



USO DO MÉTODO DOS ELEMENTOS DISCRETOS EM MANUSEIO DE MINÉRIOS E SUA CONTRIBUIÇÃO PARA A PÓS- GRADUAÇÃO E GRADUAÇÃO NO CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA DA UFPA

André Luiz Amarante Mesquita – andream@ufpa.br
Alexandre Luiz Amarante Mesquita – alexmesq@ufpa.br
Elias Gomes dos Santos - sailemarab@hotmail.com
Luiz Carlos da Silva Carvalho - lcsc@ufpa.br
Luiz Moreira Gomes - luizmg@ufpa.br
Elias Fagury Neto - fagury@ufpa.br
Marcio Paulo de Araújo Mafra - mpaulo@ufpa.br
Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Mecânica
Rua Augusto Corrêa 01, Guamá, Caixa Postal 479
CEP 66075-110 – Belém – Pará

Resumo: *O setor de mineração tem uma grande influência na economia do País e em especial no Estado do Pará, onde há uma grande atividade mineira e grandes projetos de mineração sendo desenvolvidos. Portanto, é de suma importância que inovações tecnológicas no setor sejam sempre objetivadas. Nesse sentido, a Universidade Federal do Pará, por meio do Grupo de Pesquisa em Transporte de Sólidos Granulados, iniciou pesquisas nas áreas de caracterização de escoabilidade de sólidos granulados e análise virtual de escoamento de granulados usando o Método dos Elementos Discretos (Discrete Element Method – DEM). Assim sendo, este trabalho mostra em linhas gerais como o DEM pode ser usado na análise de escoamento de minérios e também o desenvolvimento da pesquisa pelo Grupo. Finalmente, discute-se a importância com que o fortalecimento dessa linha de pesquisa pode contribuir na pós-graduação e graduação do curso de Engenharia Mecânica da UFPA.*

Palavras-chave: *Método dos elementos discretos, Mineração, Transporte de minérios.*

1. INTRODUÇÃO

Atualmente o Estado do Pará possui uma posição de destaque no cenário nacional e internacional no que diz respeito à extração e beneficiamento de minérios. Novos investimentos estão sendo feitos no setor, como por exemplo, a construção da nova usina da Vale de beneficiamento de minério de ferro: o Projeto Ferro Carajás S11D. Esse projeto consiste da exploração de uma nova mina e usina de beneficiamento de minério de ferro, a qual irá produzir 90 milhões de toneladas de minério de ferro/ano para atender demanda global (POLONI, 2010).

Realização:

 **ABENGE**

Organização:



**O ENGENHEIRO
PROFESSOR E O
DESAFIO DE EDUCAR**



Nesse sentido é crescente a demanda por tecnologias associadas ao controle operacional da linha de produção do minério beneficiado. Dentre as áreas de atuação, onde há a necessidade crescente de estudos e pesquisas, destaca-se a “Análise do Escoamento de Material Granular”. Para o projeto de um sistema de transporte de minério faz-se necessário um estudo detalhado do comportamento dinâmico do material granulado que se está trabalhando e a sua interação com os equipamentos de transporte. Na Fig.1 há um típico caso de um silo onde há a necessidade de impactos para que o material escoe. Isto é um exemplo de um projeto de silo incorreto onde as características de escoamento do material granular não foram corretamente previstas.



Figura 1 - Silo com marcas de impactos indicando problemas de escoamento (SCHULZE, 2007).

Como já mencionado em parágrafo anterior, é imprescindível conhecer as características de fluxo de materiais granulados para que uma indústria de beneficiamento mineral opere da forma que foi planejada. Nesse sentido, com o crescente desenvolvimento da tecnologia computacional, vem crescendo também a utilização do Método dos Elementos Discretos no projeto de linhas de transporte de granulados. O Método dos Elementos Discretos, ou simplesmente MED ou DEM (*Discrete Element Method*) é um método de simulação numérica do movimento de um grande número de partículas (normalmente modeladas por geometrias simples) dentro de um sistema fixo ou móvel variante com o tempo. O método fornece uma detalhada descrição das posições, velocidades e forças agindo em cada corpo ou partícula assim como nos contornos físicos em cada instante de tempo na análise devido a forças de atrito, eletrostáticas, magnéticas, gravidade e coesão.

Um dos atrativos do método é visualização virtual dos movimentos das partículas dentro do sistema sob análise. Desta forma, atualmente, o DEM está se tornando largamente aceito como um método efetivo de avaliar a problemas de engenharia envolvendo materiais granulados especialmente em problemas de escoamento de partículas, tendo assim aplicação em várias áreas como, por exemplo, no campo da geofísica/sismologia, fratura de rochas, mecânica de solos e mineração.

Tendo o Estado do Pará um forte setor industrial de mineração o qual demanda por profissionais mais qualificados no setor, criou-se na Faculdade de Engenharia Mecânica da UFPA o Grupo de Estudos de Transporte de Sólidos Granulados. Atualmente, o grupo conta com professores e alunos de pós-graduação (mestrado). O grupo conta com uma boa infraestrutura computacional e com apoio de um projeto de pesquisas financiado pela empresa



Vale S.A. Espera-se que com o desenvolvimento das dissertações de mestrados, publicação de artigos, alcance dos objetivos dos projetos de pesquisa, haja cada vez mais a interação com os alunos da graduação de Engenharia Mecânica. Espera-se que ainda no futuro próximo haja uma alteração no Plano Político Pedagógico do curso, com inclusões de novas disciplinas para atender essa crescente demanda da indústria no Estado. Assim sendo, este artigo mostra em linhas gerais a fundamentação do DEM, suas aplicações e a pesquisa com o DEM desenvolvida pelo Grupo e finalmente discutem-se os benefícios que o crescimento dessa pesquisa pode trazer para a Graduação do Curso de Engenharia Mecânica.

2. O MÉTODO DOS ELEMENTOS DISCRETOS (DEM)

O DEM considera um número finito de partículas discretas interagindo por meio de forças de contato e não-contato, e cada partícula, no sistema considerado, pode se mover em movimentos de translação e rotação e tem seu movimento governado pela 2ª Lei do Movimento de Newton (ZHU *et al.*, 2008).

O método foi originalmente desenvolvido por Cundall e Strack (1979), que modelaram sistemas bem simples. Nos 15 anos seguintes, a modelagem foi restrita a problemas com simples geometrias, em escala reduzida (100 a 1000 partículas) e em 2D, tais como em escoamento de chutes, pequenos silos e células de cisalhamento, mas apenas com o intuito de compreender os fundamentos do escoamento de materiais granulares (CLEARY, 2010).

Com o desenvolvimento da tecnologia computacional, os tamanhos (computacionais) dos modelos em estudos aumentaram significativamente a partir de meados dos anos 90. Modelos eram constituídos na faixa entre 10.000 a 100.000 partículas, sendo a maioria em 2D ou já em 3D, mas com geometria bem simples. Atualmente, o método tem sido aplicado em grande escala industrial, em três dimensões e em sistemas com geometrias complexas (CLEARY, 2010).

A modelagem do movimento das partículas consiste na resolução da equação do movimento da 2ª lei de Newton através de integração numérica. As forças e momentos externos agindo em cada partícula são devidos a choques com outras partículas, choques com as superfícies de contorno do escoamento, força gravitacional e também devido à influência de ondas provocadas por outras partículas que não estão em contato e devido ao fluido no qual as partículas estão contidas. Portanto, no DEM as equações governantes do movimento, de acordo com 2ª lei de Newton para movimento de translação e rotação, são:

$$m_i \frac{dv_i}{dt} = \sum_j F_{ij}^c + \sum_k F_{ik}^{nc} + F_i^f + F_i^g \quad (1)$$

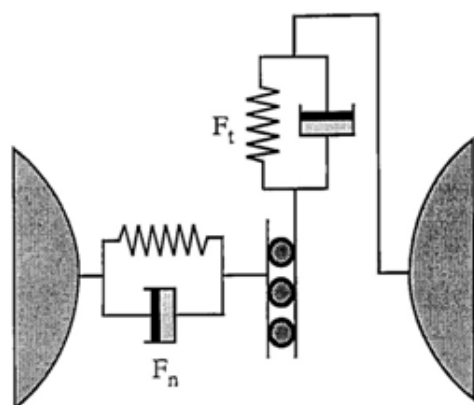
$$I_i \frac{d\omega_i}{dt} = \sum_j M_{ij} \quad (2)$$

Sendo m_i e I_i a massa e o momento de inércia da partícula i , respectivamente; v_i e ω_i as velocidades translacional e angular da partícula i , respectivamente; F_{ij}^c e M_{ij} são a força de contato e torque agindo na partícula i pela partícula j ou pelas paredes; F_{ik}^{nc} é a força de não-contato atuando na partícula i pela partícula k ou por outras fontes; F_i^f é a força de interação partícula-fluido na partícula i ; e F_i^g é a força gravitacional (ZHU *et al.*, 2007).

Vários modelos têm sido propostos para calcular estas forças e torques. Em Zhu *et al.* (2007), diversos modelos são discutidos em maiores detalhes. Na Fig. 2 está apresentado um



modelo do cálculo das forças de contato normal e tangencial usado por Cundall e Strack (1979), conhecido como abordagem de partícula macia (*soft particle method*). Esta metodologia também é seguida por diversos autores, como por exemplo, nos trabalhos de Paul Cleary da Divisão de Matemática e Informação da CSIRO (*The Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation*) na Austrália, que têm publicado recentemente vários trabalhos sobre a aplicação do DEM na mineração e geologia.



Δx é a sobreposição entre as partículas
 k é a constante de rigidez das molas
 v_n e v_t são as velocidades normal e tangencial
 C é o coeficiente de amortecimento
 μ é o coeficiente de atrito

Força Normal $F_n = -k \Delta x + C v_n$

Força Tangencial $F_t = \min(\mu F_n, \int k v_t dt + C v_t)$

Figura 2 – Modelo de força de contato que envolve uma mola e um amortecedor em paralelo na direção normal e uma mola limitada pelo atrito de deslizamento na direção tangencial (CLEARY *et al.*, 1997)

Uma vez que as forças e torques são conhecidos, as Eqs. (1) e (2) são resolvidas numericamente. Desta forma, as trajetórias e velocidades são resolvidas para um determinado instante de tempo. Para o incremento de tempo seguinte, as ações externas são novamente determinadas e as respostas (deslocamento e velocidade) são novamente determinadas. E este processo repete-se durante toda a análise.

Na análise DEM as partículas tradicionalmente são aproximadas por discos ou esferas, em análises em duas e três dimensões, respectivamente. Estas formas são preferíveis, pois são computacionalmente eficientes. Contudo, há casos onde esta idealização não traz resultados confiáveis. Existem outras escolhas de abordagens para representar formas de partículas não circulares ou não-esféricas. Portanto, diferentes formas podem ser obtidas por meio da superposição dessas formas mais simples, como mostra a Fig. 3.

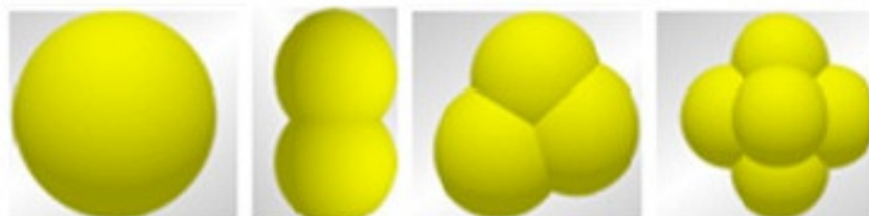


Figura 3 – Formas de partículas usadas no DEM (Santos *et al.*, 2012)

Na área de mineração e siderurgia o método DEM representa o estado-da-arte na simulação numérica de processo envolvendo o escoamento de partículas. A Fig. 4 apresenta



exemplos de modelagem do escoamento de partículas: (a) modelagem de chutes de transferência de correias (KATTERFELD *et al.*, 2008); (b) modelagem do escoamento de sólidos em altos fornos (ZHOU *et al.*, 2008); (c) escoamento de partícula em bombas de polpas (GAO & HERBST, 2009); (d) modelagem da operação de peneiramento (ALKHALDI & EBERHARD, 2007); (e) modelagem do escoamento de sólidos em moinhos semi-autógenos (CLEARY & MORRISON, 2009); (f) modelagem da descarga de sólidos em silos de armazenamento (GODA & EBERT, 2005).

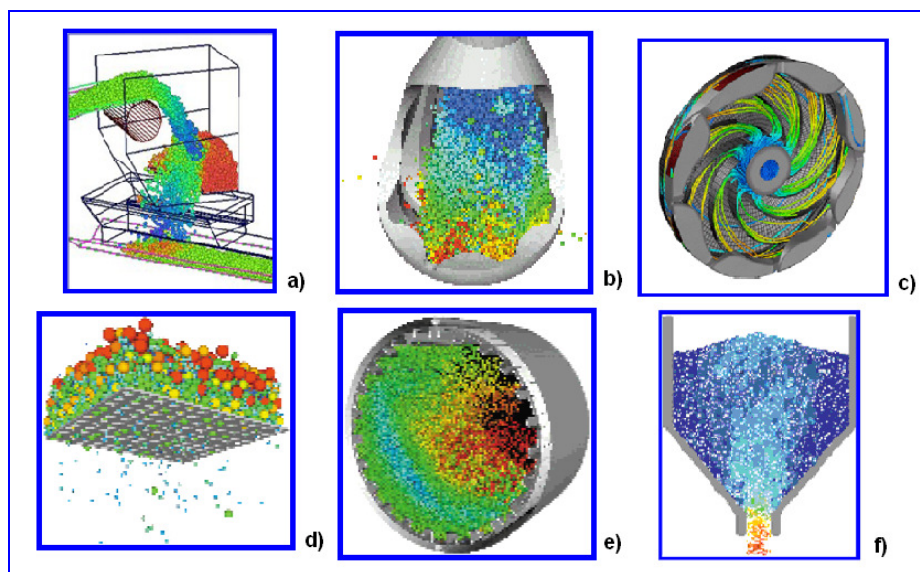


Figura 4 – Exemplos de modelagem utilizando DEM. (a) modelagem de chutes de transferência de correias; (b) modelagem do escoamento de sólidos em altos fornos; (c) escoamento de partícula em bombas de polpas; (d) modelagem da operação de peneiramento; (e) modelagem do escoamento de sólidos em moinhos semi-autógenos; (f) modelagem da descarga de sólidos em silos de armazenamento.

3. PESQUISA NA UFPA SOBRE ESCOAMENTO DE GRANULADOS USANDO O DEM

O Grupo de Pesquisa em Transporte de Sólidos Granulados da UFPA já vêm, trabalhando há algum tempo com particulados, como transporte pneumático (GOMES *et al.* 2009), escoamento em silos (MESQUITA *et al.*, 2009), fluidização (LOURENÇO *et al.*, 2009), chutes de transferência de correias transportadoras (TREJO *et al.*, 2010) e tendo também experiência em simulação numérica (LINS *et al.*, 2009). Agora com o suporte da simulação computacional usando o DEM, todas essas linhas de pesquisa serão beneficiadas.

A utilização do DEM pelo Grupo teve início com o suporte financeiro do Projeto “Simulação Numérica de Sistemas Particulados na Mineração e Siderurgia através do Método DEM” do Edital VALE-FAPEMIG-FAPESPA-FAPESP nº 01/2010 a ser executado por Equipes de Pesquisadores da UFPA, ITA e UNIFEI. A seguir são descritos os resultados já obtidos durante a realização do projeto, os trabalhos em desenvolvimento e os resultados esperados após a finalização do mesmo. Os trabalhos realizados com o Método dos Elementos Discretos estão sendo feitos usando o código comercial EDEM® da DEM Solutions .



3.1. Resultados Obtidos e em Andamento

Os trabalhos em desenvolvimento no projeto podem ser classificados em duas grandes classes: (i) Validação dos modelos do escoamento de partículas criado no ambiente do EDEM a partir de dados experimentais em laboratório; e (ii) Análise de escoamento de sólidos granulados em equipamentos de transporte usados na mineração (correias transportadoras, chutes de transferências, moinhos, silos e outros).

Em relação à primeira classe, um dos trabalhos realizados (SANTOS *et al.*, 2012) refere-se à análise do efeito da forma da partícula em simulações de escoamento de sólidos utilizando o Método dos Elementos Discretos (DEM – *Discrete Element Method*). A análise é baseada no escoamento de material granulado em uma caixa de fluxo com dimensões fixas e na aferição do ângulo de repouso após a estabilização da pilha dentro caixa. Os resultados são apresentados de acordo com cada forma geométrica que está sendo utilizada na análise. As formas geométricas usadas na análise (Fig. 3) apresentam esfericidade variada para um diâmetro equivalente de 10 mm. A Fig. 5a mostra a simulação no EDEM do escoamento de esferas na uma caixa de fluxo virtual. A Fig. 5b mostra a comparação entre os valores dos ângulos de repouso superiores das partículas de diferentes formas.

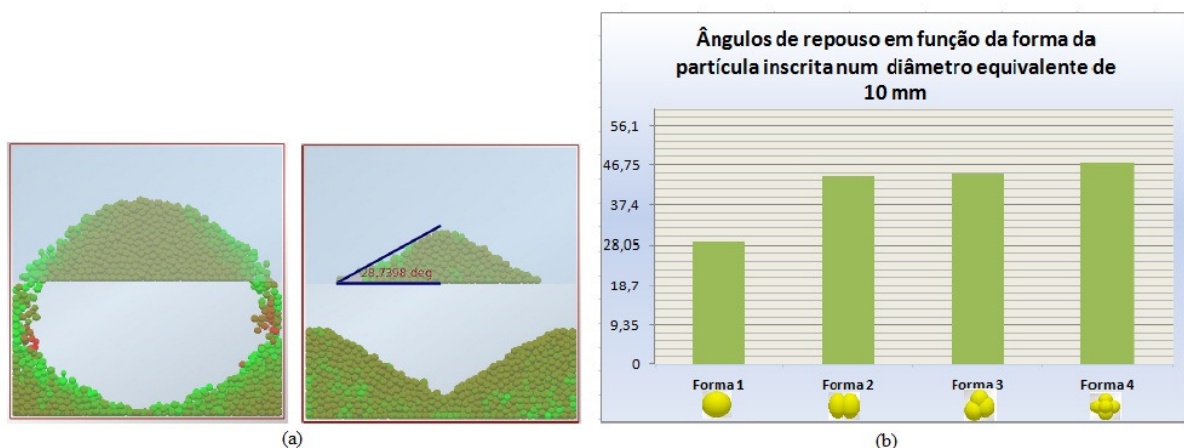


Figura 5 – (a) Simulação do escoamento de esferas (forma 1) em uma caixa de fluxo virtual. (b) Comparação entre os valores dos ângulos de repouso das partículas de diferentes formas.

Um segundo trabalho (CARVALHO *et al.*, 2012) ainda referente à primeira classe de trabalhos refere-se a análise de dois modelos de coesão capilar já existentes no EDEM, que são o modelo de Mitarai e Nori (2006) que realiza uma aproximação linear para a força de coesão e o outro modelo denominado JKR (extensão do modelo do *Hertz-Mindlin*), é baseado no trabalho de Johnson *et al.* (1971) que apresenta uma formulação mais aprimorada que a aproximação linear. Os escoamentos de partículas modeladas com cada metodologia de coesão capilar são comparados com o escoamento real de esferas em caixa de fluxo de laboratório com o material seco e com material umidade. A Fig. 6 mostra o escoamento real das esferas a seco e a úmido.

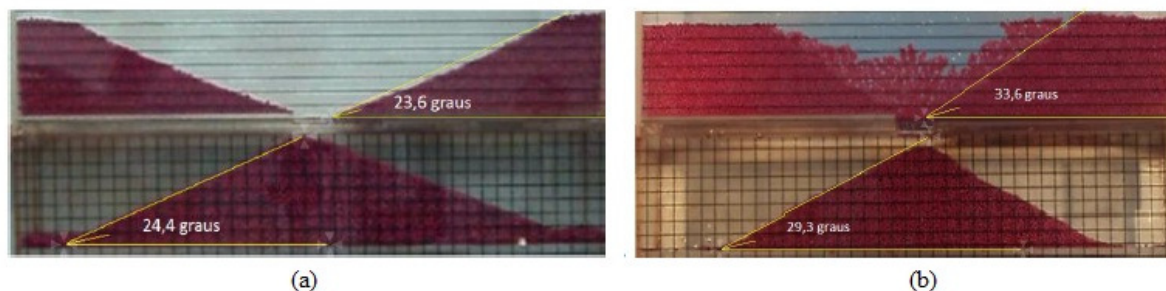


Figura 6 - Ensaio realizado na caixa de fluxo. a. Material seco e b. Material úmido.

Para se fazer as comparações, simulações foram feitas com a caixa de fluxo virtual no EDEM nas duas condições de material (seco e úmido) usando as duas metodologias de coesão capilar. A Fig.7 ilustra um resultado de simulação de escoamento a seco com modelo de coesão JKR.

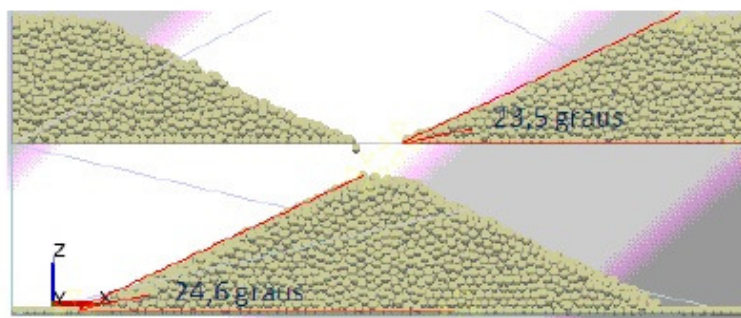


Figura 7 - Resultado da simulação utilizando o modelo JKR (Hertz-Mindlin) após 11 s de abertura da válvula.

Já a Fig. 8 mostra as comparações dos resultados numéricos e experimentais para material úmido. Como pode se observar os dois modelos fornecem resultados similares, sobretudo para o ângulo medido na parte inferior da caixa de fluxo, quanto a parte superior o modelo de coesão linear mostra maior aproximação com os dados experimentais.

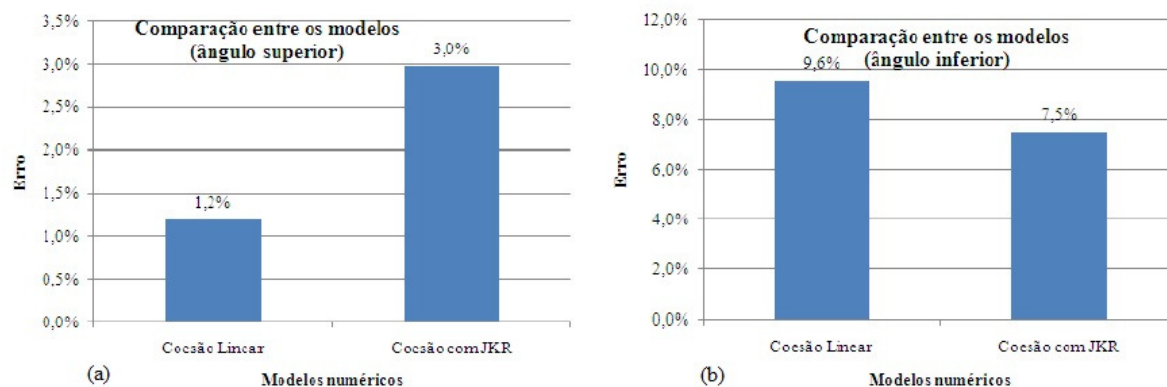


Figura 8 - Comparação entre os resultados numéricos e experimentais. (a) Resultados para a parte superior da caixa e (b) Resultados para a parte inferior da caixa.



Em relação aos trabalhos da segunda classe pode-se destacar uma análise de chutes de transferência de minério de ferro (NOGUEIRA *et al.*, 2011). Na primeira parte do trabalho é mostrada a calibração do modelo usado e em seguida mostra-se a utilização do modelo na análise de chutes de transferência, que fazem parte do projeto de expansão do porto Ponta da Madeira da Vale, em São Luis. A Fig. 9 apresenta uma visão geral do resultado típico para os chutes analisados, mostrando o efeito do diâmetro da partícula na velocidade do escoamento.

No momento, novas análises em chutes de transferência e correias transportadoras estão sendo realizadas, assim como estudos de escoamento de minérios em silos.

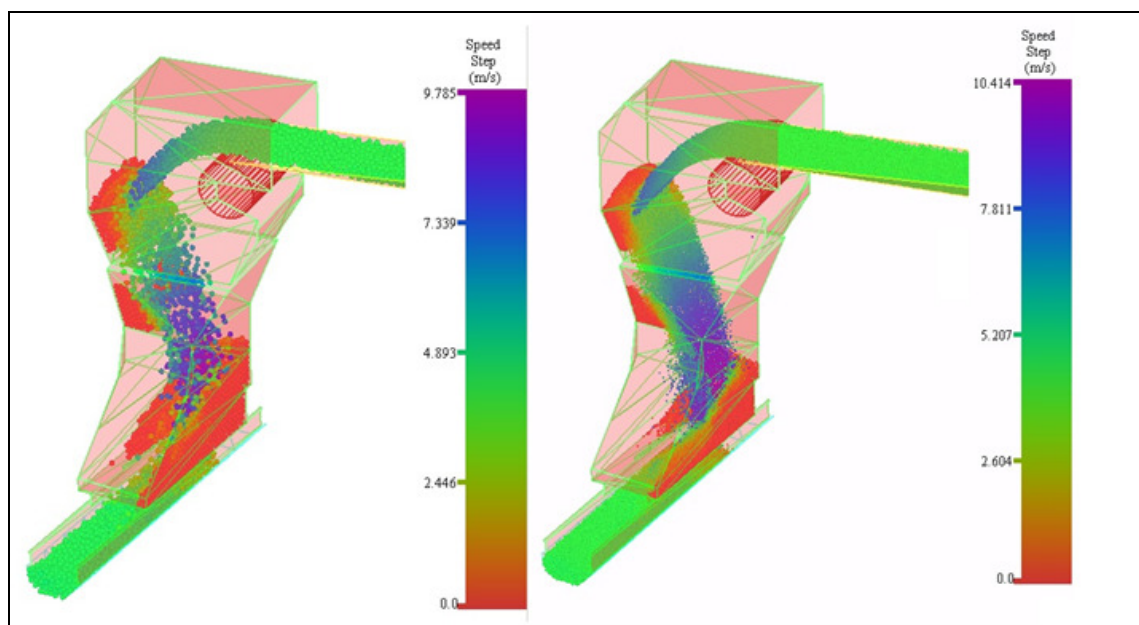


Figura 9 - Resultado típico do escoamento em um chute de minério. Efeito do diâmetro da partícula.

3.2. Resultados Esperados - Contribuições para a Graduação do Curso de Engenharia Mecânica

- Ao final do projeto pretende-se ter alcançado os objetivos propostos que são:
- Criação de bancadas básicas sobre escoamentos de sólidos, equipadas de sistemas de visualização, visando a validação e calibração dos modelos numéricos;
 - Criação de um laboratório para ensaios de cisalhamento, granulometria e de forma, visando gerar as informações necessárias para os modelos numéricos;
 - Desenvolvimento de um modelo para a análise do escoamento de sólidos em chutes de transferência de correias transportadoras e em outros equipamentos de mineração, com inclusão do efeito da umidade;
 - Desenvolvimento de um modelo para a análise do escoamento em moinhos semi-autógenos;
 - Desenvolvimento de modelos de análise do escoamento em de bombas de polpa;
 - Desenvolvimento de modelos de análise do escoamento e operação de altos fornos
 - Formação de pessoal qualificado em nível de graduação, mestrado e doutorado para a utilização do método DEM na análise de problemas de mineração e siderurgia.



Neste último objetivo apresentado, ressalta-se que a temática de escoamento de sólidos granulados e projeto de equipamentos de transportes de granulados não é vista na graduação. Portanto, o estudo desta área na pós-graduação vem preencher essa lacuna existente para melhor formação do engenheiro mecânico para tratar com problemas da indústria local.

Com o fortalecimento da pesquisa de escoamento de sólidos granulados na pós-graduação, isso irá contribuir também com o fortalecimento da graduação. Partes de dissertações de mestrado poderiam ser temas para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCCs) para graduandos - na verdade, isso já vem ocorrendo (ROCHA & MACIAS, 2012). E também mais alunos graduando participariam de publicação de artigos na área.

Espera-se também que no futuro, com a demanda crescente de profissionais para tratar com problemas na mineração e siderurgia, e com o fortalecimento da pesquisa na área, esses fatores possibilitariam a inclusão de disciplinas sobre o tema na graduação, fortalecendo e adequando o Projeto Político Pedagógico do Curso de Engenharia Mecânica à realidade local.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho apresentou os fundamentos da teoria do Método dos Elementos Discretos (DEM) e o andamento da pesquisa do Grupo de Pesquisa em Transporte de Sólidos Granulados da FEM-ITEC-UFPa sobre o uso desta poderosa ferramenta numérica para análise de escoamento de partículas. Os autores acreditam que o desenvolvimento desta pesquisa proporcionará vários benefícios na formação dos engenheiros graduados e pós-graduados da região, onde um forte setor industrial buscando profissionais com conhecimentos de atividades de mineração.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Vale e a FAPESPA pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALKHALDI, H. , EBERHARD, P. Particle screening phenomena in an oblique multi-level tumbling reservoir: a numerical study using discrete element simulation. **Granular Matter**, v. 9, n. 6, p. 415-428, 2007.

CARVALHO, L.C.S., MESQUITA, A.L.A., GOMES, L.M., NETO, E.F., MAFRA, M.P., Análise de modelos de coesão capilar para a simulação numérica de escoamento de granulados, **Anais: VII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica – CONEM 2012**, São Luís-MA, 2012.

CLEARY, P. DEM prediction of industrial and geophysical particle flows, **Particuology**, v.8, p 106–118, 2010.

CLEARY, P., METCALFE, G., LIFFMAN, K. How well do discrete element granular flow models capture the essentials of mixing processes?, **Proceedings: International Conference on CFD in Mineral & Metal Processing and Power Generation**, CSIRO, 1997.

CLEARY, P., MORRISON, R. D. Particle methods for modeling in mineral processing. **International Journal of Computational Fluid Dynamics**, v. 23, n. 2, p. 137–146, 2009.



CUNDALL, P.A., STRACK, O.D.L. A discrete numerical model for granular assemblies. **Geotechnique**, v. 29, p. 47–65, 1979.

GAO, D., HERBST, J. A. Alternative ways of coupling particle behaviour with fluid dynamics in mineral processing. **International Journal of Computational Fluid Dynamics**, v. 23, n. 2, p. 109-118, 2009.

GODA, T. J., EBERT, F. Three-dimensional discrete element simulations in hoppers and silos. **Powder Technology**, v. 158, p. 58-68, 2005.

GOMES, L. M, AMARANTE MESQUITA A. L., SILVA, M. O, MACIAS, P. H.S. Experimental study of parameters influencing the pickup velocity in conveying systems. **Proceedings: 20th International Congress of Mechanical Engineering**, Gramado, RS, Brazil, 2009.

JOHNSON, K.L., KENDAL, K., ROBERTS, A. D. Surface energy and the contact of elastic solids. **Proc. R. Soc. Lond. A.**, 324, p. 301-313, 1971.

KATTERFELD, A., GRÖGER, T. AND MINKIN, A., Discrete element simulation of transfer stations and their verification. **Australian Bulk Handling Review**, p. 70-75, 2008.

LINS, E. F. ELIAS, R N., BERNADÁ, G. M. G., ROCHINHA, F. A., COUTINHO, A. L. G. A. Edge-based finite element implementation of the residual-based variational multiscale method. **International Journal for Numerical Methods in Fluids**, v. 61, p. 1-22, 2009.

LOBATO, J.C.M., MESQUITA, A.L.A., MESQUITA, A.L.A., caracterização das propriedades de fluxo da lama vermelha para fins de dimensionamento de silos – aplicação para tremonhas cônicas, **Anais: VII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica – CONEM 2012**, São Luís-MA, 2012.

LOURENÇO, R., SILVA, M. O., ESTUMANO, D., SAMPAIO, A., AMARANTE MESQUITA, A. L., MACEDO, E. N. Fluid dynamics behavior analysis of alumina particles in fluidized bed. **Proceedings: 20th International Congress of Mechanical Engineering**, Gramado, RS, Brazil, 2009.

MESQUITA, H., SILVA, M. O., LOURENÇO, R. O., LINS, E. F. AND AMARANTE MESQUITA, A. L. Theoretical and experimental analysis of discharge silos designs for particulate materials”, **Proceedings: 20th International Congress of Mechanical Engineering**, Gramado, RS, Brazil, 2009

MITARAI, N., NORI, F. Wet granular materials. **Advances in Physics**, vol. 55, p. 1-45, 2006.

POLONI, G. **Vale prepara expansão em Carajás**, Portal iG, 2010. Disponível em <<http://www.vale.com/pt-br/o-que-fazemos/destaques/Paginas/vale-prepara-maiorexpansao-da-historia-em-carajas.aspx>> Acesso em: 05 mar. 2011.



ROCHA, D, MACIAS, P. UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ, Instituto de Tecnologia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Transportadores de correia e chutes de transferência na indústria da mineração, 2012. Trabalho de Conclusão de Curso.

SANTOS, E.G., MESQUITA, A.L.A., GOMES, L.M., NETO, E.F., MAFRA, M.P., Análise da forma geométrica da partícula na aplicação do método dos elementos discretos – DEM, **Anais: VII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica – CONEM 2012**, São Luís-MA, 2012.

SCHULZE, D., Powders and Bulk Solids – Behavior, Characterization, Storage and Flow, Springer, 2007.

TREJO, A. M. M., OLIVEIRA NETO, O. N., ROSÁRIO, E. S. B. E AMARANTE MESQUITA, A. L., Projeto de um chute de transferência de alumina hidratada usando DEM”, **Anais: IV Congresso Internacional do Alumínio**, p. 567-577, São Paulo, 19 a 20/05/2010.

ZHOU, Z. Y., PINSON. D., ZHU, H. P., YU, A. B., WRIGHT, B., ZULLI, P., Discrete particle simulation of gas-solid flow in a blast furnace. **Computers & Chemical Engineering**, Vol. 32, No. 8, p. 1760-1772, 2008.

ZHU, H.P., ZHOU, Z.Y., YANG, R.Y., YU, A.B. Discrete particle simulation of particulate systems: A review of major applications and findings, **Chemical Engineering Science**, V.63, p. 5728 – 5770, 2008.

ZHU, H.P., ZHOU, Z.Y., YANG, R.Y., YU, A.B. Discrete particle simulation of particulate systems: Theoretical developments. **Chemical Engineering Science**, v. 62, p. 3378 – 3396, 2007.

USE OF THE DISCRETE ELEMENT METHOD IN ORE HANDLING AND ITS CONTRIBUTION TO GRADUATE AND UNDERGRADUATE MECHANICAL ENGINEERING PROGRAMS AT UFPA

Abstract: *The mining industries have great influence in the economy of the Country and especially in Pará State. Thus, it is very important that technological improvements are always researched. In this sense, the Federal University of Para, through the Research Group on Transport of Bulk Solids, began research in the areas of characterizing flowability of particles and virtual analysis of bulk solids flow using the Discrete Element Method (DEM). Therefore, this work shows how DEM can be used to analyze bulk solids flow and the development of the research of the Group. Finally it is discussed the importance of the research in the graduate and undergraduate Mechanical Engineering Programs at Federal University of Pará.*

Keywords: *Discrete element method, Mining, Ore handling.*