

PROGRAMA DE DESENVOLVIMENTO, CAPACITAÇÃO E DISSEMINAÇÃO DE NOVAS TECNOLOGIAS – AÇÃO DESENVOLVIDA PELO GOVERNO DO ESTADO PARÁ E VALE S.A.

Alexandre Luiz Amarante Mesquita – alexmesq@ufpa.br
Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Pará
Campus Universitário Rua Augusto Corrêa, 01 – Guamá. Caixa postal 479
CEP 66075-110 – Belém – Pará

Paulo Marcus Tropa Marotta – paulo.marotta@vale.com
Abraham Assayag Aben Athar – abraham.athar@vale.com
Jamil Sebe – jamil.sebe@vale.com
Departamento de Projetos Norte – DISF – Vale S.A.
Estrada Vicinal VP12 – Gleba Chicrim
CEP 68537-000 – Distrito de Mozartinópolis – Canaã dos Carajás – PA

***Resumo:** Este artigo apresenta, inicialmente, a descrição de um programa de doutorado e pós-doutorado idealizado pelo Governo do Estado do Pará e a Vale S.A., que objetiva induzir a capacitação de recursos humanos, contribuindo para a qualificação de docentes e/ou pesquisadores do Estado do Pará, aumentando esforços de pesquisa e disseminação do conhecimento de novas tecnologias aplicáveis à mineração. O período deste programa de doutoramento ou pós-doutoramento é constituído de duas etapas. A primeira etapa consiste no treinamento do bolsista em novas tecnologias que estão sendo implementadas na Vale no Projeto Ferro Carajás S11D e a etapa final consiste no desenvolvimento e execução do projeto de doutorado ou pós-doutorado. Desta forma, neste trabalho são descritas as atividades desenvolvidas e em desenvolvimento de uma pesquisa de pós-doutoramento durante a primeira etapa do programa. As atividades consistem em estudos em construção modular de plantas industriais, projeto estrutural de prédio metálico contendo peneiras vibratórias, modelagem matemática de processos de peneiramento e simulação numérica de processos na mineração usando o Método dos Elementos Discretos (DEM).*

***Palavras-chave:** Pós-doutoramento, Construção modular, Vibração, Mineração.*

1 INTRODUÇÃO

A ação denominada “Programa de Desenvolvimento, Capacitação e Disseminação de Novas Tecnologias” consiste em um programa de doutoramento e pós-doutoramento lançado pelo Governo do Estado do Pará em 2010, por meio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Pará (FAPESPA) e da Secretaria de Estado de Desenvolvimento, Ciência e Tecnologia (SEDECT), em parceria com a Vale S.A. Este programa tem como objetivo desenvolver a capacitação de recursos humanos, contribuindo para a qualificação de docentes do Estado do Pará, aumentando esforços de pesquisa e disseminação do conhecimento de novas tecnologias aplicadas à mineração.

Este programa teve seu edital lançado em 2010, mas a sua implementação foi iniciada em janeiro de 2011, tendo um pós-doutorando classificado para a realização do programa: o Prof. Alexandre Luiz Amarante Mesquita (co-autor deste artigo), lotado na Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Pará. Devido à formação do Professor estar

mais voltada para análise dinâmica de estruturas e máquinas rotativas, o mesmo optou para realizar pesquisa na 1ª linha de pesquisa disponibilizada pelo programa, ou seja, Engenharia de Modularização.

Desta forma, este trabalho visa descrever este programa de pós-doutoramento assim como apresentar as atividades desenvolvidas e em desenvolvimento pelo pós-doutorando durante o seu período de pesquisa no exterior.

2 DESCRIÇÃO DO PROGRAMA DE DOUTORADO E PÓS-DOUTORADO

Visando contribuir para o fortalecimento do sistema regional de CT&I, o Governo do Estado do Pará, por intermédio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Pará (FAPESPA) e da Secretaria de Estado de Desenvolvimento, Ciência e Tecnologia (SEDECT), em parceria com Vale S.A. tornaram público em 2010 o edital do “Programa de Desenvolvimento, Capacitação e Disseminação de Novas Tecnologias para a formação de recursos humanos”. O edital foi aberto a pesquisadores e/ou alunos de pós-doutorado e/ou doutorado de Instituições de Ensino Superior e/ou Pesquisa, Públicas ou Privadas sediadas no Estado do Pará, que pretendiam desenvolver atividades nas linhas de pesquisas: (i) Engenharia de Modularização ou (ii) Análise de sistemas *Truckless*.

A linha de pesquisa Engenharia de Modularização consiste no estudo de projeto e montagem de uma usina de beneficiamento de minério através de módulos. Os módulos individuais representam partes completas da usina, incluindo equipamentos, estruturas metálicas, tubulações, entre outros componentes. Durante a construção e a montagem, os módulos são testados ao máximo, e só então serão transportados para o local final da planta industrial onde serão conectados e operados. . Nesta linha de pesquisa, o Canadá é o país sede de treinamento, com os seguintes temas-foco para pesquisas: (i) Execução e Montagem de Plantas Modularizadas; (ii) Projeto Estrutural de Plantas Modularizadas.

A linha de pesquisa *Truckless* consiste na análise de em um sistema constituído de britagem móveis, transportadores de correia e empilhadeiras montadas sobre esteiras que acompanham as escavadeiras, alimentando diretamente a britagem, tanto com minério quanto com estéril, eliminando completamente o transporte por caminhões. Nesta linha de pesquisa, a Austrália é o país sede de treinamento, com os seguintes temas-foco para pesquisas: (i) Avaliação de viabilidade do uso de britador primário *sizer* em substituição ao de mandíbula; (ii) Definição de alternativas de planejamento de lavra compatíveis com a tecnologia *truckless*

Para as duas linhas de pesquisas o programa é dividido em duas etapas. A etapa 1 refere-se à “capacitação no exterior”. Esta etapa consiste no treinamento do bolsista em novas tecnologias que estão sendo implementadas pela Vale no Projeto Ferro Carajá S11D. Para tal, o pesquisador deverá morar por 8 (oito) meses na Austrália ou Canadá, países-sede das empresas que estão desenvolvendo as novas tecnologias. Neste período, o pesquisador deverá desenvolver um projeto de pós-doutorado e/ou doutorado, a ser apresentado ao fim do 8º(oitavo) mês de treinamento à Instituição Acadêmica, previamente definida, e à Vale.

A etapa 2 refere-se ao “desenvolvimento e execução do projeto de pós-doutorado e/ou doutorado”. Esta etapa consiste na continuação no Brasil do projeto de pós-doutorado e/ou doutorado desenvolvido na Etapa 1. Nesta etapa, o pesquisador concluirá a sua pesquisa de pós-doutorado e/ou doutorado, buscando sua aplicação na implantação do referido projeto. O período de desenvolvimento do projeto de pós-doutorado e/ou doutorado terá duração de até 16 (dezesseis) meses.

3 PROJETO S11D E NOVAS TECNOLOGIAS

O Projeto Ferro Carajás S11D consiste da exploração de uma nova mina e usina de beneficiamento de minério de ferro. O S11D vai produzir 90 milhões de toneladas de minério de ferro/ano para atender demanda global. Batizada de S11D, a mina é a considerada o maior aproveitamento mineral da história da Vale. Esta capacidade de extração de minério é mais de um terço da produção de minério de ferro da Vale no ano de 2009 e a mesma capacidade da maior mina a céu aberto do mundo, já instalada na Serra dos Carajás, no Pará (Poloni, 2010). A nova mina e usina estão em uma região do País carente de um processo de aceleração do seu crescimento econômico, localizada no município de Canaã dos Carajás, no Estado do Pará, e deverá contribuir, significativamente, para expandir a geração de renda e de emprego nos mercados de trabalho regional e nacional e atenuar os desequilíbrios regionais.

O alto investimento tem explicação: em um estudo produzido pela *Global Industry Analysts* (GIA) em 2010, mostra que nos próximos cinco anos, o consumo mundial de minério de ferro deve atingir 1,7 bilhões de toneladas ao ano, aumento de 70% em relação a 2010. Este estudo mostra que o aumento no consumo de minério de ferro é devido ao crescimento da economia de países emergentes, em especial a China. Entre os setores que mais usam minério de ferro estão o automotivo e a construção civil (Poloni, 2010).

Além da implantação da mina e da usina, o projeto prevê a construção de ramal ferroviário (90 km de extensão) para conectar a serra sul à serra norte (mina já existente), assim interligando a região do sudeste do Estado do Pará à Estrada de Ferro Carajás. Esta por sua vez, terá duplicação de 605 km de linhas férreas, aumentando assim a capacidade de transporte da EFC.

Na construção e operação da S11D, novas tecnologias poderão ser utilizadas:

- (i) *Beneficiamento a seco;*
- (ii) *Sistema truckless para transporte do minério, sem uso de caminhões fora de estrada;*
- (iii) *Montagem da usina através de módulos pré-fabricados.*

No beneficiamento de minério de ferro, a metodologia tradicional é o peneiramento com o uso de água. Na usina S11D, o peneiramento será a seco, ou seja, utilizando a umidade natural do minério. Com esta metodologia, há redução de consumo de energia (pela não utilização dos equipamentos para o transporte da água) e evita-se a construção da barragem de rejeitos. Outro ganho econômico é que a metodologia permitirá o aproveitamento de boa parte do minério ultrafino, de alta qualidade, que antes, pelo método tradicional, era descartado para as barragens. A técnica já está sendo utilizada na Mina de Carajás Serra Norte, ou seja, o peneiramento a partir da umidade natural já está definitivamente incorporado ao processo de beneficiamento do minério de ferro de Carajás. Atualmente, das 17 linhas em operação, oito já não utilizam água no processo, eliminando equipamentos e estruturas, como bombas, ciclones, peneiras, tubulações, tanques e classificadores.

O uso de caminhões fora de estrada é o tradicional meio de transporte do minério bruto para as pilhas de estocagem da usina de beneficiamento. O projeto S11D poderá utilizar o conceito de mineração *truckless*, que usa correias transportadoras em vez de caminhões fora de estrada. Este sistema é inspirado no tradicional sistema de lavra de carvão usado há décadas na Alemanha, conhecido como IPCC (*in pit crushing and conveying*). Ao eliminar o uso do caminhão, o sistema tem condições de trazer ganhos substanciais do ponto de vista ambiental, bem como no custo por tonelada extraída, especialmente nos projetos de mineração de porte excepcional (Minérios & Minerale, 2009).

Este sistema *truckless* reduz custos operacionais de uma mina pelo menor consumo de combustível e de pneus e conseqüentemente reduzindo a emissão de gás carbônico para o ambiente. Se a mina S11D fosse operada por caminhões fora de estrada, teria 100 veículos circulando, os quais iriam consumir 65 milhões de litros de diesel por ano. Com o uso de

correias transportadoras, no sistema *truckless*, o consumo de diesel seria de 15 milhões de litros anuais, uma economia de 77%. Haveria também uma redução de CO₂ em idêntico percentual do diesel e deixariam de serem usados 174 pneus de grandes dimensões que seriam trocados a cada ano nos caminhões (cada pneu tem três metros de altura). O sistema *truckless* inclui escavadeiras que coletariam o material na mina e o jogariam em britadores móveis que alimentam as correias. Entre o platô onde está o minério e a área onde será instalada a usina, há um desnível de 450 m. Essa é outra vantagem do sistema, pois a correia consegue vencer essa rampa de forma mais fácil do que o caminhão, que teria que “serpentear” para chegar ao destino. Os caminhões fora de estrada usados na mineração percorrem longas distâncias com dificuldades (Góes & Sebe, 2011). Contudo, este sistema alternativo de transporte *truckless* ainda está em análise para a sua implementação.

No *site* da empresa Metso (2010) há uma interessante animação que ilustra o uso da tecnologia *truckless*. As Figuras 1(a) à 1(d) ilustram o uso desta tecnologia.

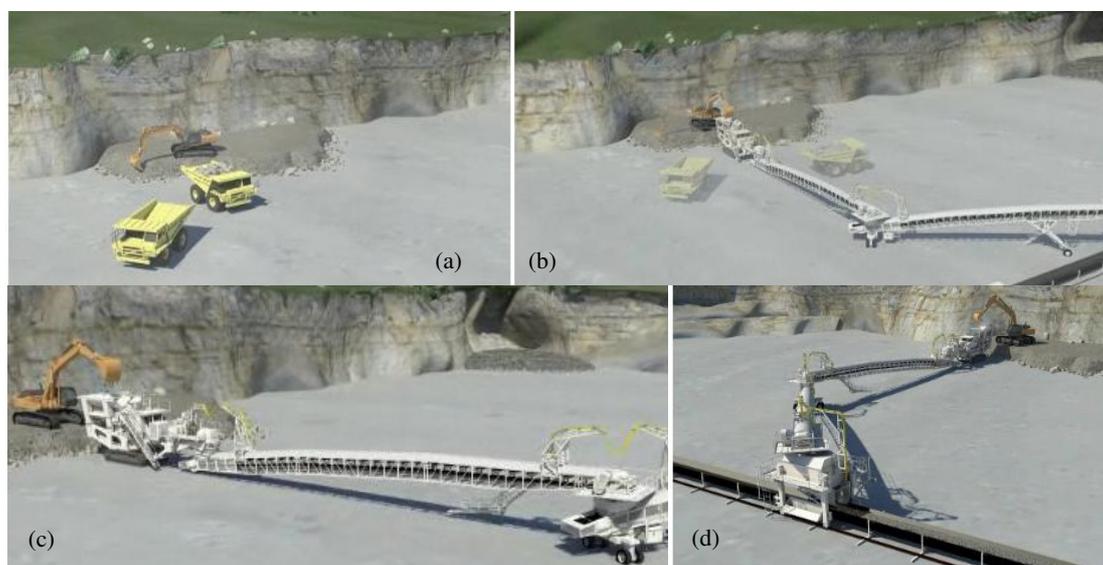


Figura 1 – (a) Transporte tradicional do minério bruto ao beneficiamento. (b) Substituição pela tecnologia *truckless*; (c) Escavadeiras depositando o minério bruto na britagem primária móvel; (d) Minério britado enviado para a correia transportadora (Metso, 2010).

A metodologia de construção modular, ou simplesmente modularização, consiste no projeto estrutural, mecânico, logístico e de montagem que pode ser aplicado na construção de instalações industriais de médio e grande porte através da fabricação e montagem de módulos individuais que representam partes completas da planta industrial. Estes módulos são fabricados em ambientes dimensionados e preparados previamente para armazenamento e montagem, fora do local final da planta, com todas as facilidades de construção disponíveis. Somente depois de fabricados, os módulos são transportados para o local definitivo da planta industrial onde esta é erguida por meio das interconexões destas unidades modulares. A metodologia de construção de uma planta industrial por meio de módulos é adequada onde o local é de difícil acesso, onde há existência de condições climáticas severas, infraestrutura local deficiente, entre outras. Esta metodologia de construção traz grandes benefícios, pois implica em redução de custos e de tempo de execução do projeto.

A metodologia de modularização foi o tema inicial de pesquisa para o pós-doutoramento do Prof. Alexandre Mesquita e este tema de pesquisa é descrito em maiores detalhes na seção 4 deste trabalho, que aborda as atividades desenvolvidas e em desenvolvimento durante a estadia do professor no exterior.

4 ATIVIDADES DE PESQUISA DE BOLSISTA DO PROGRAMA

4.1 Construção modular

Na metodologia de construção modular, cada módulo consiste de unidades pré-fabricadas e pré-montadas, tais como estruturas metálicas, tubulações, cabos, instalações elétricas, equipamentos, e/ou outros componentes, formando uma unidade robusta de peso e tamanho consideráveis. As dimensões, pesos e número de módulos são dependentes de vários fatores, mas, principalmente são definidos de acordo com as condições de transporte. Os módulos são fabricados em ambientes previamente preparados, fora do local da usina (*offsite*), com todas as facilidades de construção disponíveis (Figura 2a). Somente depois de fabricados, os módulos são transportados para o local definitivo (Figuras 2b e 2c) onde a planta industrial é erguida por meio das interconexões destas unidades modulares (Figura 2d).



Figura 2 - (a) Módulos industriais sendo fabricados; (b) transportados via marítima; (c) transportados via terrestre; (d) montados no local da planta (Mlady, 2010; Beaudoin, 2010).

Esta metodologia de construção industrial por meio de módulos é adequada onde o local é remoto, infraestrutura local deficiente e sujeito a condições climáticas severas, o que pode ocorrer em usinas de beneficiamento de minério, ou mesmo por condições de necessidades de otimização do prazo de implantação, visto que as montagens eletromecânicas podem acontecer em paralelo com as obras de infraestrutura e civis. Esta metodologia de construção traz grandes benefícios, pois além de implicar em redução de custos e de tempo de execução da obra, também traz como vantagens o aumento da produtividade, a redução do congestionamento de trabalhadores na planta, além do aumento da segurança e da qualidade do trabalho.

Nesta atividade de pesquisa, o professor pós-doutorando participou de várias atividades na empresa WorleyParsons, na cidade de Edmonton, na Província de Alberta no Canadá. Dentre as atividades destacam-se: a pesquisa e estudo da metodologia de construção modular, participação em reuniões entre as empresas contratante e contratada para definições de engenharia do projeto; acompanhamento do desenvolvimento de projetos estruturais de módulos (ver seção 4.2) e geração de publicação no 12º Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro (Mesquita *et al.*, 2011).

4.2 Projeto estrutural de prédio modularizado contendo peneiras vibratórias

Na planta industrial S11D existem operações de britagem e peneiramento dimensionadas de forma a fornecer o produto final dentro das especificações comerciais. Tanto os britadores quanto as peneiras vibratórias, usados nessas operações, geram vibrações que são transmitidas aos seus suportes, os quais devem ser corretamente dimensionados para não transmitir excessiva vibração e ruído aos trabalhadores e também visando à própria integridade estrutural. Desta forma, nesta atividade de pesquisa foi feito um acompanhamento do projeto das estruturas metálicas de um prédio suportado por fundações estaqueadas (Figura 3a) e composto por oito módulos e abrigando seis peneiras do tipo banana – peneiras com múltiplas inclinações para aumento de eficiência e capacidade (Figura 3b).

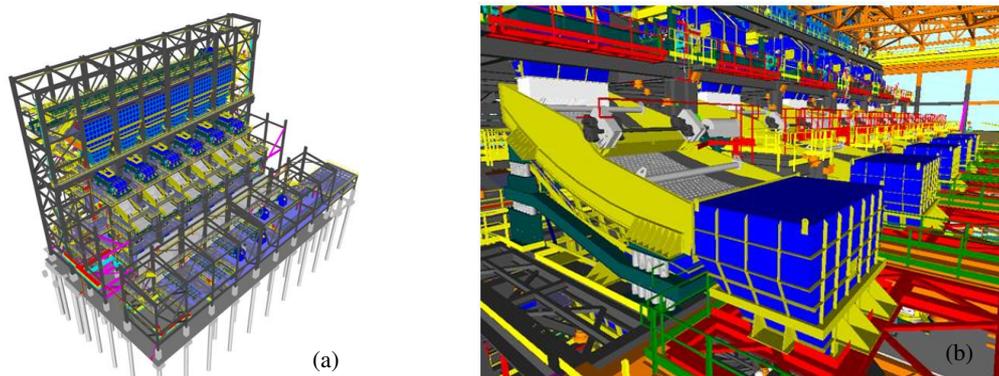


Figura 3 - (a) Prédio metálico de peneiramento primário contendo oito módulos e fundação estaqueada; (b) peneiras bananas no prédio de peneiramento primário.

Neste dimensionamento, deve-se inicialmente conhecer às forças que são transmitidas das peneiras às estruturas metálicas de suporte. Estes dados são fornecidos pelo fabricante das peneiras. De acordo com estas cargas, deve haver uma análise de como estas cargas são impostas às estruturas (se ao mesmo tempo, defasadas, em que sentido, etc.) e em seguida faz-se o modelo por elementos finitos de todo o prédio metálico. O dimensionamento das estruturas deverá ter o compromisso das estruturas serem robustas o suficiente para garantir a integridade estrutural e ao mesmo tempo em que não acarretem em problemas (em relação ao peso, por exemplo) para os módulos durante a elevação e transporte dos mesmos. Em seguida, verificam-se os níveis de vibração que estão submetidos todos os componentes metálicos do prédio. Esses níveis de vibração obtidos são analisados em cartas de severidade para verificar se os mesmos estão dentro dos limites permissíveis para os equipamentos, para prevenção das estruturas contra falha por fadiga e também visando à saúde ocupacional dos trabalhadores.

No modelo de elementos finitos do prédio metálico são levados em conta as características do solo e o tipo de fundação, pois as características dinâmicas da fundação interagem com o comportamento dinâmico do prédio. Esta análise foi realizada usando o *software* DYNA6, o qual forneceu as propriedades de amortecimento e rigidez da fundação. Estes dados foram inseridos ao modelo de elementos finitos do prédio de peneiramento (Figura 4a e 4b) e então análise estrutural e dinâmica deste foi realizada por meio do *software* STAAD.Pro v8i, levando-se em contas as cargas fornecidas pelo fabricante das peneiras. O resultado obtido na análise apresentou como nível máximo de vibração um valor de amplitude zero a pico de 6×10^{-3} mm, o que segundo a carta de severidade Reiher-Meister, para operações de mineração, este nível é classificado como *barely noticeable* (pouco perceptível).

(Figura 4c). O desenvolvimento desta atividade de pesquisa gerou outra publicação científica no 12º Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro (Mesquita & Khattak, 2011).

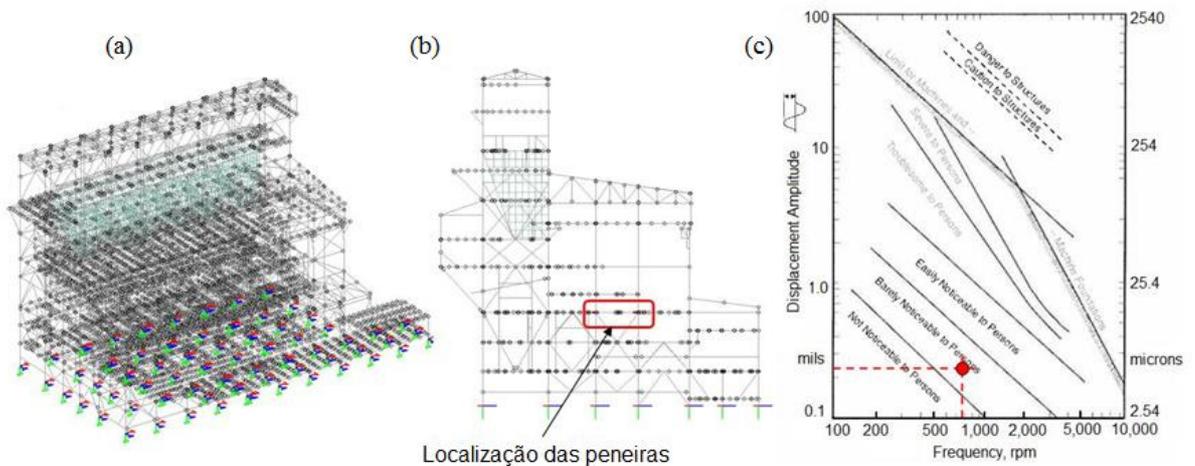


Figura 4 - (a) Vista 3D do modelo estrutural de elementos finitos; (b) vista lateral do modelo; (c) carta de severidade para avaliação de níveis de vibração aceitáveis.

4.3 Modelagem matemática de vibração e de processos de peneiramento

Esta atividade de pesquisa, ainda não iniciada pelo pós-doutorando, refere-se a dois tipos de modelagem matemática para fins diferentes.

Na primeira modelagem é feito um estudo do comportamento vibratório de peneiras. São analisadas as formas dos modos de vibração da peneira e suas frequências naturais de acordo com diferentes modelos, desde poucos graus de liberdade até centenas de graus de liberdade usando o método dos elementos finitos. Nesta análise pode-se verificar a possibilidade de ocorrência de ressonância em diferentes componentes estruturais da peneira e também o movimento absoluto da vibração de peneiras e os níveis de tensão de acordo com as forças de excitação que são impostas a elas. A Figura 5 ilustra um exemplo deste tipo de análise.

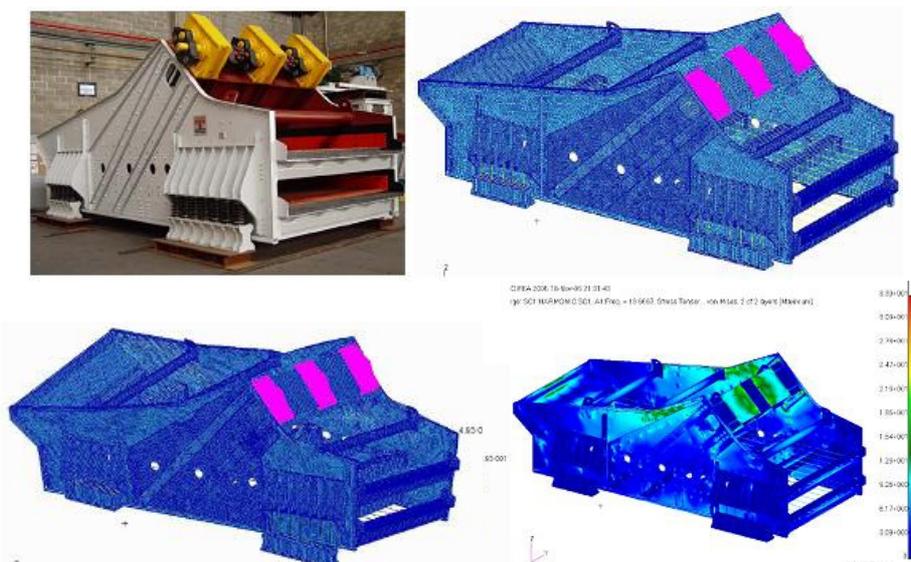


Figura 5 – (a) Peneira vibratória; (b) modelo por MEF da peneira; (c) 1º modo de vibração; (d) níveis de tensão gerados na peneira (Iizuka, 2006).

Na segunda modelagem, a ênfase é dada na análise matemática das operações de peneiramento, ou seja, são analisadas as operações de estratificação do leito (separação de camadas de partículas fazendo que as partículas menores fiquem por baixo e as partículas maiores fiquem por cima) e as operações de peneiramento propriamente dita (passagem do *undersize* pela abertura da malha). Nestas análises são determinados valores de rendimento de peneiras usando diferentes abordagens e de acordo com a variação de diferentes parâmetros, tais como velocidade de transporte, ângulo de inclinação, amplitude da força de acionamento, frequência do acionamento, entre outros.

Nesta etapa de modelagem, inicialmente serão analisadas as metodologias de Carvalho (2004) e de Soldinger (1999, 2002). Na metodologia de Soldinger, esta autora usa o Método de Monte Carlo para a simulação das interações entre as partículas. Outra metodologia que simula as interações dinâmicas entre partículas é o uso do Método dos Elementos Discretos (DEM – *Discrete Element Method*). Contudo, a utilização desta técnica demanda um esforço computacional grande, mas, os resultados são bastante interessantes, pois é possível uma animação em 3D. Devido a grande abrangência do método, sendo não só aplicável a peneiras, mas como também a processos de vários outros equipamentos na mineração, a análise DEM é classificada neste programa de pós-doutoramento como sendo uma outra atividade de pesquisa, que é detalhada a seguir.

4.4 Simulação numérica de processos na mineração usando o Método dos Elementos Discretos

O uso do Método dos Elementos Discretos tem uma abrangência enorme no estudo de equipamentos e de processos na mineração. Porém, a sua utilização requer uma grande capacidade de *hardware* e *software*. Por outro lado, a Faculdade de Engenharia Mecânica da UFPA possui estes recursos computacionais, que foram adquiridos em outro projeto junto à Vale. Portanto, nesta atividade de pesquisa, os fundamentos teóricos serão já adquiridos nesta primeira etapa do pós-doutoramento e a aplicação da metodologia será feita na segunda etapa do programa, quando o pós-doutorando retornar ao Brasil, o que poderá ser o início de um forte grupo de pesquisa nesta área de mineração.

O uso do método dos elementos discretos é bastante apropriado na mineração, pois é aplicável à simulação computacional de granulados. Nesta metodologia podem ser simulados o escoamento de granulados em peneiras (Figura 6a), silos, moinhos (Figura 6b), chutes e correias transportadoras (Figura 6c), britadores, bombas de polpa, entre outros. Desta forma, podendo auxiliar no projeto destes equipamentos e dos processos envolvidos.

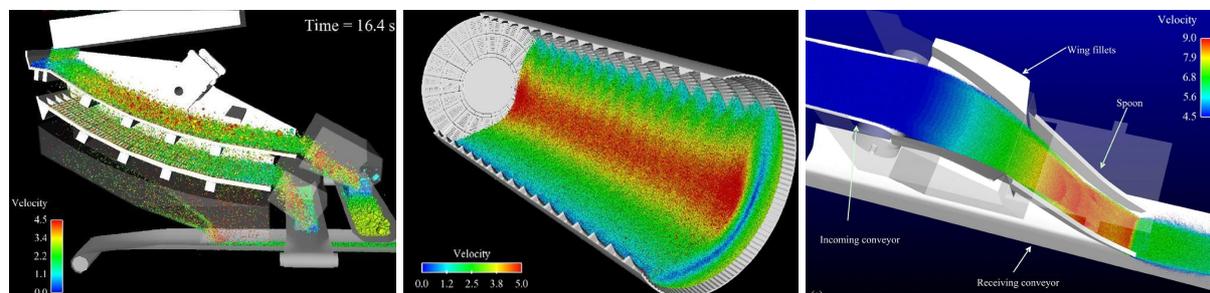


Figura 6 – Exemplos do uso do DEM em equipamentos de mineração: (a) peneira vibratória; (b) moinho; (c) correias transportadoras e chute de transferência (Cleary, 2010).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou, em sua primeira parte, o Programa de Doutorado e Pós-Doutorado desenvolvido pela Vale e pelo Governo do Estado do Pará para fomentar a pesquisa na Região Norte. Este programa possui duas etapas: uma etapa de capacitação do doutorando ou pós-doutorando no exterior e a segunda etapa de aplicação do seu projeto de doutorado na mina S11D da Vale no Estado do Pará e na sua instituição de origem, como forma de desenvolver pesquisa na área. Em seguida, neste trabalho, foram apresentadas as atividades desenvolvidas por um pós-doutorando beneficiário do programa (co-autor deste artigo), durante a primeira etapa do programa. As atividades compreendem estudo e pesquisa na área de construção modular, projeto de prédios modulares, análise dinâmica de peneiras vibratórias, análise de processos de peneiramento e aplicação do método dos elementos discretos em equipamentos e processos na mineração.

O desenvolvimento deste pós-doutorado além de ser aplicável no projeto S11D aprimorará atividades de ensino, pesquisa e extensão na Engenharia da Universidade Federal do Pará. Dentre estas, destacam-se a uma maior aproximação entre Instituição de Ensino e a Indústria, maiores atividades de ensino voltado para resolução de problemas de engenharia na mineração (hoje a maior atividade industrial no Estado do Pará) e aprimoramento da pesquisa na área, o que beneficiará Programas de Graduação e de Pós-Graduação.

Agradecimentos

O primeiro autor agradece à empresa Vale S. A. pelo suporte financeiro e à empresa WorleyParsons Ltd. pela infraestrutura disponibilizada.

REFERÊNCIAS

- BEAUDOIN, J. Case study: Koniambo nickel project - some unique outcomes in modularization and preassemblies. In: Modular Construction & Prefabrication, Brisbane. Australia: IPCQ, 2010.
- CARVALHO, Simão. UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO, Curso de Mestrado em Engenharia Mineral. Simulação probabilística de peneiramento vibratório, 2004. Dissertação (Mestrado).
- CLEARY, P. DEM prediction of industrial and geophysical particle flows, **Particuology**, v.8, p. 106-118, 2010.
- GÓES, F; SEBE, J. **Vale importa tecnologia que tira caminhões de dentro das minas**, Valor Econômico, 03/03/2011. Disponível em <<http://www.valoronline.com.br/impreso/empresas/102/392548/vale-importa-tecnologia-que-tira-caminhoes-de-dentro-das-minas>> Acesso em : 03 abr. 2011.
- IIZUKA, Eduardo. UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS, Faculdade de Engenharia Mecânica. Análise de tensões em peneiras vibratórias através de modelagem numérica utilizando o método dos elementos finitos e experimentalmente por extensometria, 2006. Dissertação (Mestrado).
- MESQUITA, A.L.A.; KHATTAK, N. A. Vibration analysis of modular steel structures supporting vibratory screens in a mineral processing plant. **Anais: 12º Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro**. Vitória-ES. Brasil: ABM, 2011.
- MESQUITA, A.L.A.; MAROTTA, P.M.T.; ALVARENGA, J.B. Fundamentos sobre engenharia de modularização. **Anais: 12º Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro**. Vitória-ES. Brasil: ABM, 2011.
- METSO, **New Lokotrack and Lokolink animation!**, 2010, Disponível em <<http://www.metso.com>> Acesso em: 03 abr. 2011.

- MINÉRIOS E MINERALES. **Lavra truckless**. Edição 316, 20/06/2009. Disponível em <<http://www.minerios.com.br/index.php?page=materia.php&id=2819#>> Acesso em: 04 abr. 2011.
- MLADY, J. Advancements in modular techniques over the past decades. In: *Modular Construction & Prefabrication*, Brisbane. Australia: IPCQ, 2010.
- 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-maior-expansao-da-historia-em-carajas.aspx>> Acesso em: 05 mar. 2011.
- SOLDINGER, M. Interrelation of stratification and passage in the screening process, **Minerals Engineering**, v.12, n.5, p. 497-516, 1999.
- SOLDINGER, M. Transport velocity of a crushed rock material bed on a screen, **Minerals Engineering**, v.15, p. 7–17, 2002.

PROGRAM OF DEVELOPMENT, TRAINING AND DISSEMINATION OF NEW TECHNOLOGIES - ACTION DEVELOPED BY THE GOVERNMENT OF THE STATE OF PARÁ AND VALE S.A.

***Abstract:** This paper presents the description of a Doctoral and Postdoctoral Program developed by Government of the State of Pará (Brazil) and Vale S. A. This program aims to human resource training in order to qualification of Professors and/or Researches of State of Pará. The period of this program is composed of two steps. The first step consists of training in new technologies that have been implemented in Vale in its S11D Project, and the second step consists of the development and achievement of the doctoral or postdoctoral project. In this work the activities of a postdoctoral research during the first step of the program are described. The activities comprise research studies in industrial modular construction, structural designs of modules, vibrating screens, screening modeling and numerical analysis using the discrete element method (DEM).*

***Key-words:** Postdoctoral, Modular Construction, Vibration, Mining.*