

# AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE FERRAMENTAS REVESTIDAS À BASE DE Ti-M<sub>1</sub>-N/C NO CORTE DE AGLOMERADOS

David Pinheiro<sup>1</sup>, Albano Nogueira<sup>1</sup>, J. Paulo M. Dias<sup>1</sup>, Maria Teresa Vieira<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> LED&MAT, Laboratório de Ensaios de Desgaste e Materiais – Instituto Pedro Nunes, 3030 Coimbra, Portugal

<sup>2</sup> ICEMS, Instituto de Ciência Engenharia de Materiais e Superfícies, Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Portugal

## RESUMO

*No corte, como em qualquer processo de desgaste, são tão importantes as propriedades da superfície do material a cortar como as da ferramenta de corte. A eficiência do corte passa por uma análise criteriosa e cuidada dos factores que contribuem para a não degradação da ferramenta de corte e conseqüentemente da qualidade da superfície de corte resultante. Os aglomerados de partículas de madeira não são excepção; os principais constituintes do aglomerado - resina e partículas e a presença indesejável de sílica-, juntamente com a qualidade da superfície da ferramenta de corte podem ser os responsáveis pela qualidade do acabamento da superfície de corte do aglomerado. Com o presente estudo pretende-se avaliar os efeitos do desgaste de ferramentas de WC-Co sinterizado, com e sem revestimento, no corte de aglomerados de partículas de madeira, onde o tipo de resina, o teor de sílica e a superfície da ferramenta foram as variáveis do processo. Um estudo comparativo sobre os esforços de corte foi realizado através de um dinamómetro acoplado a um centro de maquinagem (CNC). A medição do desgaste das superfícies foi avaliada por microscopia óptica e electrónica de varrimento (SEM). A compreensão do efeito da presença de um revestimento do tipo Ti-M<sub>1</sub>-N/C (M<sub>1</sub>=Metal) nas ferramentas de corte foi correlacionado com os esforços de corte e com o desgaste da ferramenta.*

## 1- INTRODUÇÃO

A melhoria das superfícies de ferramentas de corte através de revestimentos depositados por PVD e CVD tem sido conseguida com sucesso, há mais de uma década. As vantagens oferecidas pelo aumento do desempenho em serviço das ferramentas de corte revestidas conduziram a que elas fossem implementadas a nível do mercado, nomeadamente para o corte de aços e outros metais. No entanto, poucos estudos têm sido efectuados no que se refere a outros materiais, tais como os aglomerados de madeira. Neste caso, é premente identificar

e quantificar o papel de cada interveniente no processo e encontrar uma solução, que permita a sua utilização em aplicações onde se exige elevada qualidade nas superfícies de corte. Assim, e conjuntamente com empresas da indústria de aglomerados de madeira e de ferramentas de corte, foi realizado um estudo sobre o corte de aglomerados (com diferentes resinas e teores de sílica) por ferramentas à base de carboneto de tungsténio não revestidas e revestidas com filmes em monocamada à base de Ti-M<sub>1</sub>-N/C : W-Ti-N e Ti-Al-N-C, depositados por pulverização catódica; o primeiro com um desempenho já testado

em diferentes situações onde a agressividade do corte é elevada e o segundo actualmente com um forte impacto industrial no corte de alta velocidade de metais.

## 2- CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

### Aglomerado de partículas de madeira

Os aglomerados são constituídos fundamentalmente por partículas de madeira e por resina que funciona como aglomerante destas partículas. Com vista a caracterizar todos estes constituintes foram feitas as seguintes análises.

#### (a) Resina:

- Análise da degradabilidade da resina

Para caracterizar da melhor forma os aglomerados, foram fabricados “homotéticos” das resinas usadas nos aglomerados reais (A e B - resinas de ureia-formaldeído produzidas de forma diferente). O estudo do comportamento da resina com a temperatura durante o corte foi efectuada recorrendo à técnica de análise termogravimétrica (TGA). Dos resultados obtidos e ilustrados no gráfico da figura 1, conclui-se que para temperaturas superiores a 250°C há degradação das resinas.

- Caracterização Mecânica - Tribológica

Com o objectivo de determinar o coeficiente de atrito que se pode gerar entre o material análogo ao das ferramentas de corte e as resinas A e B, realizaram-se ensaios Pino-Disco, de acordo com a norma

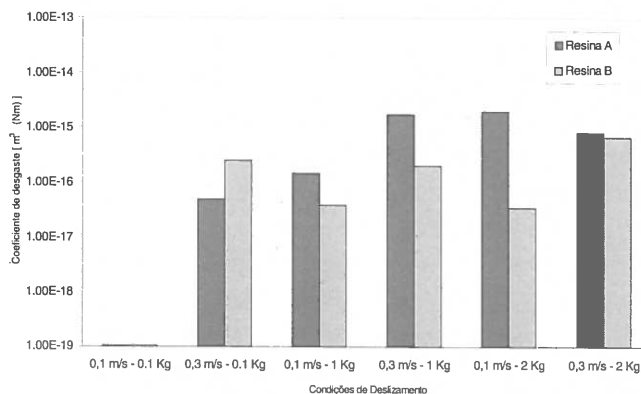
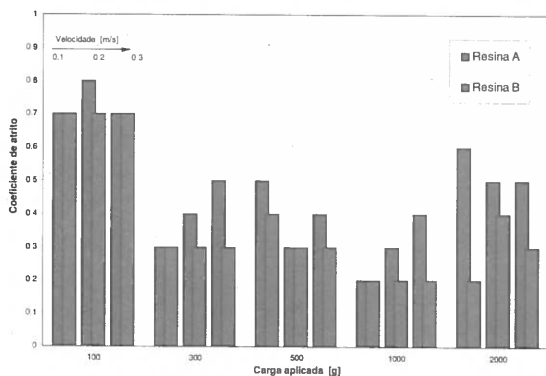


Fig. 2 - (a) Coeficientes de atrito entre a resina A e B e o carboneto de tungsténio, função da carga aplicada; (b) Coeficientes de desgaste do carboneto de tungsténio contra as resinas A e B, em função da velocidade de deslizamento

ASTM G 99 – 95. As variáveis analisadas foram a carga e a velocidade de deslizamento. A velocidade máxima de deslizamento, possível no tribómetro utilizado, foi de 0,3 m/s. Dos ensaios realizados, conclui-se que há uma tendência para a resina A apresentar valores de coeficientes de atrito superiores aos da resina B (Figura 2 (a)). No que diz respeito ao desgaste do material da esfera (WC - 8% at. Co), este é, em geral, superior quando a resina é a A (Figura 2 (b)).

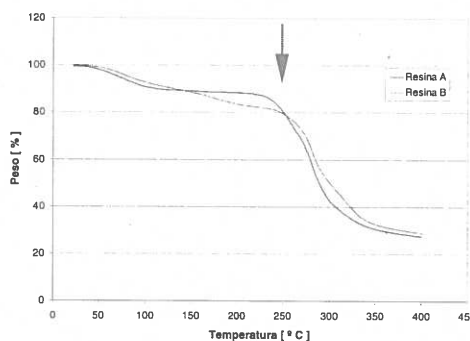


Fig. 1- Análise termogravimétrica das resinas A e B.

#### (b) Partículas de sílica

Todavia, nem tudo é resina, há ainda a presença de partículas indesejáveis no aglomerado como as partículas de sílica (areia). Nas placas de teste analisadas, o teor de sílica existente variou entre dois valores  $x_1$  e  $x_3$ , em que  $x_1$  é maior que  $x_3$ . Na figura 3 é apresentada a morfologia típica das partículas de sílica que podem ser encontradas no aglomerado. Neste caso, as partículas de areia tem dimensões entre os 5 e os 200  $\mu\text{m}$ .

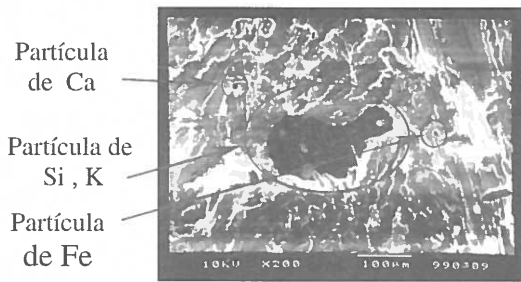


Fig. 3 - Sílica nos aglomerados analisada em SEM/EDS (Electrões Retrofundidos).

### Lâminas de corte

O porta lâminas utilizado foi do tipo HMW A257.018.150.20 (FREZITE), que suportava uma lâmina de corte.

Dois revestimentos foram seleccionados à base de Ti-M<sub>1</sub>-N: W-Ti-N e Ti-Al-N-C. Os revestimentos foram depositados directamente sobre lâminas de corte rectificadas, as quais apresentavam uma rugosidade típica de rectificado (Ra = 0.878 µm). Este procedimento foi feito com o intuito de se poder avaliar o comportamento dos revestimentos sem qualquer acréscimo de custo, por operações de acabamento preliminares.

As técnicas usadas para a caracterização das superfícies revestidas foram: a microsonda electrónica para a caracterização química; um rugosímetro com apalpador laser para a avaliação da rugosidade e para a avaliação da espessura

a microscopia electrónica de varrimento. A tabela 1 resume os resultados dessa caracterização.

O programa de ensaios de corte foi elaborado utilizando um centro de maquinagem, Leadwell V.40, equipado com um dinamómetro de forças, Kistler tipo 9123C, que permite determinar os esforços de corte segundo três eixos, assim como o momento de corte (Figura 4).

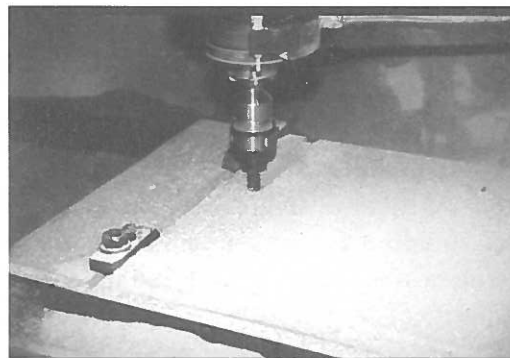


Fig 4 – Sistema de aquisição de esforços de corte.

Em cada ensaio houve duas condições distintas de parâmetros de corte: 1ª) parâmetros de corte pouco severos (correspondentes às condições de aquisição), para aquisição durante curto período de tempo; 2ª) parâmetros de corte extremos para ensaios de médio/longo período de tempo, apenas limitados pelo próprio centro de maquinagem, e não pelo sistema de aquisição.

Tabela 1 - Caracterização dos diversos filmes.

Material da lâmina de corte	Caracterização Química (% atómica)						Rugosidade		Espessura µm
	%W	%Ti	%Al	%N	%C	%Co	Ra (µm)	Rz (µm)	
HM750.106	40	---	---	---	55	5	0.878	8.202	---
C/Rev. W-Ti-N	23	20	---	25	---	---	0.757	6.911	4
C/Rev. Ti-Al-N-C	---	19	29	39	13	---	0.745	6.239	2

### ENSAIOS DE CORTE

As condições de corte foram as seguintes:

#### Condições de aquisição:

Velocidade de rotação = 500 r.p.m.  
Velocidade de avanço = 0.25 m / min  
Profundidade de corte ( eixo z ) = 10 mm  
Profundidade de corte ( eixo x e y ) = 18 mm  
Tempo de Aquisição = 5 Seg  
Freq. Aquisição = 1000 Hz

#### Condições do ensaio:

Velocidade de rotação = 8000 r.p.m.  
Velocidade de avanço = 3.5 m / min  
Profundidade de corte ( eixo z ) = 10 mm  
Profundidade de corte ( eixo x e y ) = 2 mm

As placas teste de aglomerado de partículas de madeira foram apertadas na mesa do centro de maquinagem sempre com o mesmo binário (45 N.m) e as aquisições foram efectuadas sempre no mesmo sítio da placa.

Devido à variação dos esforços de corte que foi possível obter numa só placa de aglomerado de madeira, foi necessário identificá-las e seleccioná-las previamente, tendo para isso sido utilizado para cada placa uma lâmina de corte diferente. Os valores dos esforços de corte avaliados em cada ensaio realizado, nas placas anteriormente referidas, correspondem à força equivalente (soma vectorial) das forças resultantes segundo cada eixo  $xx'$ ,  $yy'$  e  $zz'$ , sendo a força resultante a média dos máximos absolutos de cada ciclo de corte (Equação (1)).

$$F_{Equiv} = \sqrt{(|F_{X|_{max}})^2 + (|F_{Y|_{max}})^2 + (|F_{Z|_{max}})^2} \quad (1)$$

No gráfico da figura 5 estão representados dois ciclos de corte correspondentes a uma determinada aquisição. Como se pode ver, foram adquiridos os esforços  $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$  e o momento de corte  $M_z$ . Importa salientar, que os respectivos sinais dos esforços estão directamente relacionados com a forma como foi fixa a ferramenta ao dinamómetro.

A figura 6 põe em evidência a relação entre o esforço de corte e o número de metros cortados de aglomerado (lâmina sem revestimento). As linhas que cortam na horizontal as respectivas barras correspondem ao valor inicial de esforços medidos com uma lâmina nova e na mesma zona. Dos ensaios realizados, pode ser constatado que nos primeiros metros de corte existe um aumento significativo dos esforços de corte, seguido de um crescimento pouco acentuado dos esforços, até cerca dos 3000 metros de aglomerado cortado.

Para se compreender melhor a tendência da evolução dos esforços ao longo dos primeiros metros e os respectivos fenómenos de desgaste, foram realizados

novos ensaios de corte. Por cada aquisição foi efectuada a visualização e medição do desgaste utilizando a microscopia electrónica de varrimento. Dos resultados do gráfico da figura 7, pode ser inferido que há um aumento significativo das forças de corte essencialmente durante o primeiro metro de corte, e que este está associado à redução do afiamento inicial da lâmina. Por outro lado, é de notar que foram observadas, logo desde muito cedo, fracturas na aresta de corte com dimensões significativas e que ao longo do ensaio, elas ocorriam com mais frequência. Importa referir que o desgaste é mais acentuado nas zonas da lâmina que cortam a camada externa do aglomerado (imagens da figura 7) e na ponta da lâmina de corte.

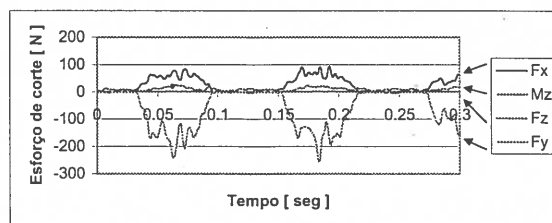


Fig 5 – Esforços adquiridos durante dois ciclos de corte

Tal como já foi referido, nos aglomerados nem tudo é resina e partículas de madeira, pode ainda haver a presença de partículas indesejáveis como as de sílica. Dada a sua importância no corte dos aglomerados, resolvemos produzir três gamas diferentes de placas teste, com diferentes percentagens de sílica ( $x_1$ ,  $x_2$  e  $x_3$ , em que;  $x_1 < x_2 < x_3$ ) e testá-las ao corte.

Dos resultados obtidos, conclui-se que tanto os esforços de corte como o desgaste aumentavam com o aumento da percentagem de sílica nos aglomerados.

O teste de novas soluções para a alteração da superfície das lâminas foi realizado com revestimentos W-Ti-N e Ti-Al-N-C depositados em lâminas de metal duro.

Nas figuras 8 e 9 estão representadas as evoluções dos valores dos esforços resultantes dos ensaios de corte, assim como, o desgaste sofrido pelas lâminas de

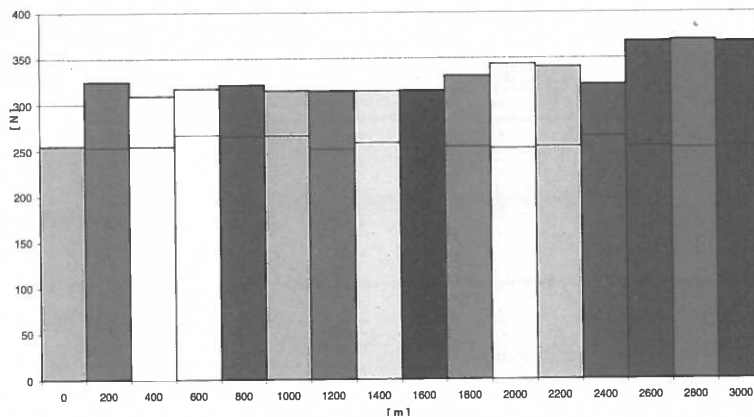


Fig 6 – Esforços de corte função dos metros de corte de aglomerados

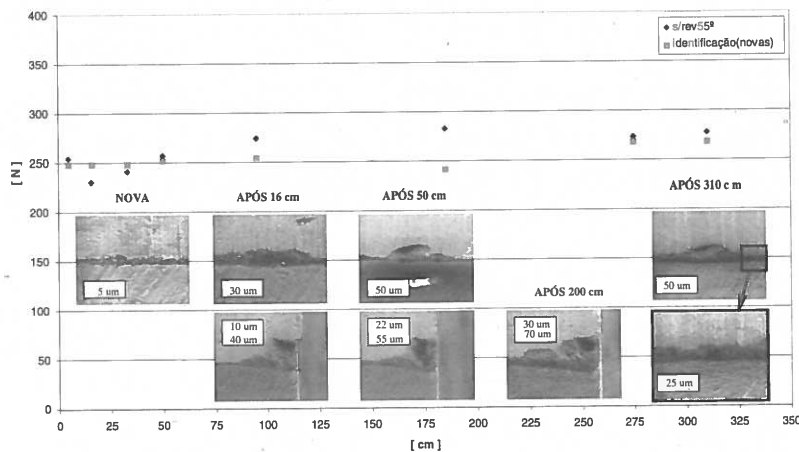


Fig 7 – Comparação dos esforços de corte com o desgaste na ponta e na aresta de corte de uma lâmina de metal duro não revestida ao longo do percurso de corte (SEM)

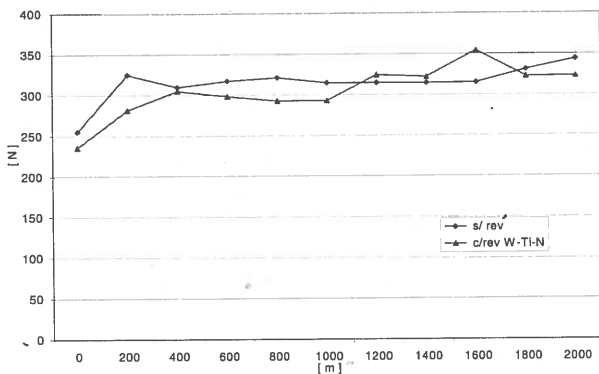


Fig 8 – Esforços de corte de lâminas revestidas e não revestidas.

carboneto de tungstênio revestidas e não revestidas (até 2000m de comprimento de corte).

Para as ferramentas revestidas após os primeiros instantes a parte responsável pelo corte dos aglomerados passa a ser o substrato.

Assim, pode-se inferir que os revestimentos não foram eficazes, possivelmente devido à rugosidade das lâminas de corte rectificadas afectar a eficiência do revestimento (adesão, tensões, etc..) e, conseqüentemente, o seu desempenho em serviço.

## CONCLUSÕES

Pequenas alterações no fabrico da resina utilizada nos aglomerados de partículas de madeira são suficientes para

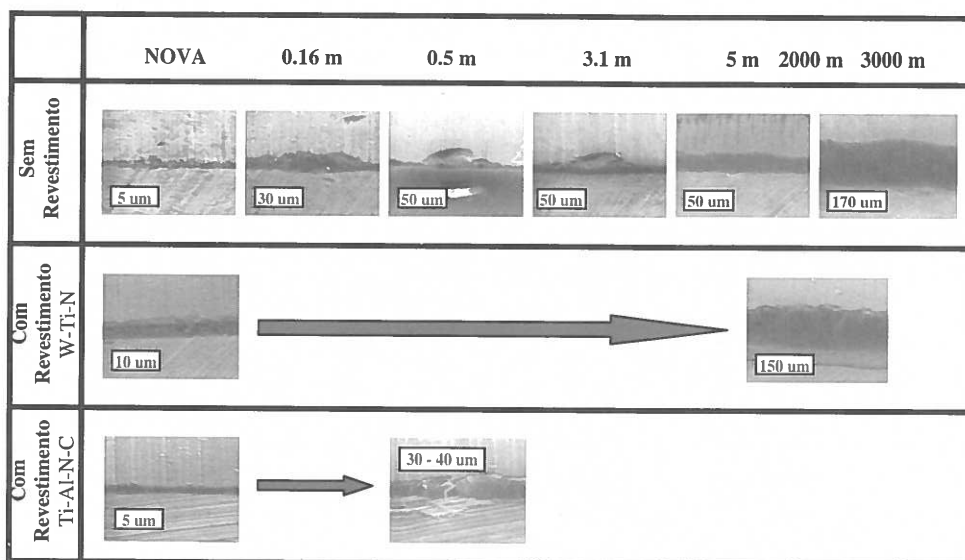


Fig 9 – Imagens do desgaste das lâminas ao longo do ensaio de corte (SEM).

alterarem o coeficiente de atrito e o desgaste, quando o contracorpo é carboneto de tungsténio e cobalto sinterizado. O teor de sílica no aglomerado afecta o corte, tanto mais quanto o seu valor for elevado. A distribuição da resina/partículas de madeira tem também um papel muito importante no desempenho ao corte, como ficou comprovado pela elevada variação dos esforços de corte numa só placa de aglomerado de madeira, com propriedades físico-químicas bem definidas.

O desgaste das lâminas é mais acentuado nos primeiros metros de corte. Este fenómeno justifica o aumento significativo dos esforços de corte, nos primeiros metros.

Todos os filmes depositados nas lâminas de corte com acabamento de rectificação revelaram-se ineficazes.

#### AGRADECIMENTOS

Programa Praxis XXI pelo apoio financeiro atribuído ao projecto n.º P091-P31B-01/98, ao Programa EUREKA.