tempo de exposição ao tratamento de “Shot Peening” variável.

Ainda na sequência da verificação experimental descrita, realizaram-se ensaios de microdureza Vickers com varrimento em profundidade de modo a determinar a espessura convencional de camada endurecida.

Outro objectivo apontado foi estudar a capacidade diária de acabamento dos diferentes fundidos, tentando aproveitar dados reais para estimar o ritmo de acabamento de algumas peças em fase de ensaio, constituindo informação de interesse para o planeamento da produção da empresa. Neste âmbito determinou-se também o tempo de granalhagem necessário para atingir o “Shot Peening” óptimo em cada fundido, e que, é dependente da sua espessura.

* - Recorrendo aos resultados dos ensaios de flexão rotativa realizados pelo Eng. André Pinheiro no seu estágio curricular (com sua permissão).

Foram utilizados provetes segundo a mesma norma e de composição química muito aproximada.

II. Introdução: considerações teóricas

i) Resistência à fadiga

A resistência à fadiga de um material metálico é determinada por imensos factores, internos ou externos às peças. Habitualmente, são realçados: variáveis metalúrgicas, o tamanho, a temperatura, o meio ambiente, a presença de concentração de tensões, o acabamento superficial, revestimentos e tensões residuais na superfície e a tensão média instalada.

Entre estes factores não será feita referência ao meio ambiente nem à tensão média instalada, porque entram em questões de fadiga por corrosão e fadiga por ciclo de tensão repetido, respectivamente, que se distanciam do trabalho desenvolvido neste estágio - apreciação do efeito da operação “Shot Peening” em Ferros Fundidos Nodulares.

Com os esforços feitos sobre o que é possível conseguir na questão do incremento da resistência à fadiga de peças metálicas, tem sido avançadas algumas ideias úteis relacionadas com os mecanismos desse aperfeiçoamento. Pretende-se com esta breve introdução, focar os factores que afectam esse aperfeiçoamento.

a) Variáveis metalúrgicas

A resistência dos materiais à fadiga depende bastante da sua estrutura (dúctil, semi-dúctil ou frágil) e obviamente da sanidade dessa estrutura. Existem, no entanto, alguns processos metalúrgicos de melhorar a resistência à fadiga. São frequentemente processos mecânicos que procuram a redução da concentração de tensões na peça, o acabamento superficial melhorado e a aplicação de tensões residuais de compressão na superfície da peça. As técnicas são variadas e a título exemplificativo citam-se, a laminagem, forjamento a quente por matriz fechada ou por matriz aberta (a frio), têmpera superficial, “Shot Peening”, etc.

Um dos parâmetros utilizados para avaliar a resistência à fadiga é a relação de fadiga, quociente entre a tensão limite de fadiga e a resistência à tracção. Este parâmetro tem aplicação limitada somente a provetes de laboratório com pequenas dimensões, altamente polidos, sem concentração de tensões e ensaiados com uma tensão média nula à temperatura ambiente. [1]

Nos ferros fundidos nodulares, a resistência à fadiga é favorecida pela diminuição da percentagem de perlite na matriz, que se consegue através da redução da percentagem de

manganês e/ou cobre (elementos perlítizantes).

Os nódulos de grafite têm um papel importante nos mecanismos de factura ao promoverem, numa matriz relativamente uniforme, a nucleação de fissuras através de microtensões locais; ao mesmo tempo têm um efeito contrário porque promovem a mudança da curvatura local, da frente da fenda. [2]

b) Geometria e tamanho das peças

Um dos problemas importantes no projecto das peças sujeitas à fadiga é a previsão do comportamento de peças de grandes dimensões a partir dos resultados obtidos em ensaios de fadiga realizados em pequenos provetes laboratoriais. No entanto, os resultados experimentais obtidos nesta área têm sido bastante contraditórios no que se refere à origem e influência de um efeito de tamanho, visto que, em geral, a resistência à fadiga diminui quando as dimensões da peça aumentam. [1]

O tratamento de “S. P.” é normalmente adoptado para peças de pequenas dimensões pela simples razão de se adaptar a um ritmo de produção mais favorável.

c) temperatura

Quando se considera aplicação de cargas dinâmicas sobre peças a elevadas temperaturas, a resistência à fadiga baixa.

As tensões que provocam a rotura por fadiga podem não ter origem mecânica mas sim térmica. As tensões térmicas aparecem quando a variação das dimensões de uma peça provocada por variações de temperatura estiver a ser estrangida. Assim quando a rotura se verifica devido a variações de tensões provocadas por alteração da temperatura, a fadiga denomina-se fadiga térmica.[1]

Este tipo de fadiga só é comum nos equipamentos que trabalham a temperaturas elevadas, não tendo à partida correspondência para o âmbito deste trabalho.

d) Concentração de tensões

As tensões superficiais de tracção prejudicam a resistência da peça à fadiga, pelas mesmas razões que as tensões de compressão a favorecem. Assim, tratamentos de rectificação e/ou maquinagem podem causar zonas com tensões de tracção pelo que devem ser realizadas sob condições controladas. Na maioria dos casos estas zonas reduzem a resistência à fadiga porque são locais de nucleação de fendas.

Estudos efectuados nesta área [1] concluíram que a presença de um entalhe num provete sujeito a carga uniaxial produz três efeitos:

- aumento da concentração de tensões na ponta do entalhe;
- gradiente de tensões orientado da ponta do entalhe para o centro do provete;
- estado triaxial de tensões;

O método de avaliar quantitativamente a influência da concentração de tensões na resistência à fadiga consiste em comparar as curvas do comportamento à fadiga obtidas em provetes lisos e com entalhe. Deste modo pode-se concluir que a curva para o provete com entalhe fica abaixo da curva do provete liso, podendo em muitos casos nem sequer haver uma tensão a partir da qual é suposto o material poder suportar um número infinito de ciclos (Tensão Limite de Fadiga). Para efeitos de representação gráfica esse número é habitualmente 1×10^8 ciclos.

e) Acabamento superficial

Em virtude de quase todas as roturas por fadiga começarem na superfície da peça, o estudo das variáveis que podem afectar o estado da superfície da peça reveste-se de grande importância. Tais variáveis podem ser divididas em três categorias:

- rugosidade superficial da peça
- não homogeneidade de qualquer material existente à superfície
- variações na distribuição de tensões residuais à superfície (**Alínea f**)

Verifica-se experimentalmente, e independentemente de qualquer outra variável, que peças produzidas com elevado polimento e baixa rugosidade têm elevada resistência à fadiga, em comparação com peças de acabamento superficial mais grosseiro. Este comportamento deve-se à existência de menos riscos, poros e outros defeitos superficiais que, com o acabamento superficial melhorado não contribuem para a concentração de tensões e nucleação de fendas. É

sabido que, para iniciar uma fenda numa peça altamente polida, é necessário aplicar um maior número de ciclos de tensão para criar um número suficiente de deslocações que possibilitem a formação das intrusões e extrusões.

A este propósito define-se o factor de acabamento (C_s) que representa o índice de redução do limite de fadiga quando é feita a comparação com uma superfície espelhada, ou seja, o factor de acabamento (com valor entre 0 e 1) diminui com acabamentos mais grosseiros. [3]

Fazendo referência agora à técnica “S. P.”, o acabamento superficial é claramente alterado por ela, pelo que se espera influenciar a resistência à fadiga de um fundido da forma revista em seguida: [4]

☞ Cada partícula de granalha cria uma microcratera pelo que a operação “S.P.” torna a superfície menos polida. Este facto isolado faz prever uma diminuição da resistência à fadiga. A verdade é que com a informação disponível acerca de concentração de tensões e/ou da sensibilidade ao entalhe que cada cratera induz, é difícil contabilizar o efeito nefasto na resistência à fadiga. Contudo, pode-se estimar um valor e a partir daí chegar à conclusão que a acção de “S. P.” nestes casos implica uma redução máxima de 10 % na resistência à fadiga comparada com a superfície polida.

O efeito do factor acabamento pode ser estimado de outra forma. Apesar da rugosidade final da superfície variar com o metal, o tipo de granalha e as condições da operação “S.P.”, as investigações neste aspecto chegaram a perfis de prejuízo para a resistência à fadiga a variar de 4 a 35 % em comparação com a superfície polida mencionada. Deste modo, é certo que o factor acabamento influencia a resistência à fadiga de um material, apesar das investigações não terem sido definitivas na avaliação deste factor.

Quanto às possíveis variações de um material existente à superfície e, reportando apenas aos ferros fundidos nodular e maleável, a resistência à fadiga depende da nodularidade, diminuindo com o aumento desta. Este facto não elimina algum possível incremento na vida à fadiga com a aplicação de “S. P.” nestes materiais. [5]

f) Tensões residuais à superfície da peça

Antes de rever a importância das tensões residuais, existe outra forma clara de actuação da operação “S. P.” que é alvo de considerações e factores adicionais que devem ser discutidos; seja:

- ☞ Cada impacto na superfície envolve uma distorção por baixo dela que produz um encruamento superficial. Este facto pode aumentar a tensão limite de fadiga ou, em certas circunstâncias especiais, diminui-la. [4]

Este ponto refere que a distorção dos grãos metálicos na e abaixo da superfície modifica as suas propriedades físicas, particularmente a resistência à fadiga dessa região. É muito difícil de separar os efeitos da mudança estrutural daquele outro decorrente da mesma operação que são as tensões residuais resultantes. [4]

Os estudos feitos levaram a concluir que independentemente das tensões residuais criadas, o encruamento dos grãos é favorável ao aumento da resistência à fadiga apesar da incerteza da extensão desse efeito. A figura 1 evidencia essa observação numa situação em que pelo menos a maioria das tensões residuais foi removida.

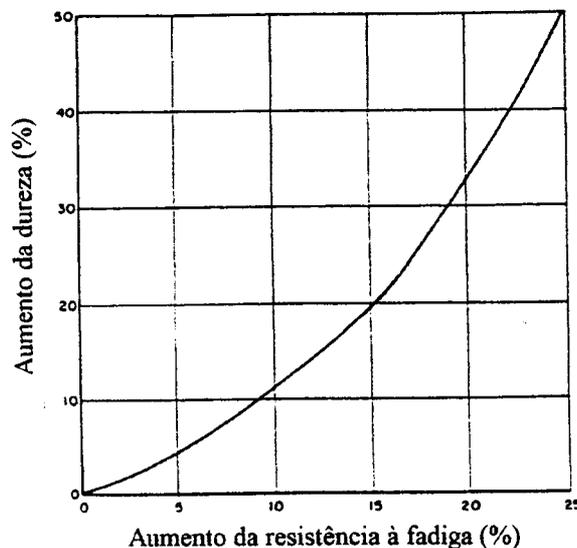


Fig. 1 – Incremento na resistência à fadiga com o encruamento mecânico. [4] – pág. 5

Existem, contudo, argumentos que avançam com a associação do factor acabamento superficial para mostrar que o incremento na resistência à fadiga, pelo encruamento superficial,

é por si só pequeno. São dois factores que variam e remetem para a acção determinante das tensões de compressão instaladas.

Conforme foi dito atrás e, no seguimento do trabalho de seminário realizado, pode-se dizer que a formação de um estado de tensões residuais de compressão à superfície da peça, pela técnica “S. P.”, é o factor mais eficaz no aumento da resistência à fadiga. A sobreposição de uma tensão residual de compressão, na superfície, com uma tensão de tracção aplicada externamente, resulta numa redução das tensões de tracção máximas desenvolvidas na peça e redução da velocidade de propagação das fissuras.

Este efeito é exemplificado na figura 2, onde se representa a distribuição elástica de tensões numa peça sem tensões residuais e submetida ao momento flector M_B (a), a distribuição permanente de tensões que poderá produzir um tratamento de “S. P.” (b) e a distribuição de tensão residual resultante.

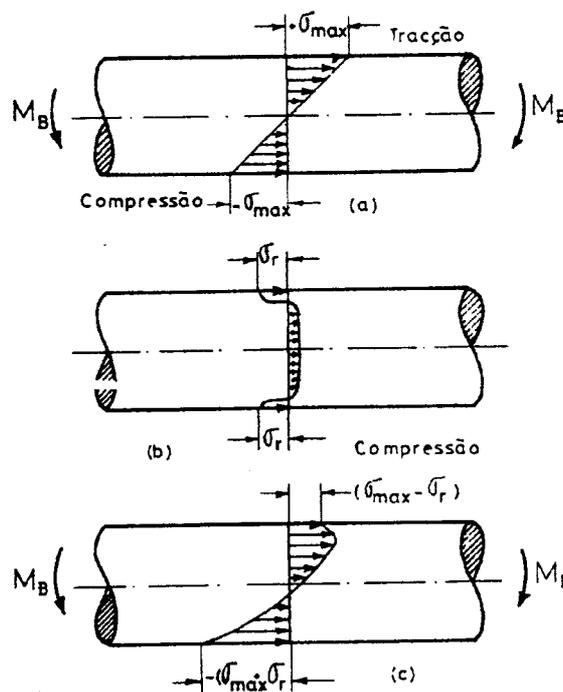


Fig. 2 - Tensões residuais por tratamento superficial. [1] – pág. 941

Verifica-se pois, que a sobreposição das tensões de serviço com as tensões da operação “S. P.” reduz a tensão máxima de tracção que se estende para o interior da barra (superfície), embora aumente as tensões de compressão. Assim, a iniciação das fendas de fadiga é dificultada porque se reduziram as tensões de tracção na superfície. O aumento das tensões de compressão

não tem tanta importância devido ao facto das tensões de compressão tenderem a fechar as faces das fendas impedindo a propagação das mesmas. [1]

Assim, é certo que, a fractura por fadiga não pode ser associada a tensões de compressão. Mas, porventura operações axageradas de “S. P.” podem provocar aumento de tensões de tracção resultantes e, conseqüentemente, contribuir para a redução da resistência à fadiga. Apesar deste encurtamento na vida de uma peça não ser proporcional, ele pode acontecer. [6]

Por esta razão é que as variáveis de qualquer processo “S. P.” (velocidade, tipo, tamanho e dureza da granalha) são de importância ímpar (conforme detalhado no relatório de seminário)

Como nota conclusiva há a destacar que é de consenso geral que para uma aplicação específica existe também uma operação de “S. P.” óptima embora ainda falte clarificar melhor este assunto no que respeita às tensões axiais criadas. São muitos os factores associados a cada aplicação de “S. P.”, alguns dos quais, actualmente, de quantificação a qualificação imprevisível. [4]

ii) Ensaios de Fadiga

Os ensaios de fadiga podem ser realizados em provetes retirados do material ou, nas próprias peças, estruturas ou detalhes.

Frequentemente os ensaios em provetes só têm interesse comparativo porque, entre outras razões, só muito raramente o provete a ensaiar terá geometria idêntica à peça em serviço. Porém, são os ensaios mais vulgarizados por serem os de mais fácil execução e menor custo de realização [1].

Os ensaios em estruturas ou peças são mais utilizados para fins comparativos em termos de materiais, para optimização de formas geométricas e estabelecimento de solicitações admissíveis. São geralmente ensaios dispendiosos que só se justificam se o custo da construção for elevado e se a informação obtida do ensaio for de grande importância para a optimização do projecto [1].

Sendo vários os equipamentos e técnicas utilizadas na execução destes ensaios, somente será referido o ensaio executado nos provetes objecto deste estudo, ou seja, flexão simples e rotativa.

Este ensaio está normalizado (por exemplo DIN 50113) e consiste em fazer rodar, a uma velocidade de rotação constante, um provete encastrado numa das extremidades e sujeito a uma força de flexão simples (ou pura) na outra extremidade (fig. 3). [3]

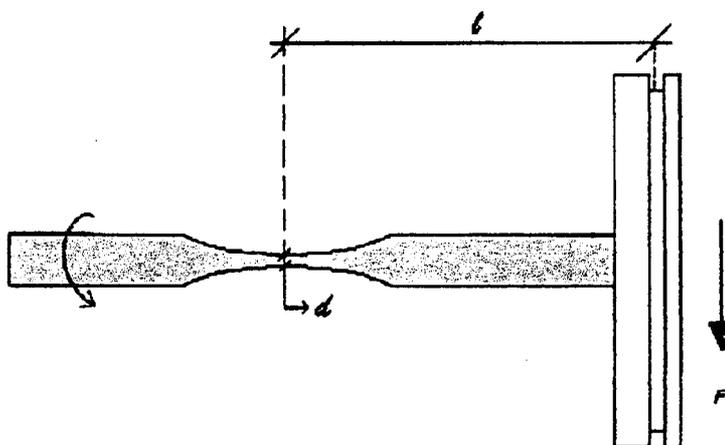


Fig. 3 – Esquema representativo da roldana montada nos provetes.

A curva de apresentação dos resultados - curva S-N ou de Wöhler - consiste num gráfico semi-logarítmico de tensão máxima versus número de ciclos necessários para a rotura e, caracteriza-se pelo aparecimento de um patamar correspondente a uma Tensão Limite de Fadiga para o caso do Fe, Ti e suas ligas (Vide figura 4).

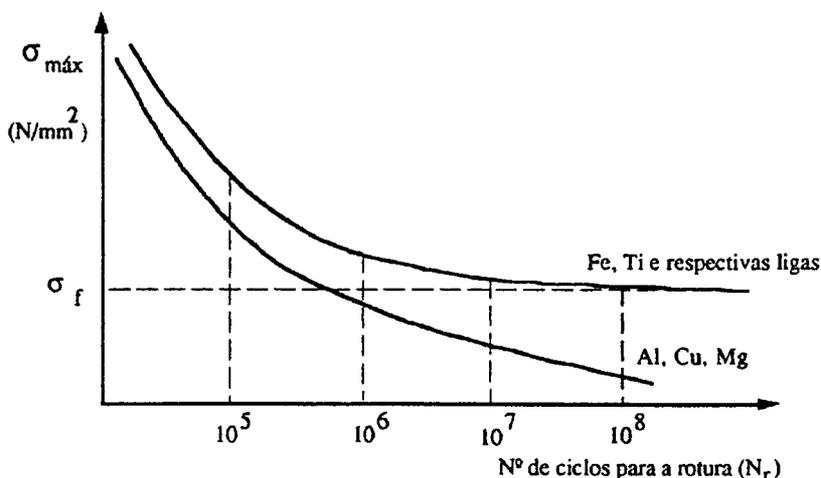


Fig. 4 – Curvas S-N para materiais com limite à fadiga definido (Fe, Ti e respectivas ligas) e materiais com limite convencional (Al, Cu, Mg). [1] – pág. 132

Idealmente deve-se realizar um número de ensaios algo elevado (20 a 30 provetes com 4 a 5 provetes para cada nível de tensão previamente escolhido) justificado pela grande dispersão de resultados que caracteriza estes ensaios. São imensos os factores que justificam a dispersão, nomeadamente as variações dimensionais dos provetes, acabamento superficial, falta de homogeneidade do material e até, o nível de precisão da máquina de ensaios. [3]

Segundo a norma DIN 50113 as tensões para ensaio devem ser escalonadas por forma a que um provete, pelo menos, rompa a um nível de tensão elevado e uma outra em que resista até à tensão limite de fadiga.

A tensão máxima nominal deve ser tomada 20 % acima de metade da tensão de rotura do material. Por exemplo, para um ferro fundido nodular com tensão de rotura de 700 MPa, a tensão máxima nominal de ensaio à fadiga deveria situar-se próximo de 500 MPa. [3]

III. Procedimento experimental

1) Realização dos Ensaios de Fadiga

Estes ensaios são de grande importância para a empresa, já que as peças analisadas fazem parte do sistema de travão de automóveis. A par de uma fabricação e inspecção final cuidada, a noção do comportamento à fadiga do produto acabado (de preferência maquinado) é particularmente importante para aprovar a produção de um dado tipo de fundido.

Nesta sequência, e como não foi possível realizar ensaios de fadiga dinâmica por ressonância (ou vibração) em máquinas Wöhler, obviou-se esta eventualidade pela realização de ensaios de flexão simples e rotativa no equipamento pertencente ao Departamento de Eng. Metalúrgica e de Materiais desta Faculdade (FEUP).

Passa-se agora, à descrição propriamente dita das tarefas realizadas.

a) Composição, medidas e tratamento “Shot Peening” dos provetes

Maquinou-se os provetes a partir do braço de maior espessura da peça da figura 5 (de ferro fundido nodular ferrítico-perlítico), com a seguinte composição:

Elemento	C	Si	Mg	Cu	Mn	S	P	Cr
%	3,8	2,69	0,044	0,47	0,21	0,009	0,0014	0,024

Segundo o objectivo de comparar os resultados à fadiga destes provetes com os outros testados em Abril do ano transato, haveria que assegurar a mesma composição do material. Neste sentido o materiais escolhidos apresentavam Carbono Equivalente da ordem de 4,7. A composição química era:

Elemento	C	Si	Mg	Cu	Mn	S	P	Cr
%	3,8	2,66	0,042	0,43	0,22	0,012	0,012	0,011

Encontra-se apresentado na fig. 6 as dimensões recomendadas pela a norma AFNOR para os provetes a utilizar. Após a sua maquinagem nas instalações do Centro de apoio à Indústria da

Fundição (Cinfu), efectuaram-se medições da secção de menor diâmetro dos provetes e da distância desta à extremidade dos mesmos, no sentido de determinar a carga total a aplicar (explicado em 2. b)).

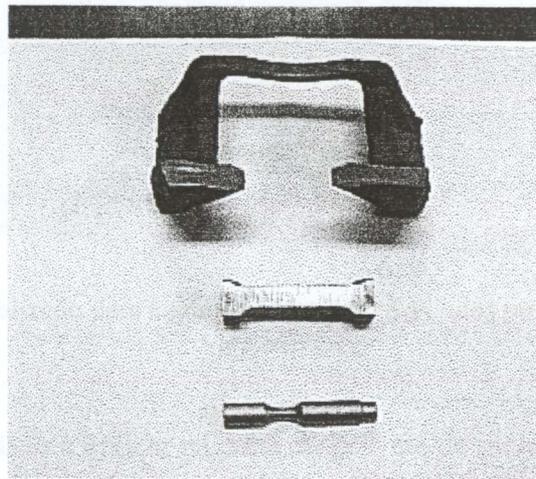


Fig. 5 – Amostragem da zona onde foram retirados os provetes.

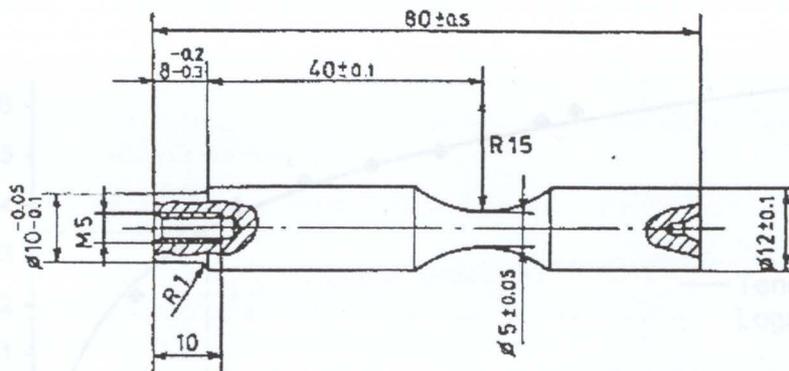


Fig. 6 - Esquema das dimensões dos provetes (em mm) segundo a norma francesa A 03 - 402.

As medições decorreram numa mesa micrométrica de 50 mm com uma ampliação de 20x, no Laboratório de Ensaios de Materiais, pertencente ao departamento de Engenharia Mecânica da FEUP, tendo-se obtido os valores da tabela 5 (apresentada em anexo 1).

Para o tratamento de “S. P.” dos provetes foi necessário determinar o tempo de granalhagem específico para este caso, e estudar também a melhor forma de acondicionar os provetes na máquina. (fig. 7)

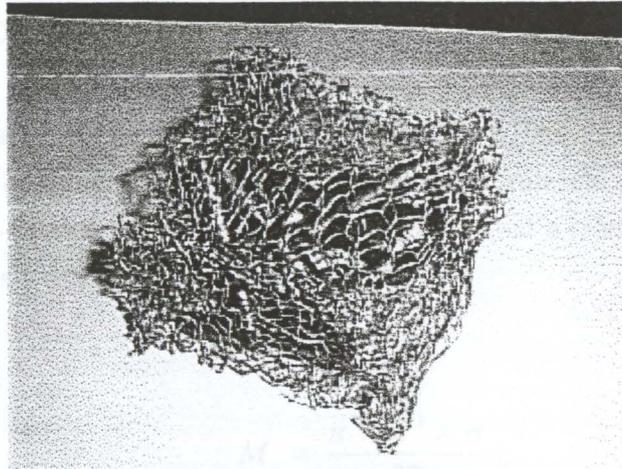


Fig. 7 – Dispositivo utilizado para a granalhagem por “S.P.” dos provetes.

No que respeita à intensidade a aplicar na zona do provete de menor espessura (5,0 mm), e ao tempo de ciclo correspondente a essa intensidade, tomou-se conhecimento pela literatura* e do gráfico da fig. 8, respectivamente. Assim, o tempo de tratamento adoptado para obtenção de $\cong 0,30$ Almen A foi, por acordo entre a partes, de 5 minutos.

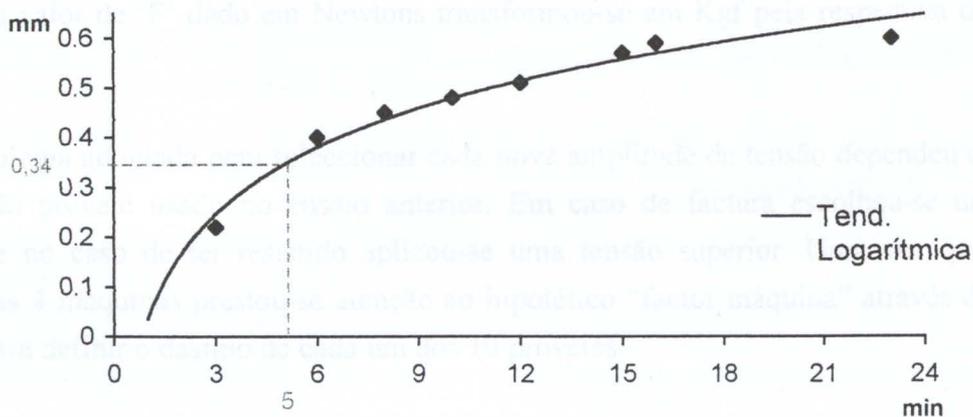


Fig. 8 – Gráfico da Curva Almen A obtida pelo Teste Almen com granalha de marca Amasteel e tipo Amamix 23

* - “Blast Cleaning and Allied Processes” – pág. 294

b) Cálculos para a carga

Os cálculos para a carga a colocar foram efectuados com base na bibliografia [7] e [8]. Paralelamente com o que precede e sabendo o valor do limite de fadiga básica dos ferros fundidos comuns, ([5]- tabela 5) fica-se com uma ideia de qual a relação tensão - nº de ciclos que o material testado suportaria.

Apartir da fórmula: [7]

$$M = \frac{\pi \times d^3 \times \sigma}{32}$$

Sendo $M = F \times l$ equivale:

$$F = \frac{\pi \times d^3 \times \sigma}{32 \times l} \quad (\text{equação 1})$$

Em que: **F** = Força de carga

d = Menor diâmetro do provete

σ = Amplitude da tensão que se deseja exercer

l = Dimensão entre o ponto de menor diâmetro e o local de aplicação da carga

M = Momento da força

Para cada valor de 'F' dado em Newtons transformou-se em Kgf pela respectiva divisão por 9,8.

A metodologia adoptada para seleccionar cada nova amplitude de tensão dependeu da fractura ou não do provete usado no ensaio anterior. Em caso de factura escolheu-se uma tensão inferior e no caso de ter resistido aplicou-se uma tensão superior. Uma vez que estavam envolvidas 4 máquinas prestou-se atenção ao hipotético "factor máquina" através de um pré-sorteio para definir o destino de cada um dos 10 provetes.

c) Contagem dos ciclos

O nº de ciclos efectuados não é dado directamente pelo contador incluído no equipamento. A obtenção do nº de ciclos descreve-se da seguinte forma:

Frequência eléctrica do equipamento (motores) = 50 Hz (Rotações p/ seg.) \Leftrightarrow 3000 rot./min.

Cada contador atinge o valor de 42,5 contagens por minuto, o que equivale a dizer que cada contagem corresponde a 70,6 rotações.

Com efeito, este foi o factor multiplicador utilizado para a conversão ao número de ciclos efectuados.

2) Realização dos ensaios de dureza

a) Dureza na superfície

A determinação da dureza à superfície das peças com diferente tempo de tratamento de “S. P.” implicou, em primeiro lugar, a escolha do tipo de dureza a realizar. Para esta escolha foram ponderados dois princípios: a influência do estado superficial das amostras nos resultados (para o caso de baixas cargas de teste); não haver interesse em aplicar elevadas cargas em que a cratera excedesse em muito a profundidade do tratamento mecânico.

Decidiu-se optar pelo teste Rockwell B, e no caso da obtenção de valores fora dos parâmetros deste teste ($30 < \text{HRB} < 100$) bastaria seguir as regras de procedimento normativo (ASTM E 18) aplicável aos F. F. Nodulares endurecidos. Ou seja, como se verificou existirem valores $\text{HRB} > 100$ recorreu-se à escala HRC.

Ulteriormente recorreu-se ao CINFU para a realização de teste Vickers uma vez que se obtiveram valores de dureza HRC fora do campo de aplicação.

As amostras para estes ensaios apresentavam-se em forma de cubo, para se adaptar às máquinas de ensaio, e não tinham qualquer polimento ou desbaste.

b) Microdureza Vickers com varrimento em profundidade

Nesta fase do trabalho as acções tomadas foram conduzidas pela norma NP – 2413 na qual está descrito o método para a determinação de camadas superficiais endurecidas (anexo 2). Esta norma é específica para os aços, mas a sua aplicabilidade ao ferro fundido não é posta em causa.

Realizou-se, portanto, os ensaios de microdureza Vickers a várias distâncias da superfície para a determinação da espessura convencional de camada endurecida que seria, à priori, inferior a 0,3 mm.

Optou-se pela preparação de amostras com corte em bisel simples (ver anexo 2 – fig. 2) para facilitar a tarefa de medição da dureza nas distâncias à superfície pretendidas. A localização exacta de cada distância ficou a cargo dos micrómetros existentes no equipamento de microdureza utilizado. Posteriormente todas as distâncias foram convertidas em distância “real”, ou seja, pertencentes a um plano perpendicular à superfície, recorrendo à formula de cálculo seguinte:

$$e = l \operatorname{sen} \alpha$$

em que:

e = distância da impressão à superfície

l = comprimento do bisel

α = ângulo do bisel

Executou-se ensaios de microdureza com impressão quer em regiões de constituinte ferrítico quer em colónias de perlite.

3) Estudo da produção no sector dos acabamentos

Durante o período deste estágio foi-me solicitado um estudo da capacidade produtiva das linhas de acabamento em função do tipo de peça, focando particularmente o funcionamento das granalhadoras.

A necessidade da realização deste estudo não surgiu de um problema em particular mas, para dar uma base teórica de qual seria a cadência que seria possível atingir em cada peça (por linha de acabamento) em situação “normal” de funcionamento. As questões que, no meu ponto de vista, o estudo iria abordar eram:

- a necessidade real de recorrer esporadicamente a uma quarta máquina de granalhar para o abastecimento das três linhas de acabamento na satisfação dos objectivos planeados diariamente;
- a proporção do material granalhado versus material aprovado, como consequência da parte remanescente de gitos e alimentadores que entra nas granalhadoras.

Assim, foi desenvolvida uma recolha de dados, incluindo a pesagem dos contentores metálicos (e/ou caixas de madeira) prontas para descarga nas máquinas de granalhar e, a determinação do nº de peças que entra em cada caixa ou contentor. Os cálculos efectuados estão apresentados em anexo 3.

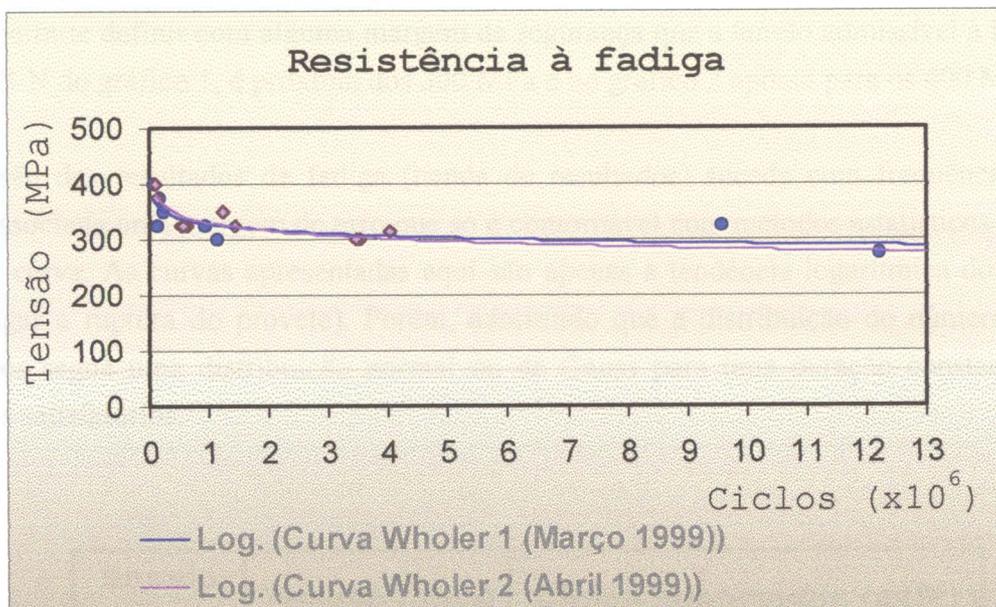
Uma simplificação praticada foi reunir as peças (todas elas com uma referência identificativa) em grupos mais ou menos homogêneos em termos de aparência física e de peso. Admitiu-se, para o cálculo da quantidade aprovada por contentor, o valor médio dos pesos unitários de cada grupo.

Na parcela “tempo necessário para atingir a intensidade de “S.P.” aconselhada” partiu-se da informação disponível na bibliografia, em que é dada essa intensidade efectiva em função da espessura da peça. Seguidamente consultou-se o gráfico da curva AlmenA (à semelhança da granalhagem dos provetes). As 3 máquinas de granalhar são idênticas pelo que a curva de intensidade Almen obtida é reprodutível.

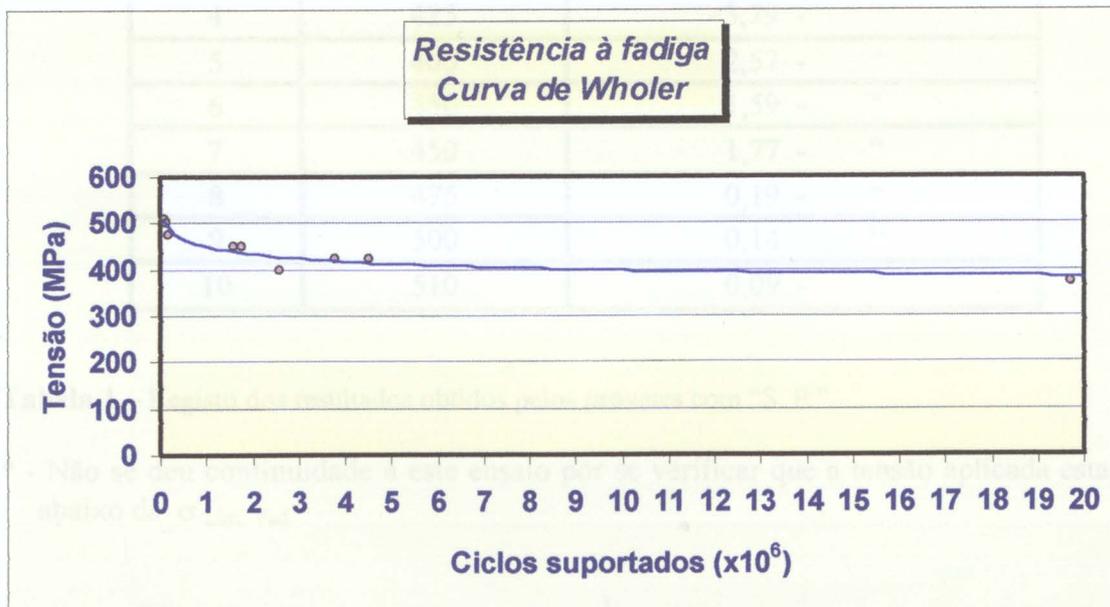
Este estudo permitiu, por exemplo, chegar a valores do nº de peças que é possível controlar por hora e, a partir daí fazer a sua validação experimental, não obstante, o número de operadores por linha de acabamento, na prática não permanecer constante.

IV. Resultados e discussão

1) Resultados dos ensaios de fadiga



Gráf. 1 – Resistência à fadiga em flexão rotativa simples obtida em 1999.



Gráf. 2 – Resistência à fadiga por flexão rotativa simples desenvolvida por provetes com tratamento de “S. P.”.

Os gráficos 1-e 2 permitem uma comparação “sui generis” da resistência à fadiga com provetes idênticos em condições de ensaio idênticas, aos quais apenas os do gráfico 2 sofreram tratamento de “S.P.”.

O limite de fadiga respectivo a cada situação não pode ser conhecido com precisão porque isso requeria maior número de provetes para o ensaio. No entanto, a interpretação de cada um dos gráficos permite definir com alguma margem de segurança que a tensão admissível à fadiga, a partir da curva S-N do gráfico 1, é próxima dos 300 MPa e no gráfico 2 aponta para os 400 MPa.

A dispersão dos resultados de fadiga (banda de resultados) sucede com frequência e daí estar sempre associada uma margem de erro que só é contornável com métodos estatísticos para se traçar a melhor curva. As curvas apresentadas aqui são apenas a tendência logarítmica dos pontos (que deram lugar a ruptura do provete). Porém, admitindo que a distribuição do número de provetes fracturados segue uma distribuição normal ou de Gauss para uma duração constante, obteve-se resultados satisfatórios.

Ensaio n°	Tensão (Mpa)	Ciclos suportados (x10⁶)
1	250	3,29 – RESISTIU *
2	375	19,20 - RESISTIU
3	425	4,49 – FRACTUROU
4	425	3,79 - “
5	400	2,57 - “
6	450	1,59 - “
7	450	1,77 - “
8	475	0,19 - “
9	500	0,14 - “
10	510	0,09 - “

Tabela 1 – Registo dos resultados obtidos pelos provetes com “S. P.”

* - Não se deu continuidade a este ensaio por se verificar que a tensão aplicada estaria muito abaixo da $\sigma_{Lim. Fad.}$

2) a) Resultados dos ensaios de dureza na superfície

Dureza Rockwell B (30 – 100 HRB)				
Carga = 981 ± 4,57 N				
Amostra sem "S.P."	Amostra c/ 8 min. "S.P."	Amostra c/ 10 min. "S.P."	Amostra c/ 12 min. "S.P."	Amostra c/ 14 min. "S.P."
92	82	109	95	113
104	95	100	95	114,5
99	93	100	96,5	111,5
98	97,5	104	98	104
101	111	109	107	107,5
105,3	98	97,5	97,5	116
97	92,5	105	101,5	103
84,5	103	108	106	111
77,5	98	105,5	103	113
HRBméd.=95,4	HRBméd.=96,6	HRBméd.=104,2	HRBméd.=100	HRBméd.=110,3

Tabela 2 – Valores de dureza Rockwell B na superfície das amostras

Dureza Rockwell C (20 – 70 HRC)				
Carga = 1471 ± 8,83 N				
Amostra sem "S.P."	Amostra c/ 8 min. "S.P."	Amostra c/ 10 min. "S.P."	Amostra c/ 12 min "S.P."	Amostra c/ 14 min "S.P."
16	12	17	25	17
8	17,5	27	20	28
16	8	21,5	15	30
14	10	22	17	25
22	22,5	17	27,5	35
17	20,5	22	17	21
6	19	22	28	17,5
24	17	22	24,5	15
16	19	19	26,5	22
HRCméd.=15,4	HRCméd.=16,2	HRCméd.=21,1	HRCméd.=22,3	HRCméd.=23,3

Tabela 3 – Valores de dureza Rockwell C na superfície das amostras

As tabelas anteriores são os valores que se obtiveram em termos de dureza HRB e depois em termos de HRC, existindo em ambas valores fora do seu campo de aplicação. Ainda assim e, apesar da não validade científica dos resultados, deve-se denotar a tendência de valores de dureza crescente com intensidade de “S. P.” crescente.

Só é possível comentar que o tipo de dureza escolhido não é o mais adequado. Por isso, seguem-se os resultados de dureza Vickers de três das amostras anteriores.

Dureza Vickers (HV 30)		
15 seg. carga		
Amostra s/ “S.P.”	Amostra c/ 8 min.	Amostra c/ 14 min.
130	190	169
124	158	174
111	145	145
125	157	192
118	153	235
126	215	113
133	207	156
112	190	182
HV méd. = 122,3	HV méd. = 176,9	HV méd. = 171,2

Tabela 4 – Dureza Vickers obtida na superfície de cada amostra após uma ligeira rectificação superficial.

Vê-se confirmada pela tabela 4 a tendência de um incremento real na dureza superficial (ou próximo dela) quando sujeita a “Shot Peening”. Registou-se todavia uma significativa dispersão de valores.

A dispersão dos valores pode advir da heterogeneidade da estrutura dos ferros fundidos nodulares em conjunto com uma carga de teste não muito elevada (30 Kgf). Caso contrário perder-se-ia a sensibilidade à camada endurecida com as tensões de compressão uma vez que a microcratera teria uma distância à superfície superior à camada endurecida.

2] b) Resultados dos ensaios de microdureza Vickers

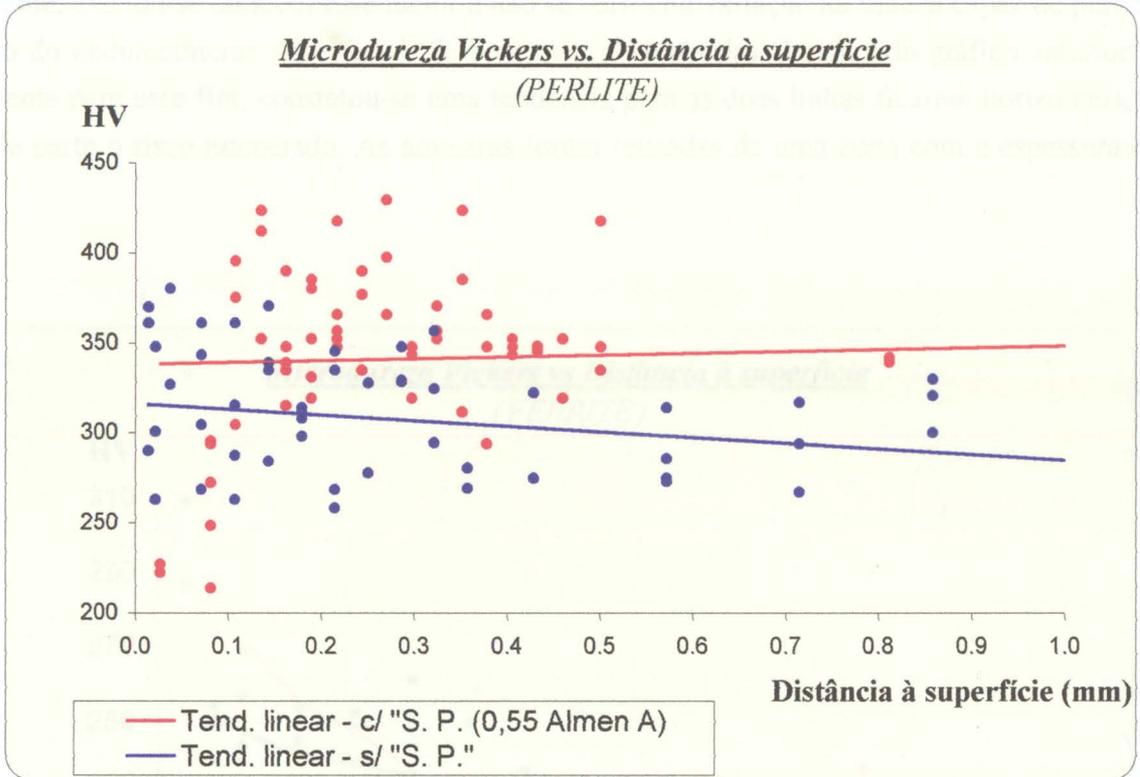


Gráfico 4 – Variação de dureza na perlite em função da distância à superfície (carga de 300 gr.).

Pela interpretação do gráfico anterior não é possível dizer de forma concludente que existe uma camada superficial endurecida. A dispersão de durezas associada a cada amostra é considerável apesar de, normalmente neste tipo de ensaios, só se considerar como variação situações em que a diferença entre dois valores é maior que 10 HV.

A dificuldade de leitura do comprimento exacto das diagonais de impressão, a par com alguma dificuldade sentida ao apontar a pirâmide de impressão unicamente na perlite pode ter estado na origem da dispersão de valores verificada. De referir também que os valores de dureza na amostra com "S.P." na zona mais próxima da superfície podem parecer discordantes; mas, um factor que pode ter contribuído para tal foi a ligeira convexidade na aresta do corte em bisel que aconteceu aquando do polimento de preparação da amostra.

Con isto, importa sugerir como conclusão que apesar das linhas de tendência não estarem sobrepostas não se pode falar da existência e extensão de uma camada superficial endurecida pelas tensões de compressão residuais.

Na verdade, não sendo a perlite constituída por monocristais, mas sim um constituinte bifásico sem fronteiras de grão, não era esperada uma conclusão claramente favorável. Contudo, sabendo que a dureza intrínseca à perlite é função da distância interlamelar para uma dada percentagem de carbono constante, avaliou-se também esse factor e não se verificou variação na dureza capaz de perturbar o estudo do endurecimento superficial. Se bem que, a escala das abcissas do gráfico anterior não é suficiente para esse fim, constatou-se uma tendência para as duas linhas ficarem horizontais, o que põe de parte o risco anunciado. As amostras foram retiradas de uma zona com a espessura de 1,5 cm.

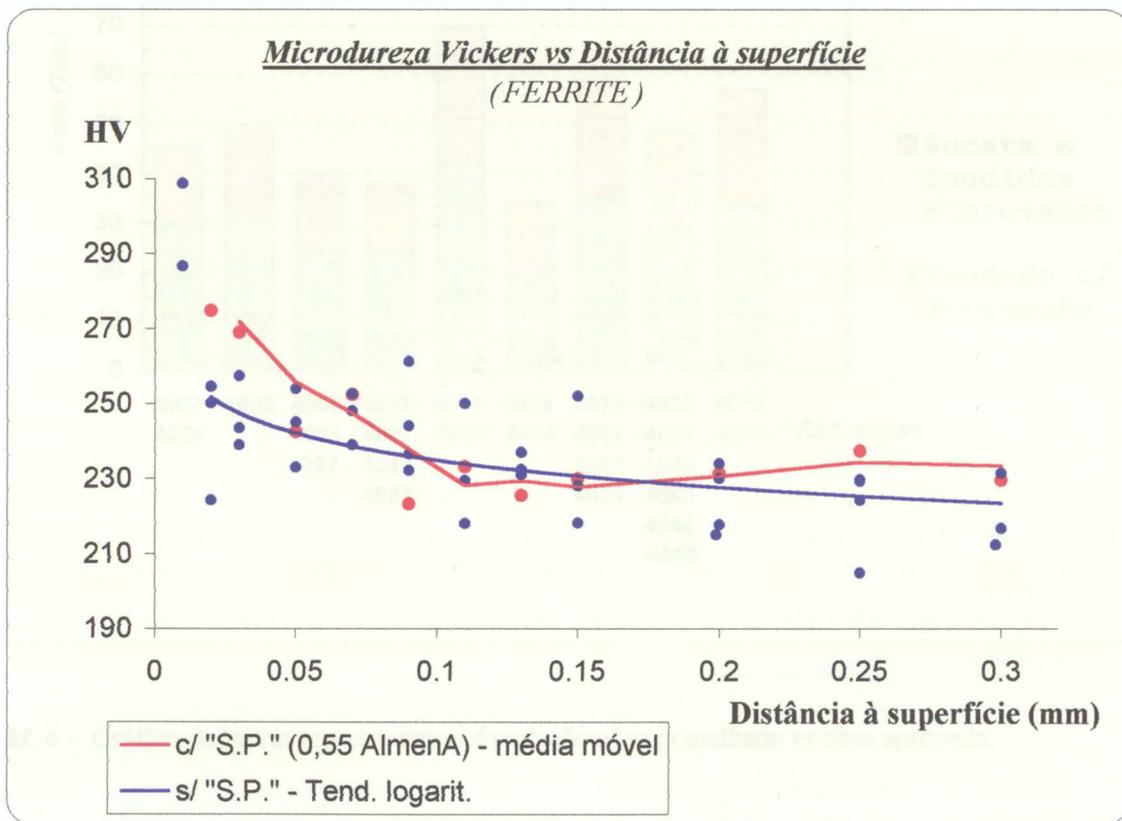


Gráfico 5 – Dispersão de valores de dureza na ferrite em função da distância à superfície (carga de 300 gr.).
 Nota: Cada marca de dureza da amostra c/ “S. P.” (vermelho) é o ponto médio de três valores.

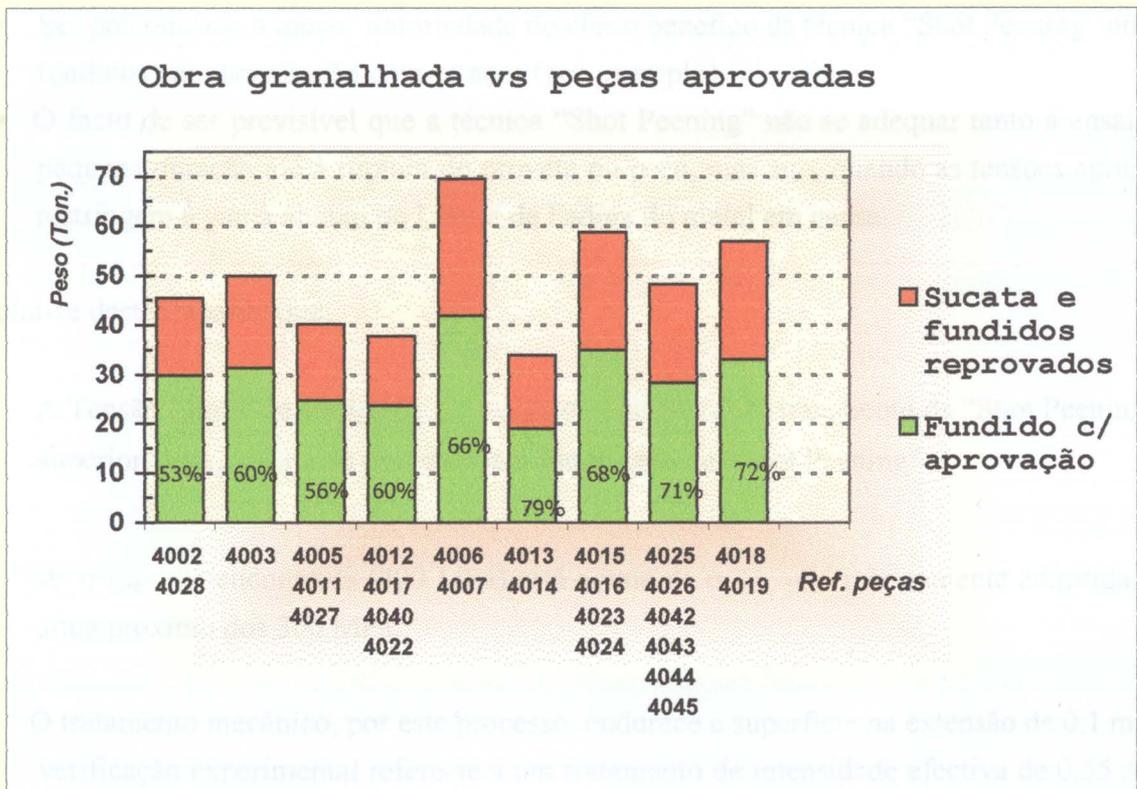
No gráfico 5, respeitante ao constituinte ferrite (necessariamente monofásico), observa-se um comportamento mais evidente relativamente ao que se pretende determinar.

A dispersão entre os valores é menor por causa da ferrite se apresentar esbranquiçada e a leitura das diagonais de impressão ser mais fácil.

A linha de tendência adoptada para evidenciar o comportamento dos pontos no caso da amostra com “S.P.” é a média móvel. Esta linha é mais esclarecedora do que, por exemplo, a tendência

logaritmica. Não é muito fácil extrair o valor da espessura convencional de camada endurecida mas já parece existir e rondar os 0,1 mm.

3) Resultados do estudo efectuado no sector do acabamento



Gráf. 6 - Gráfico de barras representativo da relação obra granalhada vs obra aprovada.

O gráfico anterior é a síntese dos cálculos do anexo 3 e serviu para evidenciar que uma parte substancial do material granalhado é constituída pelos alimentadores, fundidos reprovados (admitidos 3%) e alguma gítagem que não foi separada na operação de quebra-gitos.

Para se aumentar a percentagem de fundido que é aprovado uma hipótese sempre válida, entre outras, é tentar aumentar a eficácia de separação primária da “sucata” de entre os fundidos. Esta acção tem ainda a vantagem de diminuir a probabilidade de avaria mecânica das máquinas de granalhar derivada exactamente a essa “sucata”.

V. Conclusões

O contexto deste trabalho justifica que sejam lembrados dois aspectos de relevo:

- ▼ Ser preconizada a menor notoriedade do efeito benéfico da técnica “Shot Peening” em ferros fundidos em comparação com os aços (por exemplo).
- ▼ O facto de ser previsível que a técnica “Shot Peening” não se adequar tanto a ensaios com pequena duração até à ruptura do provete ou peça, mas sim, quando as tensões aplicadas se restringem à gama abaixo do Limite de Fadiga do metal em causa.

Conclui-se deste trabalho que:

- ➔ A Tensão Limite de Fadiga ($\sigma_{\text{Lim. Fad.}}$) dos provetes com tratamento de “Shot Peening” é superior à $\sigma_{\text{Lim. Fad.}}$ dos provetes sem tratamento de “Shot Peening”
- ➔ A $\sigma_{\text{Lim. Fad.}}$ encontrada (400 MPa) está acima da $\sigma_{\text{Lim. Fad.}}$ teóricamente admitida, que se situa próximo dos 300 MPa.
- ➔ O tratamento mecânico, por este processo, endurece a superfície na extensão de 0,1 mm. Esta verificação experimental refere-se a um tratamento de intensidade efectiva de 0,55 AlmenA praticado pela empresa PortCast S.A. Paralelamente não existe um efeito notório de endurecimento da perlite, contrariamente à ferrite.

VI. Referências bibliográficas:

[1] – Branco, Carlos A. G. - “Mecânica dos Materiais” cap. 14, 1985

**[2] – “Manual de Service d’Entretien pour Machine à Galeter les Vilebrequins”
Referência Hegenscheidt tipo 7812 k**

[3] – J. P. Davim, A. G. Magalhães - “Ensaio mecânicos e tecnológicos” Estante Editora, Cap. 8

[4] – Horace J. Grover “The Shot Peener - Factors by which Shot Peening influences the fatigue strength” Vol. 12 – (reprinted with permission of SAE Technical Paper 540138)

[5] – D. M. Stefanescu, “Cast Irons – Termodinamic Properties of Iron-Base Alloys” University of Alabama, pág 662

[6] – J. Plaster – “Blast Cleaning and Allied Processes”. ISBN 90199 - 4030

[7] – Henri Paul LIEURADE et la Commission Fatigue des Métaux de la Societé Francese de Métallurgie, “La pratique des essais de fatigue” – PYC Édition

[8] – Metals Handbock, “Mechanical Testing”, ASM, Vol. 8, pág. 361 a 435

VII. Anexos

ANEXO 1

Tabelas de registo das medições

Tabela 5 – Valores obtidos da medição dos provetes

Provete n°	Diâmetro (mm)		Braço (mm)
1	4,997	5,011	45,035
2	5,023	5,007	44,896
3	5,006	4,982	44,603
4	5,031	5,013	44,816
5	4,998	4,983	45,023
6	4,942	4,965	45,220
7	4,998	5,022	45,107
8	4,982	5,008	44,751
9	4,995	5,006	43,789
10	4,996	4,988	44,935

Tabela 6 – Valores obtidos nas medições dos provetes usados em 1999

Série	Provete n.º	Diâmetro (mm)		Braço (mm)
1º	1	5.029	5.045	43.980
	2	5.050	5.056	43.817
	3	5.042	5.043	43.707
	4	5.012	5.030	44.010
	5	5.007	5.048	44.277
	6	5.041	5.046	43.536
	7	4.974	4.986	44.119
	8	5.037	5.044	44.218
	9	5.045	5.050	44.606
	10	5.041	5.036	44.030
2º	1	5.023	5.042	44.175
	2	5.041	5.031	44.438
	3	5.021	5.014	44.624
	4	5.037	5.088	44.284
	5	5.070	5.050	43.871
	6	5.035	5.038	44.497
	7	5.043	5.077	44.407
	8	5.022	5.013	43.954
	9	5.060	5.043	44.113
	10	5.058	5.072	44.000

ANEXO 2

NORMA PORTUGUESA	<p style="text-align: center;">AÇOS</p> <p style="text-align: center;">Determinação da espessura de camadas superficiais endurecidas</p>	<p style="text-align: center;">NP-2413</p> <p style="text-align: center;">1984</p>
<p>Aciers. Détermination de l'épaisseur des couches durcies superficielles</p>		
<p style="text-align: right;">DOCUMENTO DE TRABALHO</p> <p>1 - OBJECTIVO</p> <p>A presente Norma destina-se a fixar os processos de medida da espessura de camadas superficiais endurecidas, obtidas por acabamento mecânico (granalhagem, polimento), tratamento térmico (têmpera superficial) e tratamento termoquímico (cementação, nitruração).</p> <p>2 - CAMPO DE APLICAÇÃO</p> <p>Esta Norma só é aplicável à determinação da espessura de camadas superficiais endurecidas que apresentem continuidade com o metal base.</p> <p>O processo descrito na secção 5 aplica-se a camadas de espessura inferior ou igual a 0,3mm, obtidas por acabamento mecânico e tratamentos térmico ou termoquímico, e o processo descrito na secção 6 aplica-se a camadas de espessura superior a 0,3mm, quando obtidas por cementação, têmpera superficial ou carbonitruração.</p> <p>3 - REFERÊNCIAS</p> <p>NP-1457- Aços e ferros fundidos. Preparação de provetes para micrografia</p> <p>NP-1697 - Metais ferrosos. Tratamentos térmicos. Vocabulário</p> <p>I-1635 - Produtos siderúrgicos. Exame macrográfico. Ataque com ácidos fortes, sais de cobre e persulfato de amónio.</p> <p style="text-align: right;">(Continua)</p>		
<p>DR III Serie nº197.</p> <p>de 1984-08-25</p>		<p>CT 12</p>

4 - DEFINIÇÕES

4.1- Espessura total da camada endurecida - Distância entre a superfície e a zona a partir da qual não se detecta nenhuma alteração em relação à estrutura ou ao valor da dureza iniciais.

4.2- Espessura convencional da camada endurecida - Distância entre a superfície e a zona com a estrutura de referência ou o valor da dureza de referência.

4.2.1 - Espessura convencional de cementação - Distância entre a superfície e a zona cuja dureza Vickers sob uma carga de 9,8N (1kgf) ou 2,94N (0,3kgf) (consoante a espessura é superior a 0,3mm ou inferior ou igual a 0,3mm), é igual a 550HV. Esta espessura é designada pelas letras DC e o seu valor expresso em milímetros.

4.2.2- Espessura convencional de têmpera superficial - Distância entre a superfície e a camada onde a dureza Vickers, sob uma carga de 9,8N (1kgf) ou 2,94N (0,3kgf) (consoante a espessura é superior a 0,3mm ou inferior ou igual a 0,3mm), é igual ao valor da dureza-limite. Esta espessura é designada pelas letras DS e o seu valor expresso em milímetros.

A dureza-limite é, por convenção, igual a 80% do valor da dureza mínima à superfície (HV).

5- ESPESSURA TOTAL OU CONVENCIONAL DE CAMADAS ENDURECIDAS DE ESPESSURA IGUAL OU INFERIOR A 0,3mm

Os métodos a seguir apresentados aplicam-se a camadas superficiais endurecidas obtidas por acabamento mecânico, tratamento térmico ou tratamento termoquímico.

Os métodos de medição mais usuais são:

- método micrográfico;
- método baseado na microdureza.

A escolha do método e a sua precisão dependerão da natureza e da espessura da camada e deverão ser objecto de acordo entre as partes interessadas.

(Continua)

5.1 - MÉTODO MICROGRÁFICO

Este método consiste em examinar as variações de estrutura, introduzidas pelo tratamento, a partir da periferia para o centro e efectuar a medição da espessura da camada superficial endurecida.

5.1.1 - Obtenção e preparação de provetes

Os provetes podem ser obtidos por:

- a) corte perpendicular ao eixo longitudinal da peça ou, na sua impossibilidade, por um corte perpendicular à superfície, sendo a sua localização estabelecida por acordo entre as partes interessadas;
- b) rebaiamento, por exemplo, de 1mm de profundidade (aplica-se somente a varões) (fig. 1);

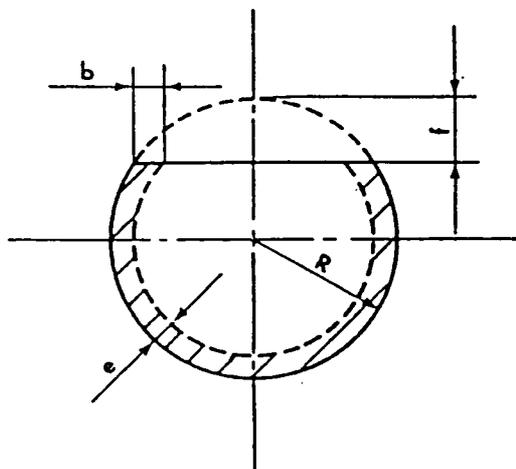


Fig. 1 - Rebaiamento

c) corte em bisel, sendo o ângulo α , entre o plano de corte e a superfície, tanto mais agudo quanto mais fina é a camada (fig. 2). A determinação do ângulo é delicada e é preferível, sempre que possível, utilizar um corte em bisel, compreendendo uma ranhura de profundidade vizinha da espessura da camada (fig. 3). Deste modo é possível calcular a espessura da camada sem ter de medir o ângulo α .

(Continua)

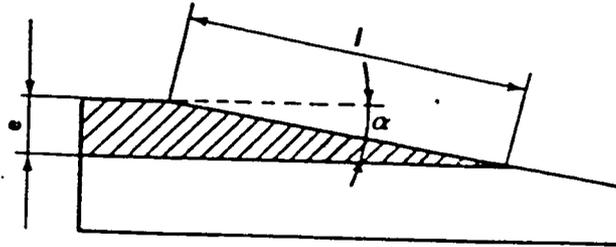


Fig. 2 - Corte em bisel

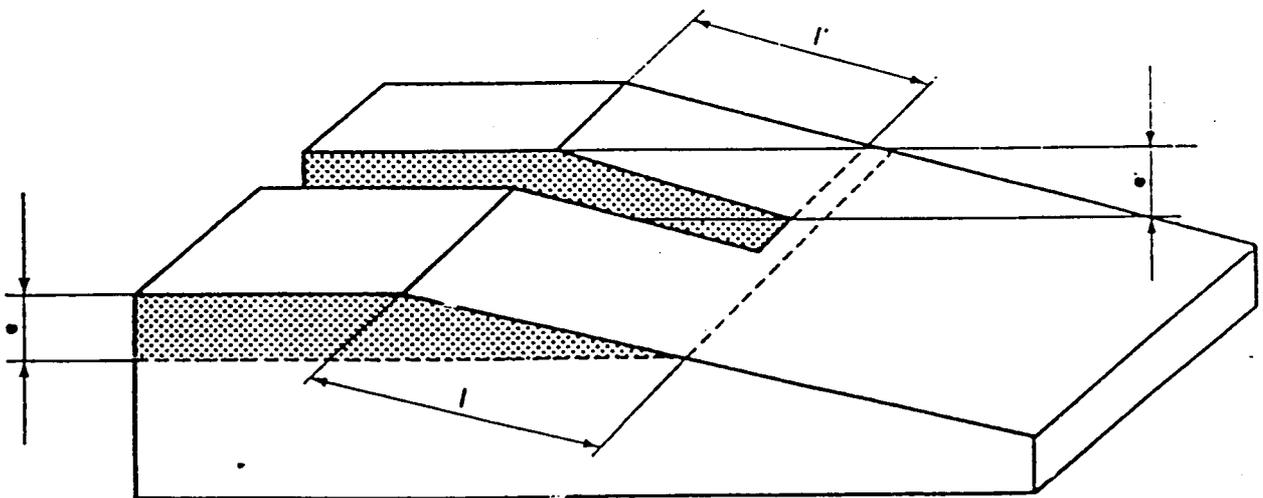


Fig. 3 - Corte em bisel com ranhura

Em peças cuja secção a examinar seja inferior a 4 cm², essa secção deve ser observada na totalidade da sua periferia. Em peças de grandes dimensões devem ser retirados vários provetes a fim de assegurar uma boa representatividade. Devem excluir-se cortes efectuados em ângulos de produtos poligonais e zonas com anomalias de estrutura.

A preparação das superfícies para exame deve ser feita de modo que não resultem modificações, nem da estrutura do metal, nem da espessura da camada a medir.

(Continua)

Antes das observações microscópicas devem ser feitos exames macrográficos dos provetes, que permitem assegurar a não existência de anomalias importantes na espessura da camada superficial ao longo da periferia da amostra.

O número e a posição relativa dos diversos provetes devem ser especificados por acordo entre as partes interessadas.

O polimento micrográfico deve ser conduzido de modo a não bolear as arestas do corte e a não fazer variar o ângulo, quando o corte é em bisel. Para tal, o provete deve ser montado e a sua superfície lateral pode ser protegida eventualmente por um depósito metálico obtido electroliticamente ou por outro produto com o mesmo fim.

Um ataque com nital de 2 a 4% ou outro reagente apropriado permite pôr em evidência a estrutura do aço, tornando possível a medição.

5.1.2 - Medição

A espessura total ou convencional da camada deve ser medida com a ajuda duma ocular micrométrica ou directamente sobre o vidro despolido do microscópio. Uma ampliação de 200 x é considerada, na maioria dos casos, como o mínimo recomendável.

Devem ser efectuadas várias medições (cinco, no mínimo) na zona seleccionada para determinação da espessura da camada endurecida e em locais espaçados regularmente. A média dos resultados destas medições determina a espessura dessa camada.

5.1.3 - Cálculo

a) Rebaixamento (fig. 1).

Sendo:

- b a distância medida no rebaixamento;
- f a profundidade do rebaixamento;
- R o raio do provete,

DOCUMENTO
DE
TRABALHO

(Continua)

a espessura e da camada é:

$$e = R - \sqrt{R^2 + b^2 - 2b \sqrt{2Rf - f^2}}$$

b) Corte em bisel simples (fig. 2)

Sendo:

- l o comprimento do bisel;
- o ângulo do bisel,

DOCUMENTO
DE
TRABALHO

a espessura e da camada é:

$$e = l \operatorname{sen} \alpha$$

c) Corte em bisel com ranhura (fig. 3)

Sendo:

- l o comprimento do bisel;
- l' o comprimento da ranhura no bisel;
- e' a profundidade da ranhura,

a espessura e da camada é:

$$e = e' \frac{l}{l'}$$

5.2 - MÉTODO BASEADO NA MICRODUREZA

Este método consiste em determinar a variação da microdureza Vickers no provete sob uma carga de 2,94N (0,3kgf) a partir da periferia para o centro da peça.

Quando a espessura da camada endurecida superficialmente não for compatível com as dimensões da impressão de dureza devida à carga atrás citada, devem ser usadas cargas menores após acordo entre as partes interessadas.

(Continua)

5.2.1 - Obtenção e preparação dos provetes

Os provetes podem obter-se por um dos processos indicados na secção 5.1.1 e ainda, se o valor-limite da espessura da camada endurecida for especificado, fazendo vários cortes em degrau (fig. 4). Estes degraus, de 0,05mm ou 0,10mm de espessura, devem ser rectificadados a partir da superfície da peça até à zona da peça onde a estrutura corresponde à inicial. Devem ser tomadas precauções para evitar modificações estruturais durante a rectificação.

A preparação do provete é idêntica à do método micrográfico, não sendo necessário nem aconselhável atacar a superfície, pois tornará mais difícil a medição das dimensões das impressões de dureza.

DOCUMENTO
DE
TRABALHO

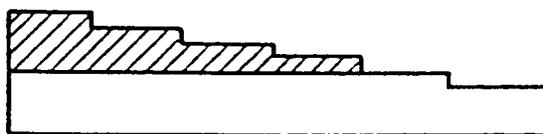


Fig. 4 - Provete em degraus

5.2.2 - Determinação da dureza

As impressões de dureza devem estar situadas ao longo de várias linhas paralelas, normais à superfície da peça e compreendidas numa banda (W) de 1,5mm de largura (fig. 5). A primeira impressão deve situar-se, aproximadamente, a uma distância da superfície igual a duas vezes a diagonal. A distância que separa duas impressões de dureza adjacentes (S) não deve ser inferior a duas vezes e meia a diagonal das impressões e a diferença entre impressões sucessivas ($d_2 - d_1$) não deve ultrapassar 0,1mm.

As distâncias cumuladas devem ser medidas com uma precisão de $\pm 25\mu\text{m}$ e as diagonais das impressões de dureza devem ser medidas com uma precisão de $\pm 0,75\mu\text{m}$.

(Continua)

As impressões de dureza devem ser feitas sob uma carga de 2,94N (0,3kgf) e medidas com uma ampliação de cerca de 400 x, salvo convenção entre as partes interessadas.

Estas medições devem ser efectuadas em, pelo menos, duas regiões da superfície em observação, escolhidas por acordo entre as partes interessadas e cuja localização será indicada no desenho. Para cada região será traçada uma curva que representa a variação dos valores da dureza em função da distância à superfície.

A distância entre a superfície e a zona a partir da qual a dureza corresponde ao valor da dureza inicial determina a espessura total da camada endurecida.

A distância entre a superfície e a zona a partir da qual se atinge a dureza requerida (de referência) determina a espessura convencional da camada.

DOCUMENTO
DE
TRABALHO

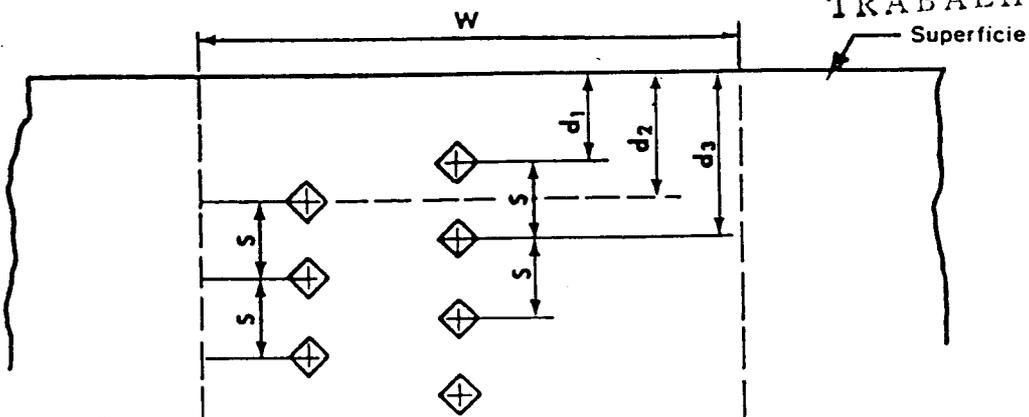


Fig.5- Localização das impressões de dureza para espessuras iguais ou inferiores a 0,30mm

6- ESPESSURA TOTAL OU CONVENCIONAL DE CAMADAS ENDURECIDAS DE ESPESSURA SUPERIOR A 0,3mm

Os métodos apresentados destinam-se a medições de espessuras em:

- camadas endurecidas por têmpera, cementação e carbonitruração, de profundidade superior a 0,3mm;
- peças que, no estado de têmpera superficial, têm, à distância $3 \times DS$ da superfície, uma dureza inferior de 100HV em relação à

(Continua)

dureza-limite (HV);

c) peças que, no estado de tratamento de utilização, têm, à distância $3 \times DC$ da superfície, uma dureza inferior a 450 HV.

Nos casos em que estas condições não são satisfeitas, a espessura convencional da camada endurecida deve ser definida por convenção acordada entre as partes interessadas. Contudo, para aços que apresentam à distância $3 \times DC$ durezas superiores a 450 HV, este método ainda pode ser utilizado desde que se acorde para DC um valor-limite de dureza superior a 550 HV e múltiplo de 25. O método é igualmente aplicável a aços que apresentam à distância $3 \times DS$ durezas superiores a (dureza-limite - 100)HV desde que se escolha para DS um outro valor-limite de dureza mais elevado.

Sendo a determinação das espessuras total e convencional baseada na avaliação da variação da dureza numa secção transversal da peça, o seu valor é obtido graficamente a partir da curva que representa as variações registadas da dureza em função da distância à superfície da peça.

6.1 - DETERMINAÇÃO DA DUREZA

As impressões de dureza devem estar situadas ao longo de linhas paralelas, perpendiculares à superfície e compreendidas nos limites duma banda (W) de 1,5mm de largura (fig. 6). A distância entre a superfície e a primeira impressão deve ser de 0,15mm (d_1) e a distância entre impressões sucessivas ($d_2 - d_1$) deve ser de cerca de 0,1mm.

As impressões de dureza devem ser feitas sob uma carga de 9,8N (1kgf) em, pelo menos, duas regiões da superfície em observação, escolhidas por acordo entre as partes interessadas e localizadas por meio de desenho ou fotografia.

Por cada região será traçada uma curva que representa a variação da dureza em função da distância à superfície.

(Continua)

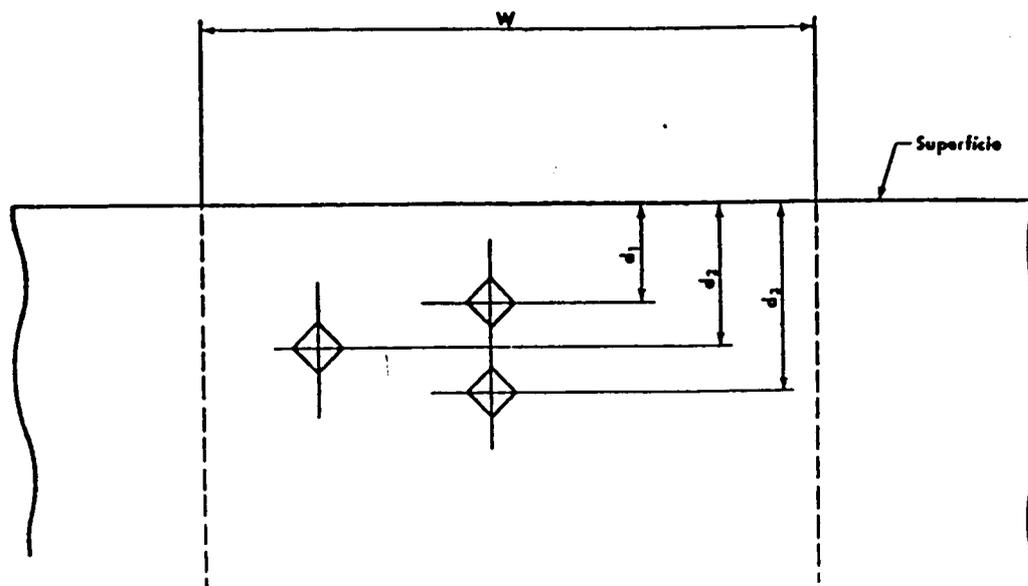


Fig. 6 - Localização das impressões de dureza para espessuras superiores a 0,30mm

6.2 - RESULTADOS

O gráfico traçado para cada região permite determinar a distância à superfície a partir do ponto onde a dureza é igual:

- a) a 550HV, para camadas cementadas, correspondendo essa distância à espessura convencional de cementação;
- b) à dureza-limite para camadas temperadas, correspondendo essa distância à espessura convencional de têmpera superficial;
- c) à dureza inicial para a espessura total.

Se os desvios entre dois ou mais valores obtidos forem inferiores ou iguais a 0,1mm, pode tomar-se para resultado a média dos valores observados. Caso contrário, os ensaios devem ser repetidos.

Sempre que tenham sido usadas outras cargas diferentes de 9,8N (1 kgf), mas compreendidas entre 5N e 50N (0,5kgf e 5kgf), e outra dureza-limite, estas informações deverão figurar na apre-

(Continua)

sentação do resultado a seguir às letras que designam o tipo de espessura. Por exemplo, DC 5/515 traduz que a espessura de cementação é medida com o auxílio duma carga de 5N e tomando como limite de dureza o valor de 515 HV.

DOCUMENTO
DE
TRABALHO

7 - RELATÓRIO DO ENSAIO

O relatório do ensaio deve conter as seguintes indicações:

- a) estado e tratamento da superfície da peça;
- b) número e localização dos provetes na peça;
- c) anomalias eventualmente observadas na peça;
- d) método de medida usado, suas condições e acordos eventuais;
- e) resultados das medições que permitem determinar a espessura das camadas endurecidas;
- f) tipo e valor da espessura medida (total ou convencional).

8 - BIBLIOGRAFIA

- Norme Internationale ISO 2639 - 1973 - **Acier. Détermination et vérification de la profondeur conventionnelle de cémentation.** Genève, Organisation Internationale de Normalisation.
- Norme Internationale ISO 3754 - 1976 - **Acier. Détermination de la profondeur conventionnelle de trempe après chauffage superficiel.** Genève, Organisation Internationale de Normalisation.
- Norme Internationale ISO 4970 - 1979 - **Acier. Détermination de l'épaisseur totale ou conventionnelle des couches minces durcies superficielles.** Genève, Organisation Internationale de Normalisation.
- Euronorm 105-71 - **Détermination et vérification de la profondeur conventionnelle de cémentation.** Luxembourg, Office des publications officielles des Communautés Européennes.
- Euronorm 116-72 - **Détermination de la profondeur conventionnelle de trempe après chauffage superficiel.** Luxembourg, Office des publications officielles des Communautés Européennes.

ANEXO 3

Acção experimental desenvolvida para cada grupo de referências

Amostra de 50 unidades retiradas de um contentor para determinação de:

% X com 2 alimentadores

% Y com 1 alimentador

% Z sem alimentadores

Então, aplicada cada proporção anterior em:

Peso contentor (Kg) / Peso da peça na situação X × proporção X (o mesmo cálculo para Y e Z)

Obtém-se o número total de peças em cada contentor com X + Y + Z

Foi tomada a decisão de admitir para os cálculos seguintes um valor de refugo de 3 % que, deduzido ao último valor encontrado permite chegar ao nº de peças aprovadas por contentor. Ou então, usando a multiplicação:

Nº peças aprovadas p/ contentor × peso unitário (peça) = quantidade (Kg) aprovada p/ contentor

No passo seguinte (quantidade granalhada por hora) admitiu-se (por observação directa) um tempo total de ciclo, isto é, incluindo carga e descarga, de 22 minutos. Este valor foi utilizado para todos os cálculos e constitui também um valor aproximado pois na prática sofre variação.

Fez-se depois o seguinte raciocínio, aqui exemplificado:

$420 \text{ Kg} / \text{ciclo} * 2,73 \text{ cargas/ hora} = 1147 \text{ Kg/ hora}$

$24 \text{ h} * 1147 * 0,9 \text{ (factor de actividade)} \cong 24,8 \text{ TON. obra gran. / dia}$

$24,8 * 0,62 \text{ (factor da obra aprovada / ciclo)} \cong 15,4 \text{ TON. peças aprov. / dia}$

O factor de actividade foi encontrado pela dedução seguinte:

Horas de funcionamento semanal (por máq.) $\cong 113 \text{ h} \Rightarrow$ funcionamento diário = 22:36 h

∴ factor de actividade = 94 % - 4 % (hora refeições) $\cong 90 \%$

Resultados

4002 - e - 4028

Pesos (Kg)

peça = 0,76 – e - 0,8

peça c/ 1 alimentador = 1,38 e 1,45

Ciclo de limpeza estipulado = 20 min.

Tempo necessário para a intensidade de “S. P.” aconselhada \cong 9 min.

Obra por ciclo \cong 505 Kg (Cx. Madeira pq)

Obra aprovada p/ ciclo \cong 266 Kg (**52,7 %**) (nesta parcela descontou-se sempre 3% do refugo)

$505 \text{ Kg/ciclo} * 2,73 \text{ cargas/ hora} = 1379 \text{ Kg/ hora}$

$24 \text{ h} * 1379 * 0,9 \cong \mathbf{29,8 \text{ TON. obra gran. / dia}}$

$29,8 * 0,527 \cong \mathbf{15,7 \text{ TON. peças aprov. / dia}}$

4003

Pesos (Kg)

peça = 1,42

peça c/ 2 alimen. = 2,3

Tempo de limpeza estipulado = 12 min.

Tempo necessário para a intensidade de “S. P.” aconselhada \cong 17 min.

Obra por ciclo \cong 520 Kg (Cx. Madeira pq) ou 538 Kg (Cont. Met.)

Obra aprovada p/ ciclo \cong 311 Kg (**59,8 %**) ou 322 Kg (**59,9%**)

$530 \text{ Kg / ciclo} * 2,73 \text{ cargas/ hora} = 1447 \text{ Kg/ hora}$

$24 \text{ h} * 1447 * 0,9 \cong \mathbf{31,3 \text{ TON. obra gran. / dia}}$

$31,3 * 0,599 \cong \mathbf{18,7 \text{ TON. peças aprov. / dia}}$

4005 – 4011 - 4027

Pesos (Kg)

peça = 1,28 - 1,15 - 1,17

peça c/ 2 alimen. \cong 2,09

Tempo de limpeza estipulado = 12 min.

Tempo necessário para a intensidade de “S. P.” aconselhada \cong 13 min.

Obra por ciclo \cong 415 Kg (Cx. Madeira pq) ou \cong 425 Kg (Contentor Met.)

Obra aprovada p/ ciclo (média) \cong 234 Kg (**55,7%**)

$420 \text{ Kg / ciclo} * 2,73 \text{ cargas/ hora} = 1147 \text{ Kg/ hora}$

$24 \text{ h} * 1147 * 0,9 \cong \mathbf{24,8 \text{ TON. obra gran. / dia}}$

$24,8 * 0,557 \cong \mathbf{13,8 \text{ TON. peças aprov. / dia}}$

4012 – 4017 – 4040 – e – 4022

Pesos (Kg)

peça = 1,44 – 1,41 – 1,40 – e - 1,65

peça c/ 2 alimen. \cong 2,2 – 2,4 – e – 2,85

Tempo de limpeza estipulado = 12 min.

Tempo necessário para a intensidade de “S. P.” aconselhada \cong 13 min.

Obra por ciclo \cong 420 Kg (Contentor Met.) ou \cong 380 Kg (Cx. Madeira pq.)

Obra aprovada p/ ciclo (média) \cong 253 Kg e \cong 227 Kg (**60%**)

400 Kg / ciclo * 2,73 cargas/ hora = 1092 Kg/ hora
 24 h * 1092 * 0,9 \cong **23,6 TON. obra gran. / dia**
 23,6 * 0,60 \cong **14,2 TON. peças aprov. / dia**

4006 – e - 4007

Pesos (Kg)

peça = 1,05 -e- 1,16

peça c/ 1 alimen. = 1,67 e 1,78

peça c/ 2 alimen. = 2,3 e 2,4

Tempo de limpeza estipulado = 12 min.

Tempo necessário para a intensidade de “S. P.” aconselhada \cong 19 min.

Obra por ciclo \cong 690 Kg (Cx. Madeira pq) ou \cong 730 Kg (Contentor metálico)

Obra aprovada p/ ciclo \cong 468 Kg (66,8%) e \cong 447 Kg (65,7%) (Cx. Mad.)
 \cong 487 Kg (66,7%) (Cont. Met.)

710 Kg / ciclo * 2,73 cargas/ hora = 1938 Kg/ hora
 24 h * 1932 * 0,9 = **41,9 TON. obra gran. / dia**
 41,9 * 0,66 = **27,6 TON. peças aprov. / dia**

4013 - 4014

Pesos (Kg)

peça = 6,3 (com alguma areia agregada)

peça c/ 1 alimen. = 7,2

Tempo de ciclo estipulado = 12 min.

Tempo necessário para a intensidade de “S. P.” aconselhada \cong 6 min.

Obra por ciclo \cong 320 Kg (Cx Mad.)

Obra aprovada p/ ciclo \cong 253 Kg (79,1%)

320 Kg / ciclo * 2,73 cargas/ hora = 873,6 Kg/ hora
 24 h * 873,6 * 0,9 = **18,9 TON. obra gran. / dia**
 18,9 * 0,79 \cong **15 TON. peças aprov. / dia**

4015 - 4016 – e – 4023 - 4024

Pesos (Kg)

peça = 3,10 -e- 3,05

peça c/ 1 alimen. \cong 4,4 -e- 4,32

peça c/ 2 alimen. \cong 5,7 -e- 5,6

Tempo de ciclo estipulado = 12 min.

Tempo necessário para a intensidade de “S. P.” aconselhada \cong 23 min.

Obra por ciclo \cong 585 Kg (Cx Madeira) ou (600 Kg (Cont. Metálico)

Obra aprovada p/ ciclo \cong 396 Kg ou \cong 411Kg (68,3 %)

592 Kg / ciclo * 2,73 cargas/ hora = 1616 Kg/ hora
 24 h * 1616 * 0,9 = **35 TON. obra gran. / dia**
 34,9 * 0,68 \cong **23,7 TON. peças aprov. / dia**

4025 - 4026 - e - 4041 - 4042 - 4043 - 4044 - 4045

Pesos (Kg)

peça = 2,47 -e- \cong 2,35peça c/ 1 alimen. \cong 3,34 -e- \cong 3,2peça c/ 2 alimen. \cong 4,2 -e- \cong 4,05

Tempo de ciclo estipulado = 12 min.

Tempo necessário para a intensidade de "S. P." aconselhada \cong 23 min.Obra por ciclo \cong 480 Kg (Cx Madeira)Obra aprovada p/ ciclo \cong 335 Kg (70,5 %)

480 Kg / ciclo * 2,73 cargas/ hora = 1310 Kg/ hora

24 h * 1310 * 0,9 = **28,3 TON. obra gran. / dia**28,3 * 0,71 \cong **20,0 TON. peças aprov. / dia****4029 - 4030 - e - 4031 - 4032 ***

Pesos (Kg)

peça = 1,5 e 1,8

peça c/ 1 alimen. \cong 3,0

* - Ainda não existiam contentores (ou cx. madeira) com esta peça.

4018 -e- 4019 -e- 3255 (cambotas)

Pesos (Kg)

peça = 1,8 e 1,65 e 1,6

peça c/ 1 alimen. \cong 3,34 -e- \cong 3,2

Tempo de ciclo estipulado = 12 min.

Tempo necessário para a intensidade de "S. P." aconselhada = > 25 min. (seria necessário usar uma granalha de tamanho superior)

Obra por ciclo \cong 562 Kg (Cx Madeira)Obra aprovada p/ ciclo \cong 405 Kg (72 %)

562 Kg / ciclo * 2,73 cargas/ hora = 1534 Kg/ hora

24 h * 1534 * 0,9 = **33,1 TON. obra gran. / dia**33,1 * 0,72 \cong **23,8 TON. peças aprov. / dia**



PortCast

INSTRUÇÕES DE TRABALHO

PÁG.: 1/1

Acabamentos Fund. 2

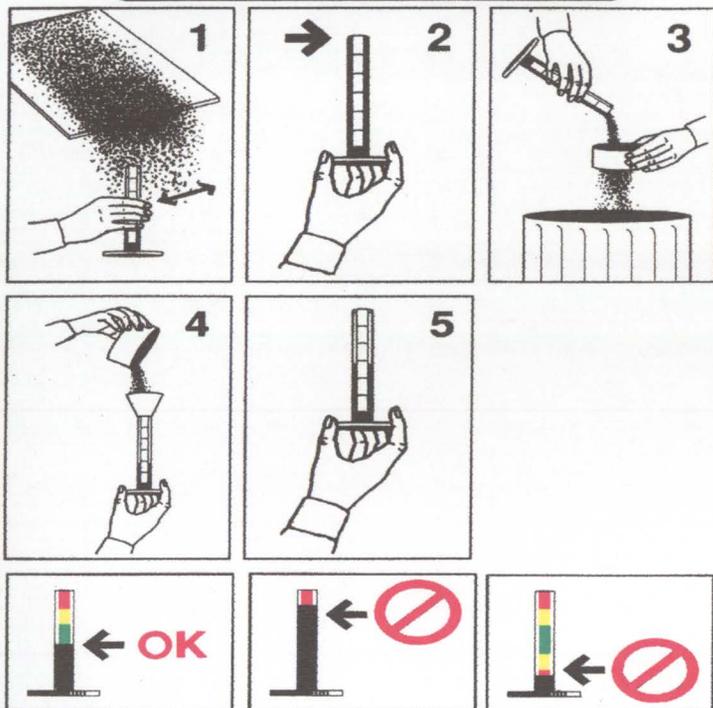
INSPECÇÃO da GRANALHA

Versão : 0

00/03/15

Prep. por :
MartinhoAprov. Por:
J.Silva

AMASTEEL SPOTCHECK



A REALIZAR DIARIAMENTE :

- 1- ENCHER O TUBO COM A MISTURA DE TRABALHO DA MÁQUINA
- 2- VERIFICAR SE O TUBO FICOU COMPLETAMENTE CHEIO
- 3- DEITAR O CONTEÚDO DO TUBO PELO PENEIRO CORRESPONDENTE AO TAMANHO DA GRANALHA
- 4- ENCHER O TUBO COM A GRANALHA QUE FICOU NO PENEIRO
- 5- VER EM QUE ZONA DO TUBO FICOU A GRANALHA

GRANALHA	MALHA (SAE)	ESCALA	MISTURA DE TRABALHO	
			MIN (%)	MÁX (%)
S-660	12	A	30	45
S-550	14	A	30	45
S-460	16	A	30	45
S-390	18	A	30	45
S-330	20	B	35	50
S-280	25	B	35	50

ZONAS	ESCALA A (%)	ESCALA B (%)	OBSERVAÇÕES
VERMELHA	> 60	> 65	TAMANHO DA GRANALHA MUITO GRANDE
AMARELA	45 - 60	50 - 65	ZONA DE ALERTA
VERDE	30 - 45	35 - 50	MISTURA IDEAL
AMARELA	15 - 30	20 - 35	ZONA DE ALERTA
VERMELHA	< 15	< 20	TAMANHO DA GRANALHA MUITO PEQUENA

- ▶ As zonas amarela e vermelha inferior alertam para a necessidade de granalha nova.
- ▶ As zonas amarela e vermelha superior alertam para a existência de sobre-aspiração mas, uma causa pode ser a realização do ensaio muito próximo de uma adição de granalha nova.

Versão	0									
Data	00/03/15									



11



FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

BIBLIOTECA



000088331