

CARACTERIZAÇÃO NUMÉRICA DE PARTÍCULAS ABRASIVAS ATRAVÉS DO CÁLCULO DO PARÂMETRO DE PONTA SEGUNDO STACHOWIAK¹

*Cristiano Lube Mação²
Mauro Dias Brombley³
Paulo César Seibel⁴
Cherlio Scandian⁵*

Resumo

Este trabalho apresenta uma técnica de caracterização da partícula abrasiva, proposta por Stachowiak, baseada na representação do contorno da mesma por triângulos em diferentes escalas e, posteriormente, no cálculo de uma quantidade denominada parâmetro de ponta (SP). Foi feita uma aferição de acordo com os cálculos obtidos por Stachowiak, através da confecção de um programa computacional. Foi utilizada como teste a areia normal brasileira do IPT e obtido o valor do SP para a citada areia. Problemas computacionais e do método são discutidos.

Palavras-chave: Partícula abrasiva; Forma; Parâmetro de ponta.

¹ Trabalho a ser apresentado no 60º Congresso Anual ABM – Internacional – Belo Horizonte, MG, Julho de 2005.

² Eng Mecânico/2004, UFES – ES.

³ Eng Mecânico/2003, UFES – ES.

⁴ Eng Mecânico/2004, UFES – ES.

⁵ Prof. Dr. PPGEM/UFES – ES.

1 INTRODUÇÃO

É indiscutível a importância do estudo do desgaste causado por partículas duras na indústria, especialmente, na mineral, agrícola e em plantas siderúrgicas. É relevante o caráter sistêmico do desgaste, assim, a compreensão dos parâmetros sistêmicos e a correlação com a taxa de desgaste se faz necessário. O efeito de variáveis tais como tamanho da partícula, dureza do material e da partícula, carga e velocidade têm sido largamente investigados [1]. Quanto a variável forma da partícula abrasiva, a mesma é, freqüentemente, mensurada por um fator clássico chamado fator de esfericidade, que é razão entre a área da projeção e a área de um círculo de igual perímetro [2]. Uma metodologia mais complexa baseada no estudo da forma da superfície através de coeficientes de Fourier tem sido, também, aplicada por Swanson e Vetter [3].

Neste trabalho, foi desenvolvida uma nova caracterização numérica da forma da partícula, proposta por G. W. Stachowiak, através da determinação do chamado parâmetro de ponta (SP) [4,5]. Através de micrografias obtidas no MEV, determina-se o contorno das partículas e, em seguida, fazem-se interações computacionais para, finalmente, determinar o SP da partícula.

Na seção 2 deste trabalho, apresentar-se-á uma revisão teórica sobre o tema.

A metodologia será apresentada na seção 3.

Os resultados e as discussões serão apresentados, respectivamente, na seção 4. Finalmente, as conclusões serão apresentadas na seção 5.

2 REVISÃO TEÓRICA

A Figura 1 mostra um segmento do contorno de uma partícula fictícia e exibe o princípio do cálculo do SP [4,5].

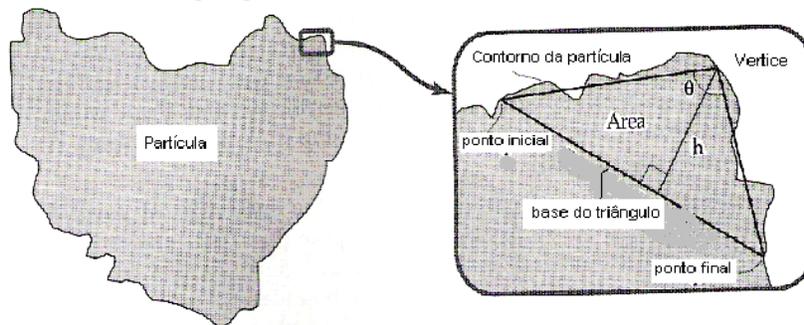


Figura 1(a) Construção de triângulos na vizinhança do contorno da partícula.

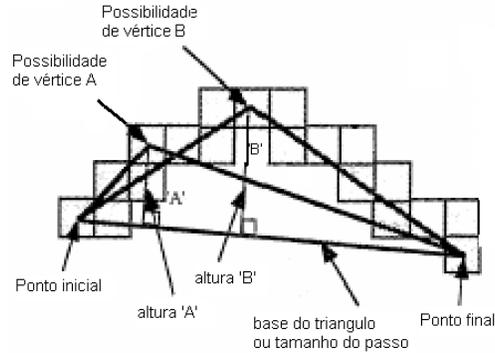


Figura 1(b) Construção de triângulos representando o contorno da partícula digitalizado.

Um limite da partícula é percorrido em torno de um passo de tamanho fixo numa maneira similar como a usada para calcular a dimensão fractal do limite. O começo e o ponto da extremidade de cada passo são representados por um triângulo, como ilustrado na figura 1. Supõe-se que a acuidade e o tamanho destes triângulos estão relacionados diretamente com a abrasividade da partícula, isto é, os triângulos mais agudos (menor ângulo de vértice) e os maiores (altura perpendicular) são os mais abrasivos na partícula. A acuidade e o tamanho destes triângulos foram descritos por um parâmetro numérico chamado valor de ponta (SV). Para cada passo em torno do limite da partícula, os SV's são calculados para os triângulos maiores e os mais agudos. SV e SP são obtidos através das seguintes relações [4,5]:

$$SV = \cos\left(\frac{\theta}{2}\right).h \quad (1)$$

$$SP = \sum \left[\sum \left(\frac{sv_{m\acute{a}x}}{h_{m\acute{a}x}} \right) / m \right] / n \quad (2)$$

Onde:

SV_{max} - é o maximo valor de $[\cos (\theta/2).h]$ para um passo dado;

h_{max} - é a altura em ' SV_{max} ';

m - é o número de SV's válidos para um dado tamanho de passo;

n - é o número de diferentes tamanhos de passos usados.

A relação (1) é a definição de SV e a relação (2) é simplesmente média das médias dos co-senos de θ_{max} [4,5]. Na seção seguinte, estas relações serão melhor comentadas.

3- METODOLOGIA

A figura 2-a mostra os valores de SP's computados a partir de figuras fictícias. A figura 2-b indica variação do $SV_{\text{máx}}/h_{\text{máx}}$ com o tamanho de passo usado, obtidos por Stachowiak [4,5].

formas	parametro de ponta
	0.1332
	0.1633
	0.1721
	0.1951
	0.2119
	0.7243

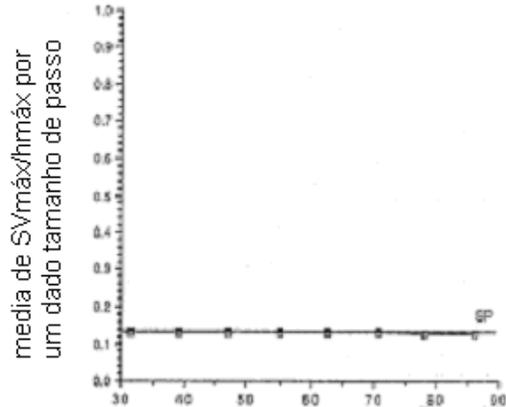


Figura 2 (a) SP's encontrados por Stachowiak
Fonte: [4,5]

(b) Variação do SP com o tamanho do passo, para a forma 1 (esférica).

O programa computacional, aqui desenvolvido, admite as partículas da figura 2(a) por scanner e calcula os respectivos valores dos SP's, com intuito de simples comparação. Para calcular o SP de cada partícula aplica-se o seguinte procedimento, que se trata das equações (1) e (2).

- Reconhece todos os pixels do contorno e armazena ordenadamente numa matriz $n \times 2$ (n : número de pixels do contorno);
- Determina-se o ponto inicial (início das interações) como o que está mais à extrema esquerda do contorno;
- É estabelecido então o tamanho do passo inicial (tamanho de passo é definido como uma quantidade inteira de pixels pertencentes ao contorno da partícula);
- É encontrado o ponto final e calculado o comprimento do passo (definido como a distância entre ponto inicial e o ponto final);
- O comprimento do passo torna-se a base de vários possíveis triângulos;
- Os pontos de ápice dos triângulos são os pixels do contorno localizados entre o ponto inicial e o ponto final, respeitando o limite inferior de 10 pixels, depois do ponto inicial, e 10 pixels antes do ponto final;
- Calcula-se o ângulo do ápice (θ) e a altura (h) relativa a base;
- Desconsideram-se os triângulos cujos θ 's são maiores ou iguais a 2,9 radianos e cujas alturas são negativas (concavidades na partícula);
- Calculam-se os SV's dos triângulos válidos e armazena-se o máximo;
- Tira-se a média dos SV's máximos;
- Muda-se o ponto inicial para 1 pixel, depois do ponto inicial adotado anteriormente, até que todos os pixels tenham sido pontos iniciais;
- Incrementa-se o tamanho do passo e repete-se o procedimento, até que o tamanho do passo torne-se maior que 1/15 de n ;
- Calcula-se nova média e tem-se o SP da partícula;

n) Aplica-se novamente todo o procedimento em outras partículas e depois de tirar a média dos SP's das partículas tem-se, finalmente, o SP da amostra.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

A figura 3 mostra os valores dos SP's, calculados a partir do programa, para as seis formas da figura 2.

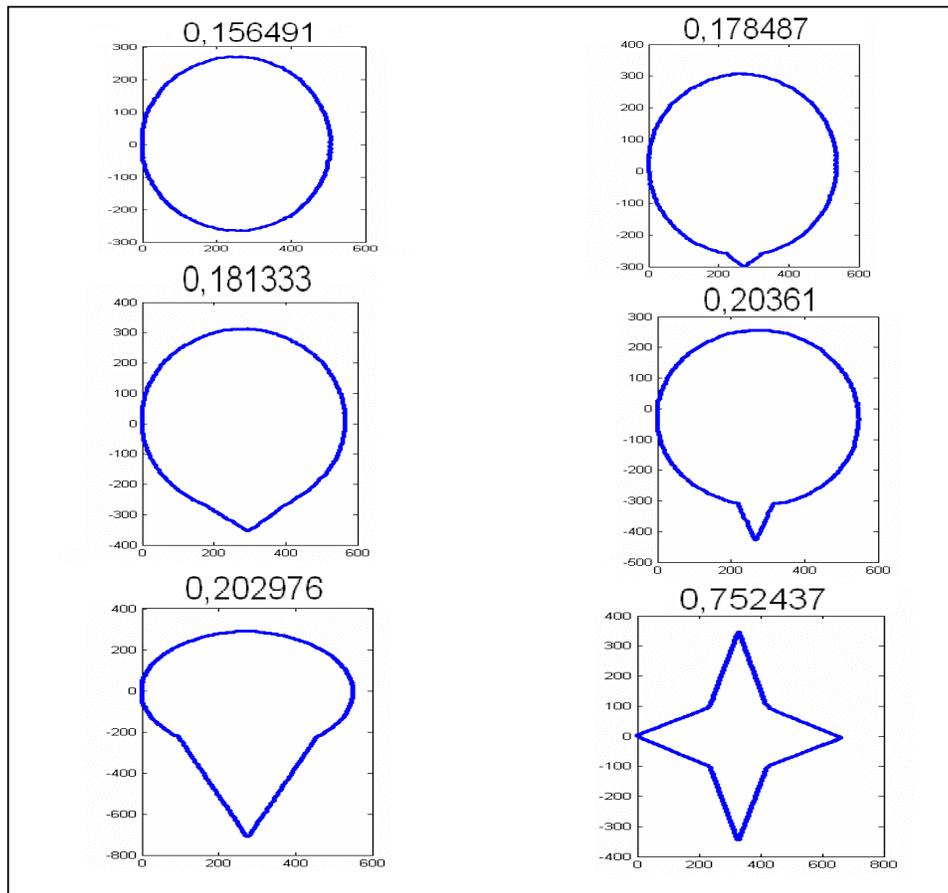


Figura 3 SP's encontrados pelo programa neste trabalho computacional desenvolvido.

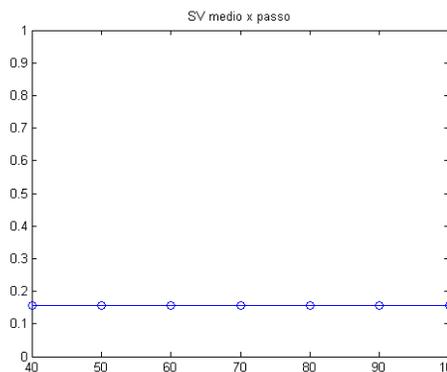
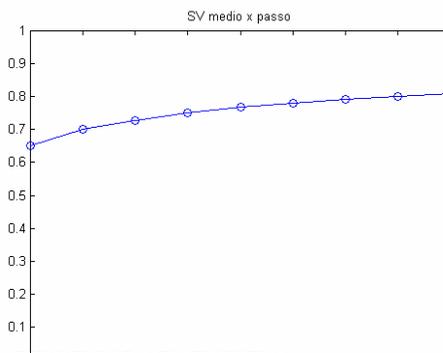


Figura 4 (a) Variação do SV com tamanho de passo, para a forma 1 da figura 2



(b) Variação do SV com tamanho de passo, para a forma 6 da figura 2

Para a areia normal brasileira foram fotomicrografadas várias partículas como se pode observar, por exemplo, na figura 5.

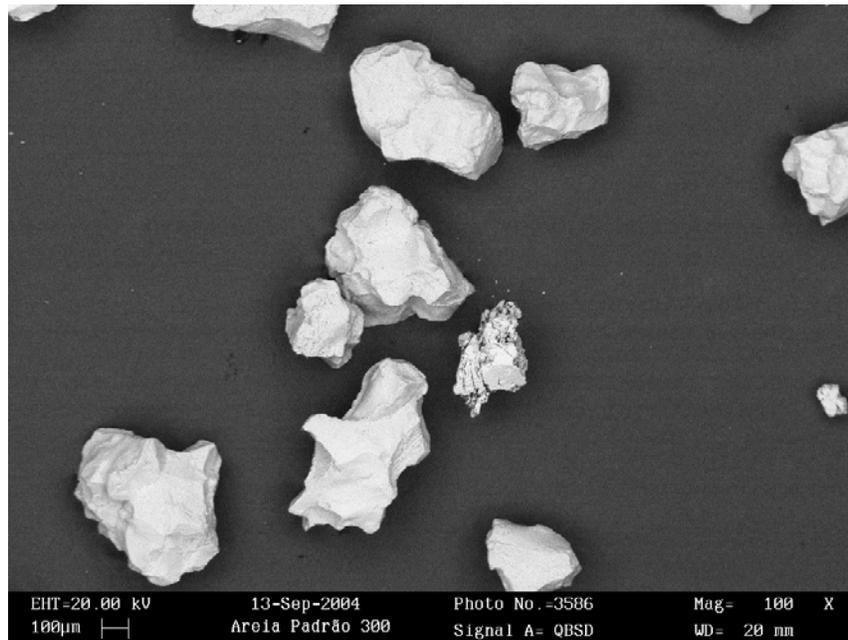


Figura 5 fotomicrografia da areia normal brasileira do IPT-SP ampliação 100x (MEV, elétrons retroespalhados)

Após um tratamento de imagem, em ambiente MatLab, obtém-se a figura 6, que consiste nas projeções das partículas e seus contornos bem definidos.

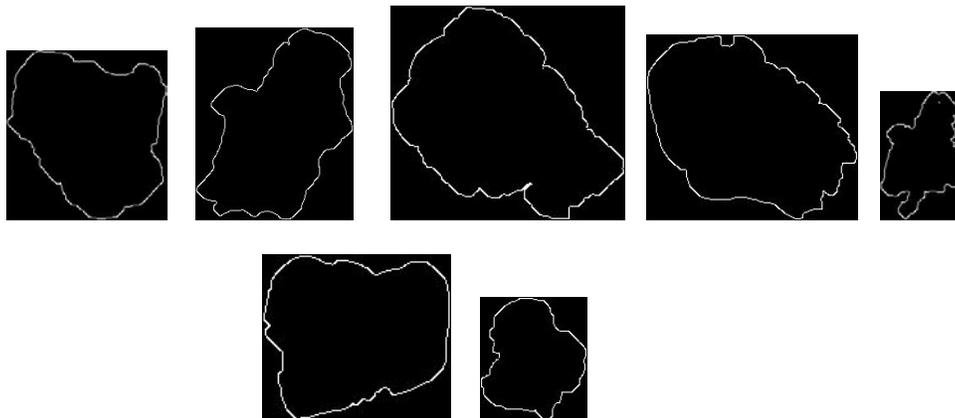


Figura 6 Partículas individualizadas e com contornos ressaltados

A partir das formas obtidas, como na figura 6, e aplicando o procedimento descrito anteriormente, o programa calcula o SP para a referida areia.

A figura 7 exhibe o SP de cada partícula da figura 6, a discrepância parece ser importante, no entanto deve ser observado o eixo das abscissas e percebe-se que não é assim tão grande a diferença entre o maior e o menor SP encontrados.

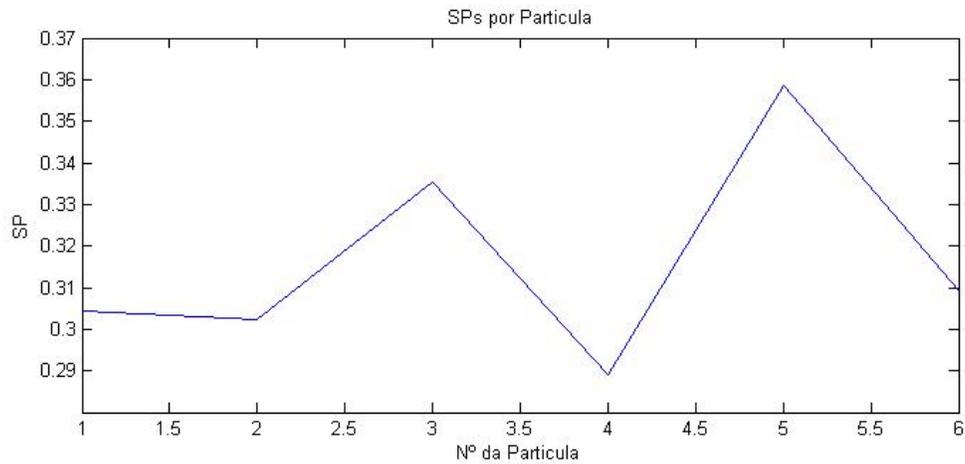


Figura 7 SP de cada partícula da figura 6

Depois da inserção de uma dezena de fotomicrografias o valor do SP encontrado foi <<0.316505>>.

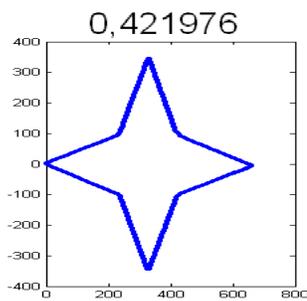
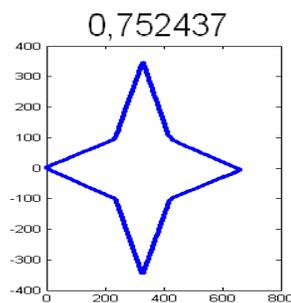


Figura 8 (a) Tamanho 270 x 270 pixels



(b) Tamanho 770 x 770 pixels

Observou-se que o tamanho no qual se insere uma figura no programa tem uma importância considerável, figura 8. Para a mesma forma (forma 6 da figura 2), obtiveram-se diferentes valores de SP, portanto deve-se trabalhar de forma padronizada; o tamanho 770 x 770 pixels foi o empregado por Stachowiak para as 6 formas da figura 2.

Na figura 3, foram obtidos valores de SP's ligeiramente diferentes, isso se deveu ao fato de que as seis formas da figura 2 foram copiadas por scanner a fim de aferir o programa.

Uma quantidade de passos satisfatória deve ser atingida para que se possa confiar nos cálculos, principalmente em formas pontiagudas, como se pode observar na figura 4-b.

Por fim, foi construída graficamente a forma 1 da figura 2 e obteve-se 0,1332 como valor do seu SP, com isto confirma a suspeita de que as diferenças encontradas para a figura 2 foram geradas pelo scanner.

5 CONCLUSÕES

Fazendo um comparativo entre os SP's sugeridos por Stachowiak, figura 2, e os encontrados pelo presente programa computacional desenvolvido no presente trabalho, figura 3, nota-se que foi atingido com êxito o objetivo, o que validou o programa aqui apresentado.

Aplicando o programa para a areia normal brasileira do IPT, figura 5, a título de ilustração, encontrou-se para o SP médio o valor <<0.316505>>.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] STACHOWIAK G.W., BATCHELOR A. W., Engineering Tribology 2ª ed. Perth, Butterworth-Heineman, 2001.
- [2] HUTCHINGS, I.M., Tribology. London, British Library, 1992.
- [3] P. A. SWANSON and VETTER, "The measurement of abrasive particle shape and it's effect on wear". ASLE Trans. 28 (1994) 225-230.
- [4] STACHOWIAK G.W. and HAMBLIN M.G., "A multi-scale measure of particle abrasivity, Wear, 185, pp: 225-233, 1995.
- [5] STACHOWIAK G.W., "Numerical characterization of wear particle morphology and angularity of particles and surfaces", Wear, 151, pp: 371-388, 2003.

Agradecimentos

Ao técnico Iukio Nishida da Cia Siderúrgica de Tubarão, pelo auxílio junto ao MEV e ao Professor Dr. Evandro Ottoni T. Salles do Dep. de Engenharia Elétrica/UFES pelas discussões acrescentadas.

NUMERICAL CHARACTERIZATION OF ABRASIVE PARTICLES BY STACHOWIAK'S SPIKE PARAMETER CALCULATION¹

*Cristiano Lube Mação²
Mauro Dias Brombley³
Paulo César Seibel⁴
Cherlio Scandian⁵*

ABSTRACT

This work presents a characterization technique of abrasive particles, proposed by Stachowiak, based on the representation of the particle boundary by triangles at different scales. This technique evaluates the particle sharpness by the calculation of the spike parameter (SP). A calibration was performed in agreement with Stachowiak calculations by elaborating a computational program. An example of application was presented, the standard IPT sand was evaluated by the SP value. Computational aspects and method limitations are discussed.

Key-words

Abrasive particle, shape, spike parameter

¹ 60th ABM Congress – July 2005 - *Belo Horizonte, MG, Brazil.*

² Mechanical Engineering – 2004 – UFES – ES – Brazil.

³ Mechanical Engineering – 2003 – UFES – ES – Brazil.

⁴ Mechanical Engineering – 2004 – UFES – ES – Brazil

⁵ Dr., PPGEM/UFES – ES – Brazil.