

SELEÇÃO DE MATERIAIS PARA PONTEIRAS DE ESCARIFICADORES

A. V. REIS¹, F. A. FORCELLINI²

RESUMO: As ponteiras de escarificadores, assim como todas as ferramentas que interagem com o solo, estão sujeitas ao desgaste pela abrasão. Esse fenômeno produz um aumento do custo operacional aos agricultores. O processo de seleção de materiais para ferramentas de trabalho do solo é bastante complexo, pois além do solo ser um meio bastante variável, o número de materiais disponíveis é imenso. Assim, o presente trabalho tem por objetivo empregar as Cartas de Seleção de Materiais de Ashby a fim de auxiliar na seleção de materiais para ponteiras resistentes ao desgaste. Para tanto foram feitas a análise dos requisitos de seleção dos materiais, determinação das propriedades críticas do material, triagem dos materiais candidatos e seleção do material. Os resultados obtidos indicam que essa metodologia pode ter um bom potencial de utilização na seleção de materiais para ponteiras de escarificadores e órgãos ativos de outras máquinas que sofram a ação do solo. No entanto, o seu uso deve ser feito com cautela, pois alguns dos novos materiais candidatos têm resistência à abrasão do solo reconhecidamente baixa.

PALAVRAS-CHAVE: Resistência ao desgaste, Cartas de seleção de materiais, Ponteiras.

MATERIALS SELECTION FOR CHISEL PLOW TINES

SUMMARY: Chisel plow tines, and any other tool that interacts with soil, are subject to wear caused by abrasion of soil components. This phenomenon is responsible for an increase in the operational cost to farmers. Materials selection in mechanical design of soil working tools is a complex task, because, besides of the great variability of soil attributes, the number of available materials is enormous. Thus, this study has the objective of applying the Ashby's Materials Selection Charts as an auxiliary tool to select wear resistant materials for chisel plow tines. To that end, the requirements of the materials selection were analyzed, the critical properties of materials found, the candidates materials retrieved and families of materials chosen. The results showed a good potential for the use of this method of materials selection to agricultural machinery parts interacting with soil. Nevertheless, its use should be made with caution, because some of the new materials selected are recognized to have a poor abrasion resistance.

KEY WORDS: Wear resistance, Materials selection charts, Tines.

INTRODUÇÃO

A escarificação consiste na mobilização do solo a uma determinada profundidade, tendo-se pouca alteração na sua superfície (MACHADO *et al.*, 1996).

As ponteiras são as partes ativas do escarificador, responsáveis diretas pela mobilização do solo.

¹ Eng^o Agrícola, Prof. Assistente, DER/FAEM/UFPEL, Doutorando em Eng^a Mecânica, NeDIP/CTC/UFSC, cp.476, 88040-900, Florianópolis, SC - fone:048-3319719 (areis@nedip.ufsc.br)

² Eng^o Mecânico, Prof. Adjunto, Dep. de Eng^a Mecânica/CTC/UFSC, Florianópolis, SC

Embora possam apresentar vários formatos, as ponteiros estreitas (largura inferior a 0,08m) como a mostrada na Figura 1 são as mais utilizadas.

Ao contrário de outros meios, nos quais o conhecimento das propriedades físicas permitem a construção de modelos teóricos para a otimização do projeto de máquinas, ferramentas e sistemas, as propriedades físicas ou características de estado do solo (teor de água, porosidade, densidade aparente, etc.) não foram utilizadas com sucesso para esse fim até o momento. Há a necessidade de se avaliar experimentalmente as soluções propostas para um problema, especialmente quando se trata do fenômeno do desgaste (OWSIK, 1997).

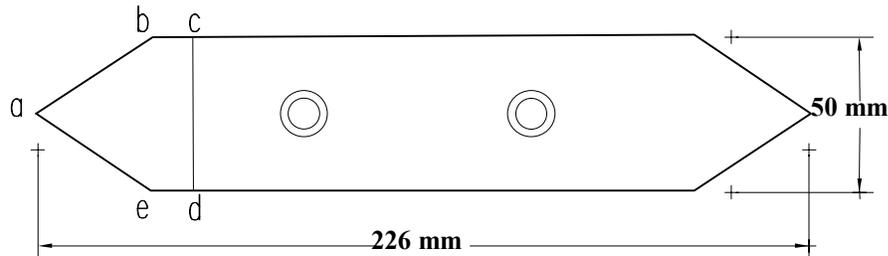


FIGURA 1. Vista frontal de uma ponta estreita reversível típica.

A durabilidade das ponteiros de escarificadores ainda é um problema a ser resolvido. Pois o desgaste gerado pelo solo força a substituição periódica desses componentes no escarificador. Esse procedimento além de ser dispendioso, onerando o agricultor, demanda tempo, que poderia ser utilizado em trabalho efetivo.

O desgaste pode ser considerado como a remoção de material de superfícies sólidas devido ao resultado da ação mecânica. Dentre os tipos de desgaste, o abrasivo é o que melhor descreve a ação do solo sobre ferramentas de preparo (BHOLE & YU, 1992), pois pressupõe o deslizamento de uma superfície rugosa com partículas duras (solo) sobre uma superfície *macia* (ponteira), gerando nessa última o desprendimento de material, sem que haja a posterior adesão desse à outra superfície do par.

Há fatores no solo, no material da ferramenta e no próprio sistema de abrasão que afetam o desgaste. No solo é importante a textura (tamanho, forma, dureza e quantidade de uma determinada partícula) e o teor de água. Na ferramenta, há que se considerar a dureza do material, sua resistência mecânica, sua resistência à propagação de fissuras e sua composição (liga presente). No sistema de abrasão deve-se levar em consideração a pressão na superfície de contato, a duração do contato e a velocidade do contato (GILL & VANDEN BERG, 1968; KEPNER *et al.* 1972).

Pelo que foi exposto, fica claro que a seleção de materiais é de suma importância para garantir uma vida útil satisfatória às ponteiros de escarificadores, assim como de outras partes de máquinas agrícolas que interajam com o solo. Segundo BACK & FORCELLINI (1997), os fatores que devem ser considerados na seleção de um material são as suas propriedades (físicas, mecânicas, elétricas, químicas, térmicas e nucleares) e fatores diversos (fabricabilidade, disponibilidade presente e futura, limitações de tamanho e tolerâncias, variabilidade do material, custos, meio ambiente a que estarão sujeitos, acabamentos requeridos, reciclagem e poluição ambiental e certificações). Essa complexidade é agravada pelo elevado número de materiais disponíveis: em torno de 80.000 (BACK & FORCELLINI, 1997).

Devido ao fato de não haver uma modelagem matemática realística dos sistemas solo-ferramenta (GILL & VANDEN BERG, 1968) e o desgaste das ponteiros ser uma realidade, o presente trabalho tem por objetivo aplicar o método do índice de desempenho na seleção de materiais para ponteiros de escarificador, com o auxílio das Cartas de Seleção de Materiais propostas por ASHBY (1992).

MATERIAL E MÉTODOS

As Cartas de Seleção de Materiais (ASHBY, 1992) foram utilizadas dentro do processo de seleção de materiais preconizados por BACK & FORCELLINI, 1997, que consideraram que o problema é de múltiplas variáveis e de múltiplas soluções, pois depende das propriedades dos materiais, do processo de fabricação e do projeto do componente. A fim de contornar essa característica os autores recomendam o seguinte conjunto de etapas:

(a) análise dos requisitos de seleção dos materiais: determinar as condições de serviço e o ambiente que o produto deve suportar.

(b) determinação das propriedades críticas do material: em função das condições de serviço e ambiente, verificar quais as condições que determinam propriedades críticas do material e quais os seus valores máximos e mínimos.

(c) triagem dos materiais candidatos: comparar as propriedades críticas com as propriedades dos materiais de um banco de dados (nesse caso as Cartas de Seleção de Materiais).

(d) seleção do material candidato: analisar os materiais em termos de desempenho do produto, custo, fabricabilidade e disponibilidade.

(e) detalhamento dos dados de projeto: determinação experimental das principais propriedades do material para a obtenção de dados estatisticamente confiáveis, sob condições específicas de utilização do produto (essa etapa foge aos objetivos desse trabalho, razão pela qual não será tratada).

(a) Análise dos requisitos de seleção dos materiais

A ponteira está sujeita ao efeito da textura e do teor de água do solo. O efeito do teor de água, que é inversamente proporcional ao desgaste, foi desconsiderado, ou seja, o solo foi tido como relativamente seco. Segundo FERGUNSON *et al.* (1998), para as condições de solos altamente abrasivos da Austrália, as ponteiras que trabalham em solo seco desgastam-se 4,25 vezes mais rápido do que em solos mais úmidos. Quanto a textura, foram tomados como base os solos arenosos, por serem os mais abrasivos. A areia é formada principalmente por sílica (SiO_2), que apresenta uma dureza da ordem de 7.400MPa. Esse valor é bastante alto mesmo quando comparado com o dos aços (RABINOWICZ, 1995). Ao se maximizar o efeito dos fatores do meio, está-se, na verdade, assegurando que a ferramenta poderá trabalhar num maior número possível de solos com um mínimo desgaste. FERGUNSON *et al.* (1998) acrescentam que o conteúdo de pedra e de cascalho é um dos fatores mais importantes no desgaste de ferramentas de preparo de solo.

A fim de estabelecer as condições de operação do escarificador, buscou-se fixar o valor de alguns atributos de interesse quando se consideram as Cartas de Seleção de Materiais, quais sejam: área de contato do solo com a ferramenta, pressão de contato entre a ferramenta e o solo e distância percorrida.

O solo não atua de forma uniforme sobre toda a superfície da ponteira. A observação a campo de ponteiras de escarificadores mostra, claramente, que a parte inferior da ponteira, onde encontra-se o seu gume, é a mais afetada pelo solo. Esse fato também foi observado por FERGUNSON *et al.* (1998). Sendo assim, numa tentativa de expressar mais corretamente o efeito do solo sobre a ponteira, foi considerada apenas essa área, compreendida pelos vértices **a**, **b**, **c**, **d**, **e** da Figura 1. Com as dimensões da ponteira em questão tem-se: $A_{abcde}=0,0016\text{m}^2$.

Para se chegar a força a que a ponteira está sujeita, utilizou-se o valor de força de tração estimado pela ASAE (1999) para ponteiras de escarificador com a mesma largura da ponteira da Figura 1. Considerando-se uma profundidade de trabalho de 0,3m (a máxima para a escarificação), uma velocidade de 8km/h e um escarificador hipotético com apenas uma haste operando em solos de textura arenosa, estima-se uma força de tração máxima de $D=3,9\text{kN}$.

A pressão de contato (**P**) entre o solo e a ferramenta é obtida - admitindo-se que haja uma distribuição uniforme de esforços - pela divisão de **D** por A_{abcde} . Assim, o valor de **P** é de 2,4MPa.

Considerando-se uma vida útil de 2.000h (ASAE, 1999), uma velocidade de 8,0km/h e um espa-

çamento entre passadas de 0,3m, a distância percorrida pela ponteira seria de 16.000km, correspondendo a uma área trabalhada de 480ha (apenas uma ponteira, um equipamento de 10 hastes trabalharia uma área de 4.800ha). Entretanto, por se entender que esse valor de vida útil é muito elevado para o equipamento em questão, foram arbitrados outros dois valores: 200 e 800km. Esses valores correspondem a uma vida útil de 25 e 100h, respectivamente, o que está mais próximo de algumas condições extremas de desgaste relatadas na bibliografia (FERGUNSON et al., 1998; FIELKE et al., 1993; OWSIAK, 1999 entre outros). Os valores de vida útil foram fixados com base na bibliografia em função da indisponibilidade de dados reais de durabilidade desse componente. Os três valores escolhidos permitiram uma simulação dos parâmetros necessários à utilização das Cartas de Seleção, conforme será visto adiante.

(b) Determinação das propriedades críticas do material

O desgaste é um fenômeno difícil de quantificar, pois além de referir-se à superfície do material e não a sua massa, envolve interações entre dois materiais e não propriedades de apenas um (ASHBY, 1992). Daí ser difícil correlacionar testes de laboratório de um dado material com sua efetiva resistência ao desgaste.

Dentre as propriedades já citadas, a dureza dos aços dá um bom exemplo dessa dificuldade, pois não se correlaciona bem com a resistência ao desgaste (GILL & VANDEN BERG, 1968). Em aços com médio teor de carbono, as taxas de desgaste mais baixas foram encontradas para durezas entre 44 e 48 Rockwell C (Rc). Para durezas maiores ou menores, o desgaste aumentou (KEPNER *et al.*, 1972). Mesmo quando o aumento da dureza traz consigo um aumento da resistência ao desgaste (aços liga), esse aumento não é tão grande quanto era de se esperar, pois o aumento da resistência ao desgaste, no geral, é de apenas 1/3 do aumento da dureza (RABINOWICZ, 1995; OWSIAK, 1997).

De uma maneira geral, um aumento do teor de carbono ou do elemento liga nos aços é mais efetivo que o aumento na dureza no controle de desgaste (GILL & VANDEN BERG; 1968, KEPNER *et al.*, 1972).

Outra forma de caracterizar a resistência ao desgaste de uma superfície é utilizar a constante de desgaste de Archard, K_A (m^2/N ou Pa^{-1}), definida pela equação (ASHBY, 1992):

$$K_A = \frac{W}{A \times P} \quad (1)$$

em que,

W - a taxa de desgaste, m^3/m ;

A - área de superfície de contato, m^2 ;

P - a pressão de contato entre as superfícies, Pa.

Nesse caso, o valor de **W** é fixado pelo projetista em função da durabilidade pretendida para o componente. No caso da ponteira fixou-se quatro níveis de desgaste (10, 40, 70 e 100 % do volume sob A_{abcde} , com espessura de 0,01m) a fim de simular diversas condições de utilização do equipamento. Quando analisados em conjunto com as distâncias percorridas fornecem os valores de K_A utilizados na Carta de seleção de materiais.

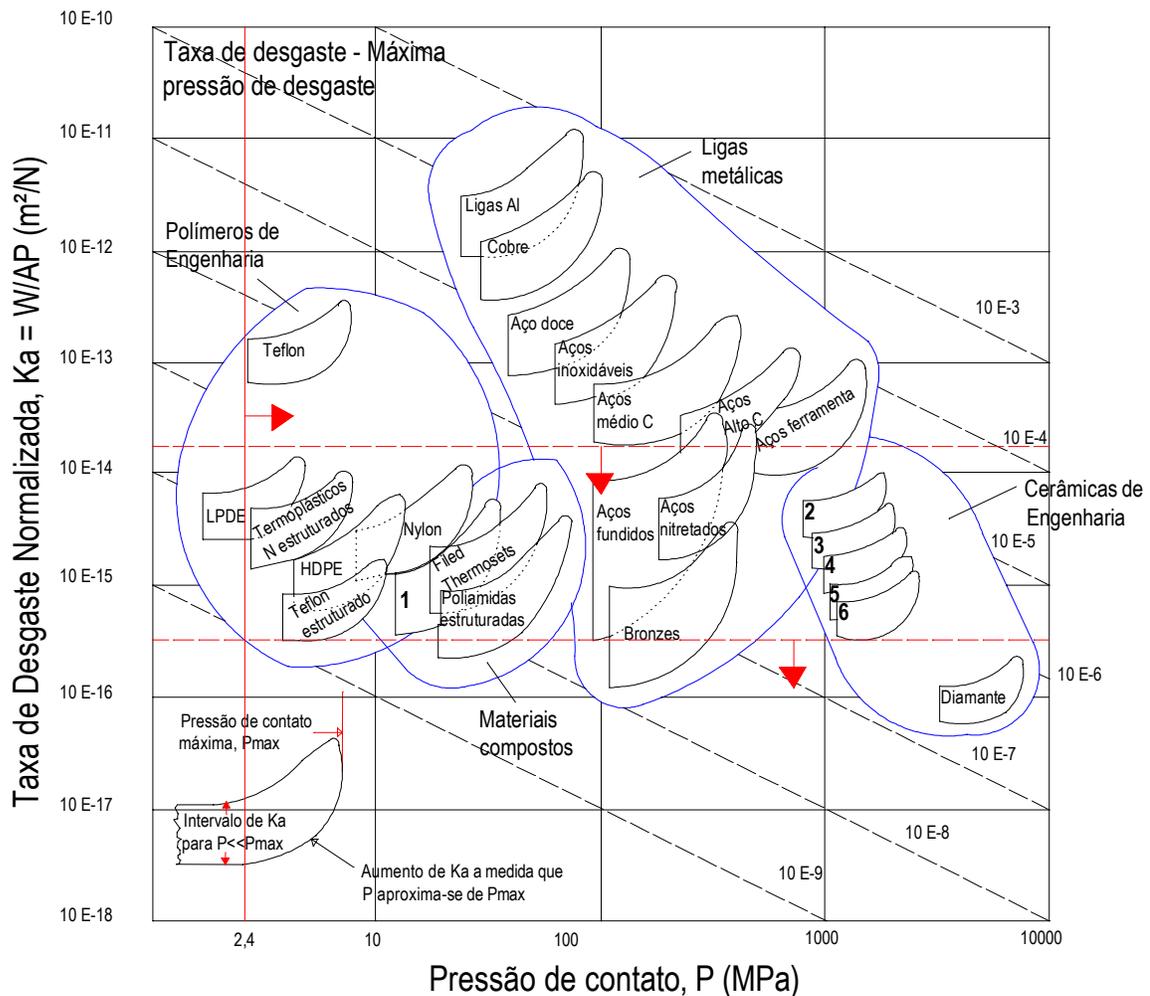
(c) Triagem dos materiais candidatos

O emprego das Cartas de Seleção de Materiais, nesse estudo, parte do pressuposto que há independência dos três fatores de especificação no projeto de um componente (requisitos funcionais, parâmetros geométricos e propriedades do material), ou seja, a performance do componente pode ser descrita apenas pelas características do material. Assim, ela pode ser expressa como um critério de desempenho (mínima massa, mínimo volume, máxima rigidez, etc.). Nesse trabalho, o critério de desempenho é o da máxima vida ou mínimo desgaste. O pressuposto da independência dos fatores de projeto traz uma grande simplificação, pois a performance dos fatores funcionais e geométricos são otimizadas com a maximização do fator material (BACK & FORCELLINI, 1997). Esse conjunto de ações é co-

nhecido como método do índice de desempenho. O procedimento para maximizar o índice de desempenho, tanto para o assunto presente como para outros, encontra-se bem detalhado em ASHBY (1992).

Nesse estudo será utilizada a **Carta de Seleção de Materiais 16 – Taxa de desgaste x Pressão de contato**, apresentada na Figura 2. As linhas traçadas na carta descrevem os valores dos parâmetros simulados (distância, perda de volume e constante de desgaste de Archard) e as flechas apontam para as regiões de seleção de materiais.

Pode-se constatar através da Figura 2 que existe um grande conjunto de materiais que podem satisfazer os requisitos de projeto. Aqueles que atendem as condições mínimas (distância de 200km e 100% de perda de volume) são: aços com alto teor de carbono, aços ferramenta, aços fundidos, aços nitretados, bronzes, nylons, materiais compostos, HDPE (polietileno de alta densidade), teflon estruturado), LDPE (polietileno de baixa densidade), termoplásticos não estruturados.



Legenda: 1. Termoplásticos estruturados; 2. Metal duro; 3. Al_2O_3 ; 4. Si_3N_4 ; 5. SiC; 6. Sialons³

FIGURA 2. Carta 16 –Taxa de desgaste x Pressão de contato, apresentando os valores simulados de K_A (---), P (—) (fonte: ASHBY, 1992).

³ Cerâmica de engenharia derivada do Si_3N_4 , cujo o nome é formado pelos símbolos dos principais elementos químicos constituintes: Si, Al, O, N.

Quando se consideram condições extremas de operação (16.000km de distância e apenas 10% de perda de volume), não é encontrado nenhum material na carta de seleção, ou seja, segundo essa metodologia, nenhum material atenderia os requisitos de durabilidade assim fixados. Já para a segunda condição mais extrema (800km e 10% de desgaste) os materiais reduzem-se a: teflons estruturados, poliamidas estruturadas, bronzes, aços fundidos e cerâmicas de engenharia (sialons).

(d) Seleção do material candidato

A análise dos materiais candidatos, considerando aspectos como desempenho do produto, custo, fabricabilidade e disponibilidade, permite reduzir ainda mais o campo de escolha. Para tanto foram utilizados critérios baseados na experiência dos projetistas e nas Cartas 14 e 15 de Ashby que compararam o custo relativo dos materiais com a sua rigidez e sua resistência, respectivamente. Os resultados podem ser avaliados na Tabela 1. Como todos os materiais considerados são de uso generalizado, com exceção dos materiais compostos, o item disponibilidade foi omitido da Tabela 1.

TABELA 1 Seleção dos materiais candidatos focalizando os aspectos negativos.

MATERIAL	DESEMPENHO	CUSTO	FABRICABILIDADE	RESULTADO
Aço alto C				aceito
Aço ferramenta		alto	ruim	excluído
Aço fundido				aceito
Aço nitretado				aceito
Bronze	ruim			excluído
Nylon (poliamida)				aceito
HDPE	Ruim, baixa rigidez			excluído
Teflon estruturado	Ruim em condições extremas	alto		excluído
Mater. Compostos		alto	ruim	excluído
Poliamidas estruturadas				aceito
Sialons		alto		excluído
Termoplásticos ã estrut.	Ruim, baixa rigidez			excluído
LDPE	Ruim, baixa rigidez			excluído

Embora nesse item a intenção seja escolher apenas um material, a Tabela 1 mostra que cinco materiais podem ser utilizados para a fabricação de ponteiras de escarificador: aços com alto teor de carbono, aços fundidos, aços nitretados, nylons e poliamidas estruturadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os aços com altos teores de carbono já vem sendo utilizados com essa finalidade, por essa razão o resultado já era esperado. Peças com finalidades análogas como relhas de aivecas e discos de grades são feitos com aço SAE 1095 temperado (ou aço forjado a frio) e aço SAE 1080, respectivamente (KEPNER *et al.*, 1972). Também FERGUNSON *et al.* (1998) testaram ponteiras comerciais fabricadas com aços com teor de carbono entre 0,68 e 0,78% tratados termicamente.

Os aços nitretados são outra opção viável, pois apresentam elevada dureza superficial (8.800 a 12.250MPa), especialmente quando comparada com a dureza das partículas de areia (7.400MPa), o que os torna resistentes à abrasão do solo (RABINOWICZ, 1995).

Os aços fundidos têm pouca utilização em ferramentas que trabalham no solo devido a sua fragilidade. Essa característica torna a peça suscetível à ruptura quando se chocar com algum obstáculo no solo (pedras, raízes, troncos, etc.). No entanto, mudanças na geometria da ponteira, como por exemplo a divisão em duas partes – uma estrutural e outra funcional – poderia tornar viável o emprego desse material. No entanto, segundo BHOLE & YU (1992), alguns aços fundidos têm boa resistência ao im-

pacto e ao desgaste devido aos micro constituintes presentes, que têm dureza superior às partículas do solo. Uma outra opção ainda é citada por FIELKE *et al.* (1993): o emprego de ponteiros com o dobro da espessura normal. O aumento da espessura juntamente com a maior resistência do material confere uma vida 4,4 vezes superior ao de uma ponteira convencional. No entanto há um aumento da força de tração e maior dificuldade de penetração no solo.

Algo semelhante ocorre com o nylon, que apesar de ser resistente ao desgaste, não tem a rigidez exigida para a função (mesmo as poliamidas estruturadas com adição de material resistente, não teria a rigidez necessária). Novamente há que se pensar na mudança da geometria da ponteira para possibilitar o uso de insertos de nylon. Algo semelhante foi testado por LAWTON & FOLEY (1986) com o emprego de insertos de cerâmica em ponteiros estreitas. Esse arranjo obteve uma resistência ao desgaste até 6 vezes maior do que as ponteiros convencionais de aço. Embora esses autores tenham utilizado insertos de alumina (Al_2O_3), os resultados favoráveis obtidos confirmam a possibilidade de uso dos sialons, conforme foi apontado na pela carta de seleção de materiais da Figura 2, desde que a questão do custo seja resolvida.

Várias tentativas de uso de materiais não metálicos em ferramentas de trabalho do solo já foram feitas. O teflon, por exemplo, já foi utilizado experimentalmente no revestimento de arados de aivecas com o intuito de reduzir o atrito com o solo. A experiência obteve relativo sucesso em solos pegajosos pouco abrasivos do Havaí. No entanto, quando utilizado em solos razoavelmente abrasivos, a relha do arado revestida com uma camada de 5mm de teflon desgastou-se completamente em apenas 20ha (KEPNER *et al.*, 1972).

CONCLUSÕES

O uso da **Carta de Seleção de Materiais 16** (ASHBY, 1992) para o projeto de ferramentas que trabalhem no solo, como é o caso da ponteira, deve ser feito com cuidado, pois a escolha de materiais como o bronze, termoplásticos e o teflon, que têm resistência à abrasão do solo reconhecidamente baixa, indica que, com esse método, o projetista pode ser levado ao erro. O principal inconveniente parece advir do fato da Carta 16 considerar que todos os materiais citados são atritados sobre uma superfície de aço seca. Nessas condições, além de poder surgir o desgaste adesivo, que não é o predominante entre o solo e a ferramenta, as partículas formadas pelo desgaste acabam sendo quebradas e arredondadas, tendo diminuído, assim, o seu poder abrasivo. O mesmo não ocorre na interface solo-ferramenta, onde novas partículas (solo) se apresentam à ferramenta a cada instante.

Torna-se evidente, portanto, a necessidade de se validar experimentalmente os parâmetros utilizados na Carta 16 no caso de ferramentas que trabalhem no solo, principalmente a constante de Archard (K_A) e a taxa de desgaste (W).

Os materiais resultantes da triagem feita na seleção inicial ou já são utilizados na confecção de ponteiros (aços com alto teor de carbono) ou tem bom potencial de utilização (aços nitretados, aços fundidos e nylon), desde que sua aplicação seja mais profundamente estudada sob os aspectos funcionais e de custo.

Portanto, os resultados obtidos indicam que essa metodologia pode ter um bom potencial de utilização na seleção de materiais para ponteiros de escarificadores e órgãos ativos de outras máquinas que sofram a ação do solo

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASAE. *ASAE D497.4: agricultural machinery management data*. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 1999, p.349-57.
- ASHBY, M. F. *Materials selection in mechanical design*. Oxford: Pergamon Press, 1992, 311p.
- BACK, N., FORCELLINI, F. A. *Projeto para manufatura*. Florianópolis: Departamento de Engenharia Mecânica, UFSC, 1997, apostila de aula (não publicado).
- BHOLE, S. D., YU, H. Abrasive wear evaluation of tillage tool materials. *Lubrication Engineering*; v.48, n.12, p.925-34, 1992.
- FERGUNSON, S. A., FIELKE, J. M., RILEY, T. W. Wear of cultivator shares in abrasive south Australian soils. *J. agric. Engng. Res.*; v.69, p.99-105, 1998.
- FIELKE, J. M., RILEY, T. W., SLATTERY, M. G., FITZPATRIK, R. W. Comparison of tillage forces and wear rates of pressed and cast cultivator shares. *Soil & Tillage Research*. v.25, n.4, p.317-28, 1993
- GILL, W. R., VANDEN BERG, G. E. V. *Soil dynamics in tillage and traction*. Washington: U. S. Department of Agriculture, 1968, 511p.
- KEPNER, R. A., BAINER, R., BARGER E. L. *Principles of farm machinery*. 2nd ed., Westport: Avi Publishing Company, 1972, 487p.
- LAWTON, P. J.; FOLEY, A. G. Alumina tipped spring tine points – field assessments. *J. agric. Engng. Res.*; v.34, p.343-55, 1986.
- MACHADO, A. L. T., REIS, A. V., MORAES, M. L. B., ALONÇO, A. S. *Máquinas para preparo do solo, semeadura, adubação e tratamentos culturais*. Pelotas: Universitária – UFPel, 1996, 229p.
- OWSIK, Z. Wear of symmetrical wedge-shaped tillage tools. *Soil & Tillage Research*. v.43, p.295-308, 1997.
- OWSIK, Z. Wear of spring tine cultivator points in sandy loam and light clay soils in southern Poland. *Soil & Tillage Research*. v.50, p. 333-40, 1999.
- RABINOWICZ, E. *Friction and wear of materials*. 2nd ed., New York: John Wiley & Sons, 1995, 315p.