

# REDUÇÃO DO DESGASTE E PROBLEMAS CORRELATOS EM PONTOS DE TRANSFERÊNCIA DE MINÉRIOS, ATRAVÉS DE PROJETO AUXILIADO DE CAD/CAE – ESTUDO DE CASOS<sup>1</sup>

Carlos Alberto Llanes Leyva<sup>2</sup>

Marcio Bonfim Dessaune<sup>3</sup>

## Resumo

Pontos de transferência de materiais granulados constam de transportadores de correia, chutes ou calhas de transferência, silos, etc. Chutes são dispositivos de aço carbono ou inox de geometria tridimensional, às vezes com revestimento cerâmico, ou polimérico, ou com chapas metálicas resistentes ao desgaste. Neste trabalho são descritos os problemas no funcionamento de chutes, e como minimizá-los com um projeto adequado usando CAD e CAE. São mostrados casos de projeto de chutes de transferência de minérios, tanto convencionais (usando “caixas de pedra”) quanto modernos (com calhas curvas para controle de velocidade do fluxo). São ilustrados os problemas relacionados à operação que devem ser minimizados desde a fase de concepção: desgaste das paredes do chute e do revestimento, degradação do material, desgaste da correia, geração de passivo ambiental, etc. Finalmente, são apresentados casos de projeto moderno de chutes, auxiliado de software CAD paramétrico em todas as etapas – do conceito 3D ao detalhamento 2D para fabricação e montagem – e com simulação do escoamento em aplicativo DEM para previsão da trajetória e simulação numérica do escoamento.

**Palavras-chave:** Chutes; Transportadores de correia; Pontos de transferência; Manuseio de materiais granulados.

## REDUCING WEAR-RELATED PROBLEMS IN MINERAL TRANSFER POINTS, THROUGH CAD/CAE BASED PROJECT – CASE STUDIES

### Abstract

Transfer points for bulks materials handling consist of belt conveyors, chutes, silos, etc. Chutes are steel-made three-dimensional plates, usually with ceramic or polymeric liner, or covered with abrasion resistant plates. In this work were described the problems related with chute operation, and how to minimize them with a satisfactory project process aided by CAD/CAE. Case studies of mineral transfer points were explained, both with the “conventional” (by using “rock boxes”) and the “modern” concept (with curved plates to control de velocity of the flow). They were discussed in here the problems related to transfer points operation, which must be minimized since early design stages: wear of the chute walls and liner, degradation of the material, wear of the belt, dust generation, etc. Finally, they were shown case studies of modern design of chutes, based on parametric CAD software – from 3D concept to final 2D detailed drawings - and numerical simulation of the flow with DEM software for the numerical calculation of the trajectory and material flow.

**Key-words:** Chute; Belt conveyors; Transfer points; Bulk solids handling.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 62º Congresso Anual da ABM – Internacional, 23 a 27 de julho de 2007, Vitória – ES, Brasil.*

<sup>2</sup> *Engenheiro Mecânico. Mestre em Engenharia Mecânica. Professor da Faculdade UCL Ensino Superior. Supervisor de Engenharia da Martin Engineering, Vitória Office. Vitória – ES*

<sup>3</sup> *Engenheiro Mecânico. Gerente da Divisão de Engenharia da Martin Engineering, Vitória Office. Vitória - ES.*

## INTRODUÇÃO

### Problemas causados por projeto deficiente de chutes de transferência

Pontos de transferência de materiais granulados na indústria constam de transportadores de correia, chutes, silos, etc. Chutes são dispositivos de aço carbono ou inox de geometria tridimensional, às vezes com revestimento cerâmico, ou polimérico, ou com chapas metálicas resistentes ao desgaste.

No manuseio de materiais particulados, alguns problemas podem ser causados pelo projeto deficiente dos chutes de transferência:<sup>[1-5]</sup>

1- Entupimento (*plugging* – Figura 1 a] e Figura 3 b]): interrompe o funcionamento de todo o sistema de transporte do material, com prejuízo da produtividade e disponibilidade.

2- Derramamento de material (*spillage* – Figuras 1a], 1d], 2a]): compromete a segurança da operação, reduz a vida útil dos componentes, favorece a corrosão e a geração de pó, obriga a ações freqüentes de limpeza da área, e aumenta os custos e tempos de manutenção.

3- Desgaste da correia (Figura 1 b] e c]): provoca a redução significativa da vida útil da correia, que é geralmente o elemento de maior custo unitário da instalação.

4- Degradação do material (Figura 1 e]): prejudica as características granulométricas do material necessárias ao processo, aumenta a geração de pó, provoca risco de incêndio em alguns casos, e cria passivos ambientais.

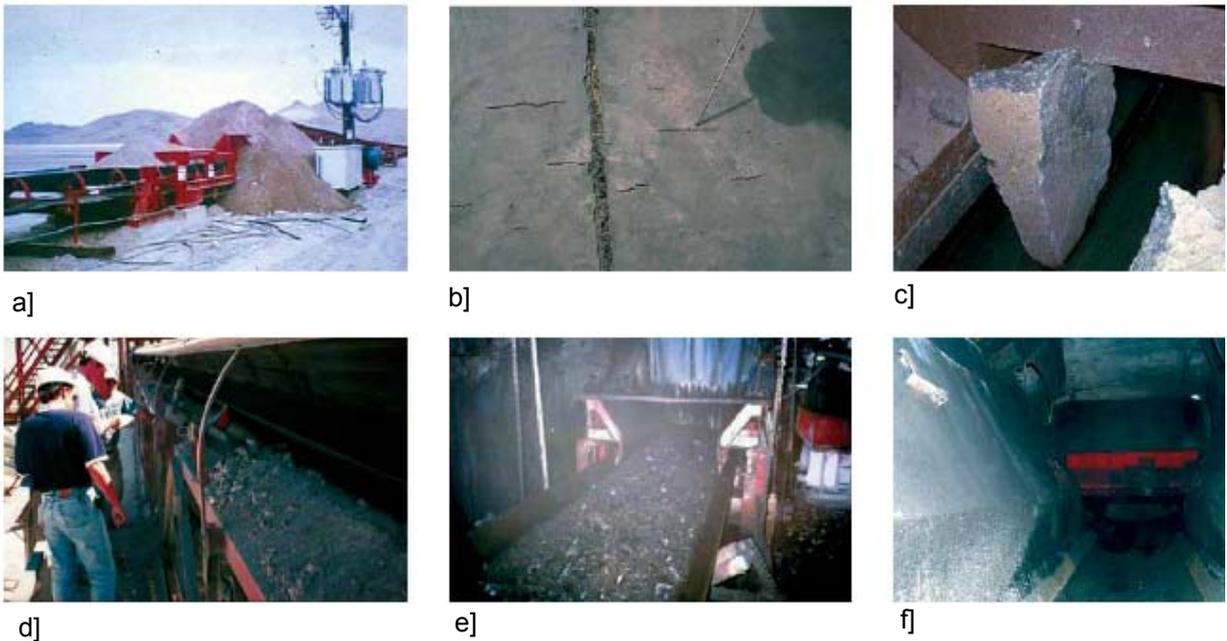


Figura 1<sup>[4]</sup>: Problemas associados com projeto deficiente do ponto de transferência: a] entupimento e derramamento; b] desgaste da correia; c] danos por impacto na correia; d] derramamento de material; e] geração de pó e degradação do material; f] desgaste nas paredes do chute.



**Figura 2:** a) Problema de derramamento de material num ponto de transferência. b) Um chute de carga montado na zona de transição da correia, causando vazamento de material.

5- Desgaste do chute (Figura 1 f): o desgaste das paredes do chute e/ou de seu revestimento demanda ações de manutenção e paradas onerosas, prejudicando a produtividade do sistema. Este problema é cada vez mais relevante na medida em que aumenta a capacidade (t/h).

6- Alto custo de manutenção e/ou operação (Figura 3): o projeto deficiente do ponto de transferência prejudica as condições de operação (impõe acompanhamento, limpeza, desentupimento, paradas, consome tempo de operadores e reduz a produtividade da instalação como um todo).



**Figura 3.** a) Tarefas de limpeza da área serão sempre necessárias para o controle de material fugitivo, mas em pontos de transferência mal projetados as condições de operação e a produtividade resultam ainda mais prejudicadas. b) Problemas de entupimento devem ser evitados desde a etapa de projeto, e não com “intervenções” pouco convenientes durante a operação.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Alternativas para o projeto adequado de chutes

A abordagem convencional no projeto de chutes utiliza “caixas de pedra” para proteger as paredes do chute dos impactos contínuos (Figura 4). Com este conceito “3S”<sup>[6]</sup> acontece que ao impactar numa superfície mais ou menos plana, o material pára (*Stops*); então se espalha (*Spreads*) e depois se empilha (*Stalls*).

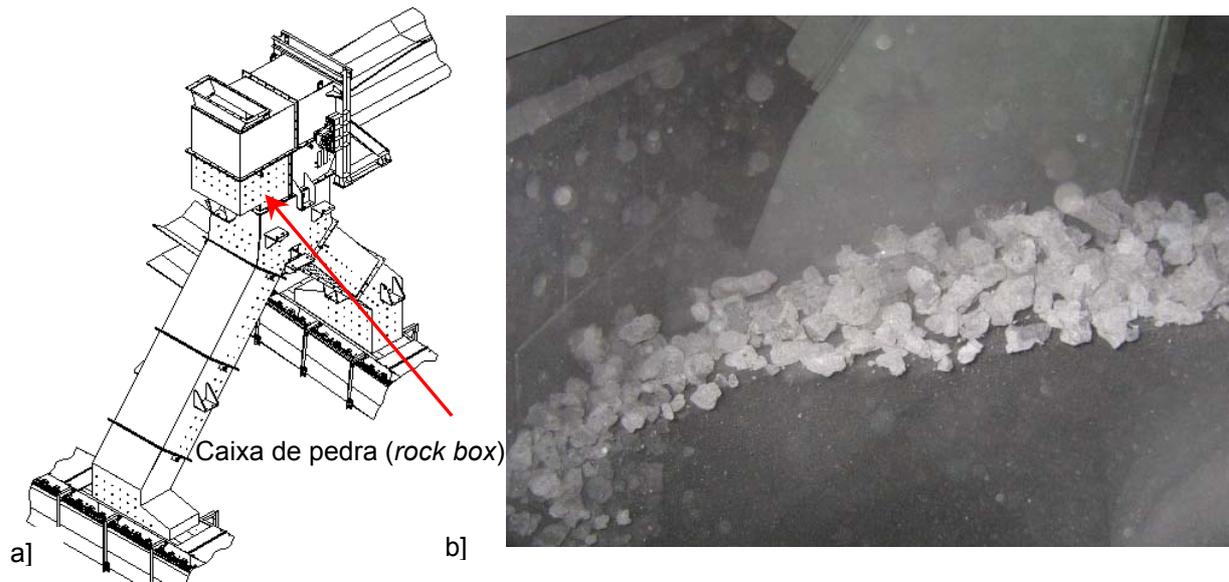


Figura 4: a) Projeto de um chute convencional, usando “caixas de pedra”. b) Impacto da corrente de coque sobre a parede revestida com placas de desgaste em aço ligado ao cromo.

Os problemas descritos na seção anterior ocorrem frequentemente em transferências projetadas conforme o modelo convencional, com “caixas de pedra”. Entretanto, quando bem projetados, chutes convencionais ainda podem ser uma solução econômica e funcional.

A Figura 5 mostra um exemplo de projeto moderno de chute, que utiliza calhas curvas para controlar o fluxo de material. Este modelo de chutes **IFT (Inertial Flow Transfer)** usa um conceito resumido como “C4”<sup>[1,3-11]</sup>: primeiro, Captar a corrente de material que entra no chute (*Capture*), para depois Curvar e Concentrar a corrente (*Curve and Concentrate*), e finalmente descarregar a corrente de material Centralizado sobre a correia de saída (*Centralize*).

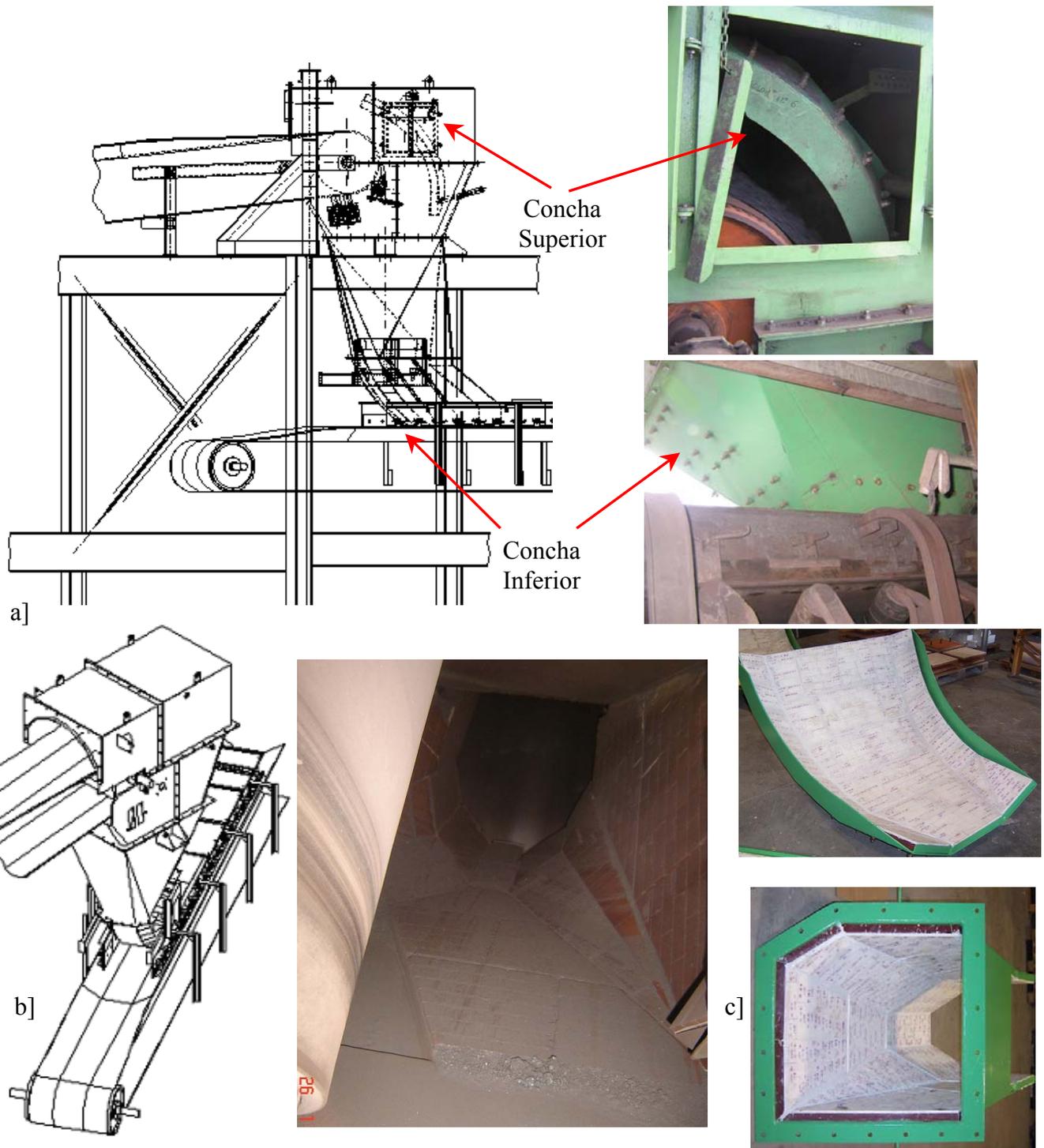


Figura 5: Projeto moderno de ponto para transferência de sinter: a] desenho de arranjo, e chute instalado; b] modelo 3D do chute e vista interna deste durante uma parada operacional; c] calhas curvas fabricadas com revestimento cerâmico à base de alumina. O objetivo de projeto é controlar o fluxo de material durante a transferência.

### Projeto de chutes assistido por computador – O uso de CAD, CAE e CAM

O desenvolvimento da computação tem disponibilizado recursos que auxiliam no projeto eficiente de pontos de transferência. O uso de programas de Desenho Assistido por Computador (CAD) permite o desenho de projeto básico, o

modelamento da geometria em 3D - para ser usada em aplicativos de Engenharia Assistida por Computador (CAE) – e a confecção da documentação de detalhamento do projeto. A opção por programas de CAD para modelamento parametrizado em 3D [10-12] e não por programas baseados em “primitivas”, além de aumentar a produtividade e confiabilidade na confecção de desenhos de fabricação, permite também a verificação rápida das interferências, ajuda na tomada de decisões de projeto e facilita o trabalho nas revisões, que normalmente são necessárias ao longo do ciclo de vida do projeto.

Adicionalmente, outras ferramentas modernas estão disponíveis para o projeto de pontos de transferência: aplicativos CAE de análise do fluxo de material por elementos finitos (*Discrete Element Method* - DEM) [1,4,9,10,11,12], programas de DEM para o dimensionamento de componentes mecânicos, e interfaces CAM para usinagem direta das chapas a partir dos modelos 3D. A Figura 6 mostra a aplicação de um programa de simulação do escoamento em um chute, tanto para a configuração convencional (6 a]) como para a geometria adaptada pelo conceito moderno para controle do fluxo (6 b]).

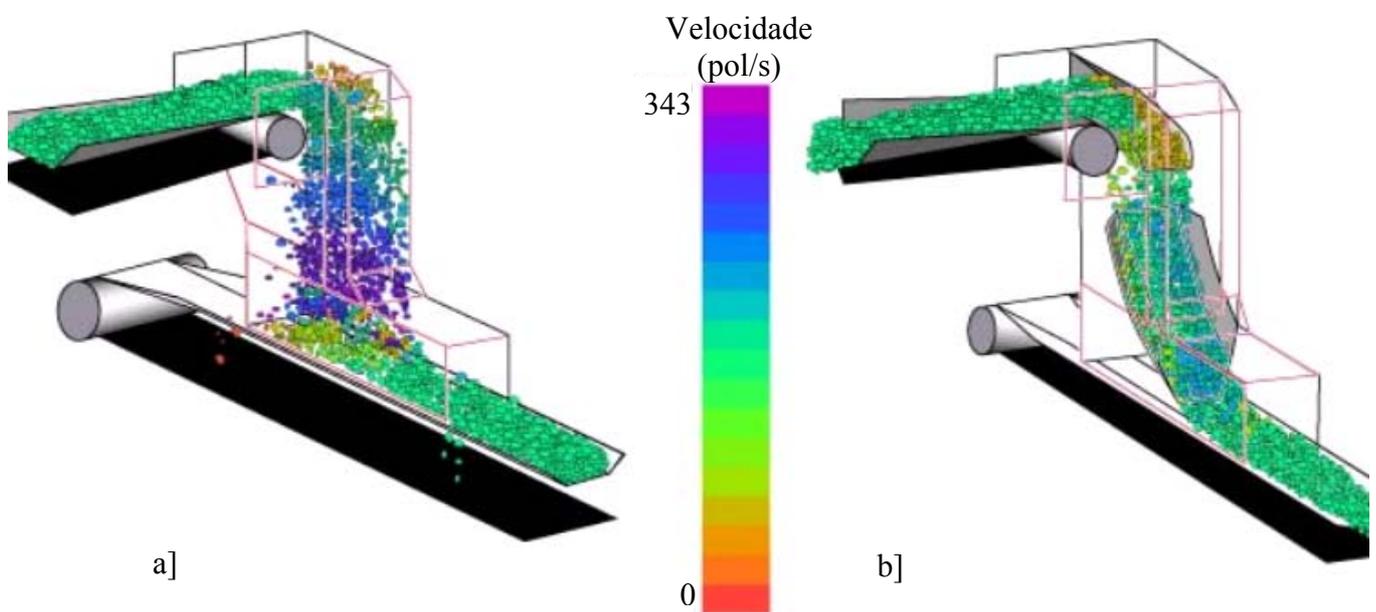


Figura 6: Velocidade do fluxo de material (pol/s), resultante da simulação de escoamento usando DEM: a] chute convencional; b] o mesmo ponto, com o conceito de chute curvo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As etapas do projeto de engenharia de um ponto de transferência, seja ele de uma instalação nova ou de uma instalação existente a ser modificada, podem ser resumidas assim:

- 1- Definir o problema e obter os dados de entrada.
- 2- Desenvolver um conceito de projeto, e seu modelo preliminar.
- 3- Submeter o layout preliminar para aprovação, e revisar os desenhos básicos até sua aceitação.
- 4- Realizar o projeto detalhado, e validar o projeto.
- 5- Emitir a documentação e desenhos do projeto detalhado (e revisa-los, quando necessário).
- 6- Liberar para fabricação e instalação.
- 7- Acompanhamento dos resultados em campo.

A quarta etapa antes citada, de realização e validação do projeto, pode ser desdobrada em uma série de passos conforme a seguir:

4.1 - Modelar a instalação em 3D. De preferência, utilizar um aplicativo de CAD paramétrico (isto é, baseado em “*features*” ou características não primitivas, para permitir rápida edição).

4.2 - Identificar as restrições geométricas da área e as limitações para fabricação dos componentes, em termos de materiais e processos.

4.3 - Identificar as prioridades do projeto (reduzir emissões de pó; minimizar o desgaste da instalação; controlar o fluxo, etc.).

4.4 - Identificar as propriedades do material, garantindo uma descrição representativa do material particulado a ser transportado.

4.5 - Aplicar modelos de fluxo que permitam propor uma geometria preliminar que será modelada tridimensionalmente em CAD.

4.6 - Simular o escoamento, utilizando um aplicativo DEM.

4.7 - Avaliar os resultados da simulação.

4.8 - Iterar as etapas 4.5 a 4.7 até a aceitação do modelo proposto.

4.9 - Validar o desempenho do modelo final, e realizar o projeto detalhado.

Além do design do próprio chute de transferência o projeto deve incluir o cálculo dos elementos estruturais de suporte do chute, dos tambores, a especificação de raspadores e limpadores de correia, etc.

Nas Figuras 7 a 9 são mostrados exemplos de utilização de ferramentas modernas de modelamento geométrico em CAD de pontos de transferência, e da simulação numérica de escoamento com dois aplicativos CAE diferentes. A análise dos perfis de velocidade resultantes na simulação, dentre outros resultados que o programa fornece, ajuda no design de uma geometria de chute com adequado controle de fluxo do material manuseado. Isto permite minimizar o desgaste do equipamento e os outros problemas antes mencionados, que resultavam de projetos deficientes baseados em procedimentos empíricos.

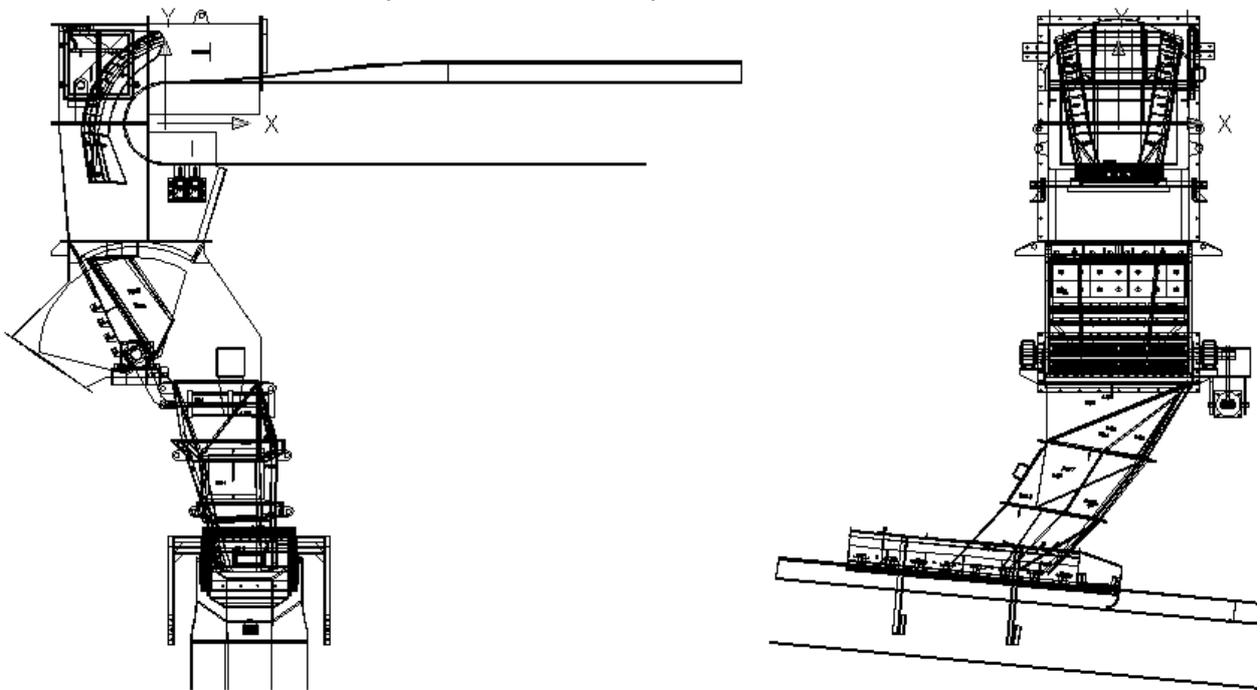


Figura 7: Modelamento tridimensional, detalhado e parametrizado, de um ponto de transferência.

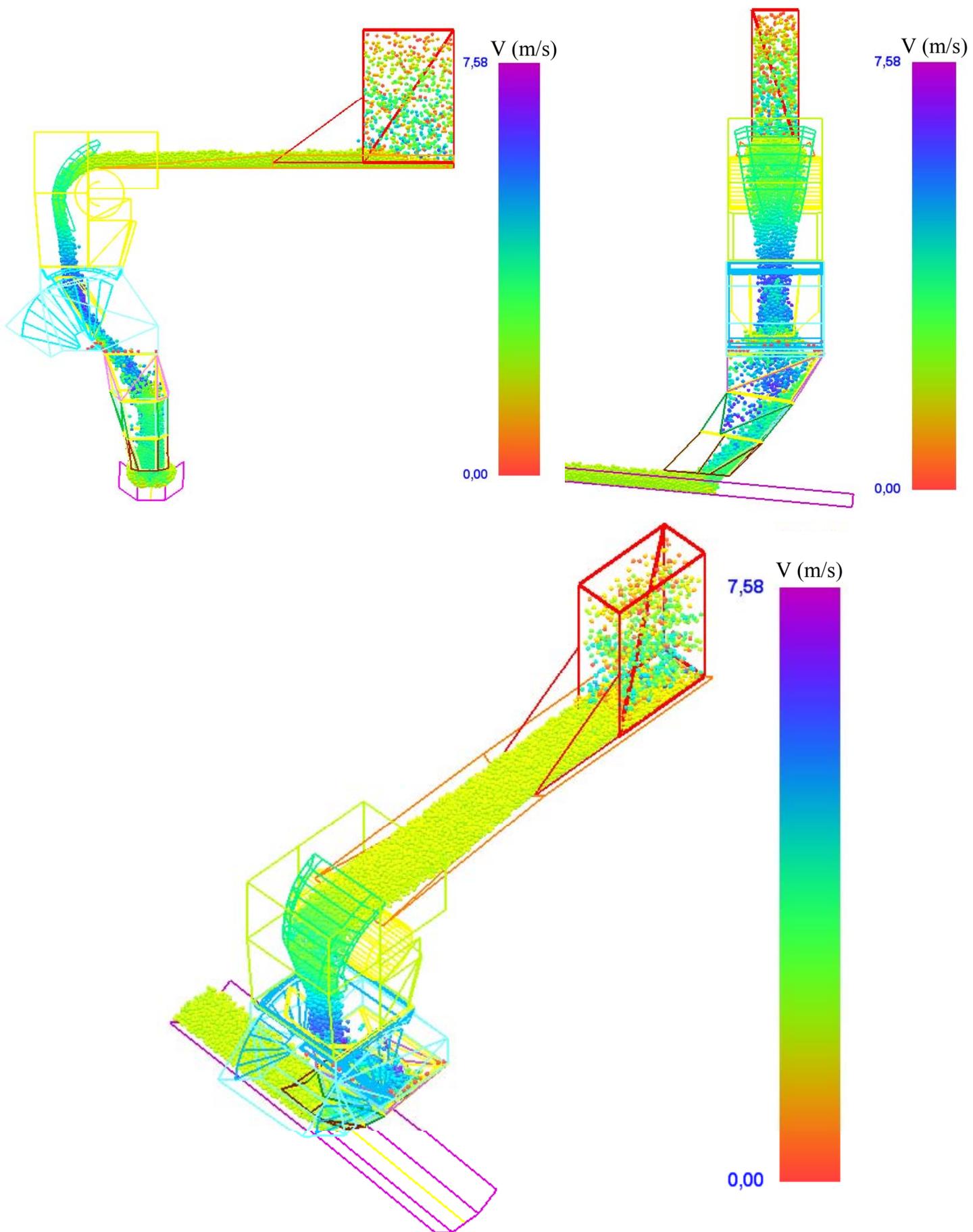
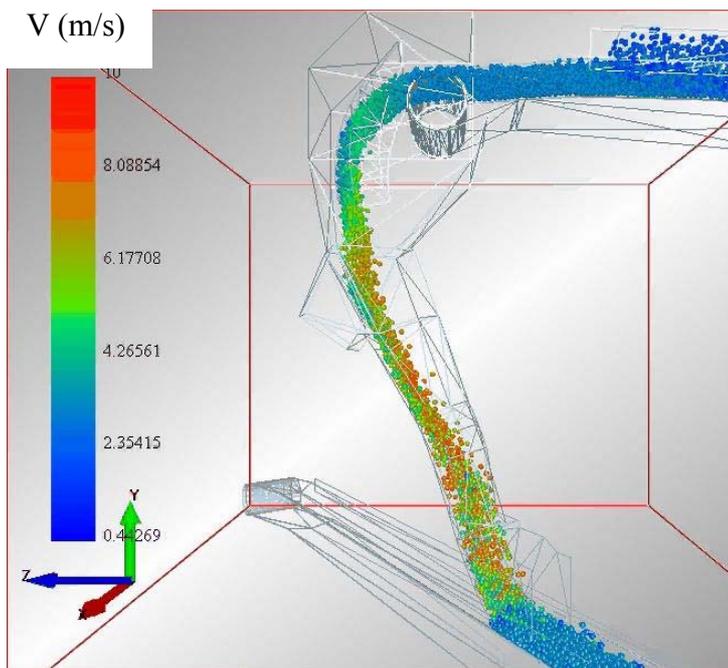
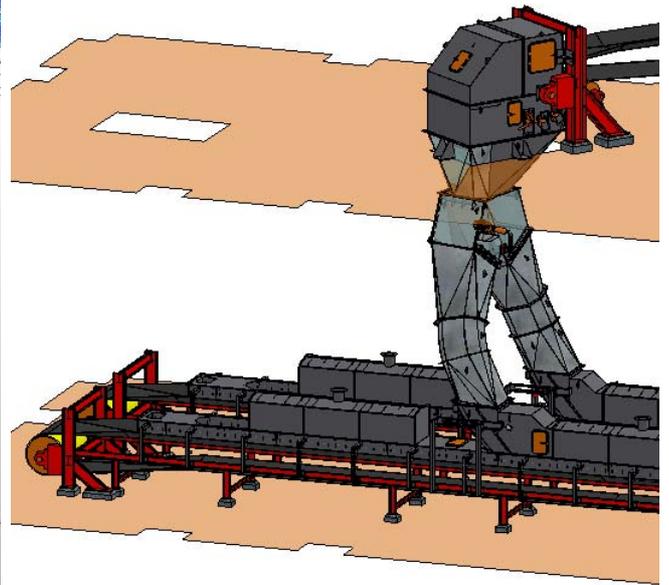


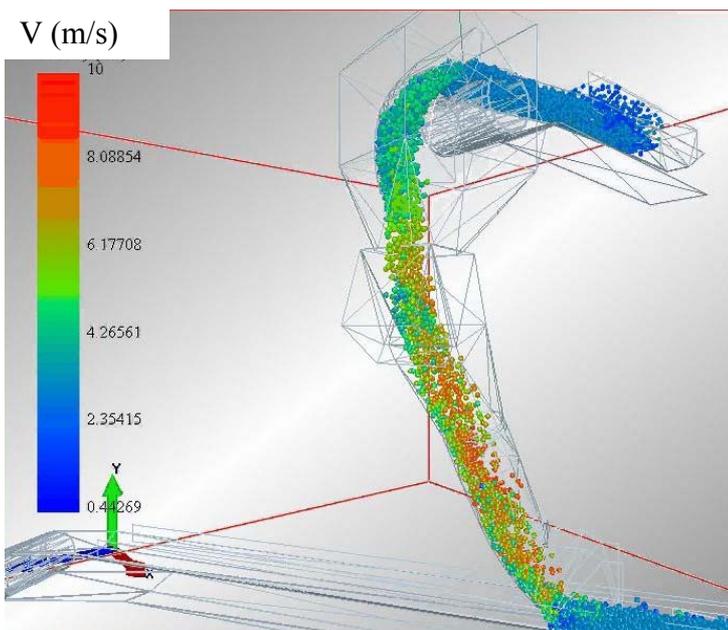
Figura 8: Resultados da simulação numérica do escoamento do material ao longo do ponto de transferência mostrado na Figura 7, projetado para adequado controle do fluxo.



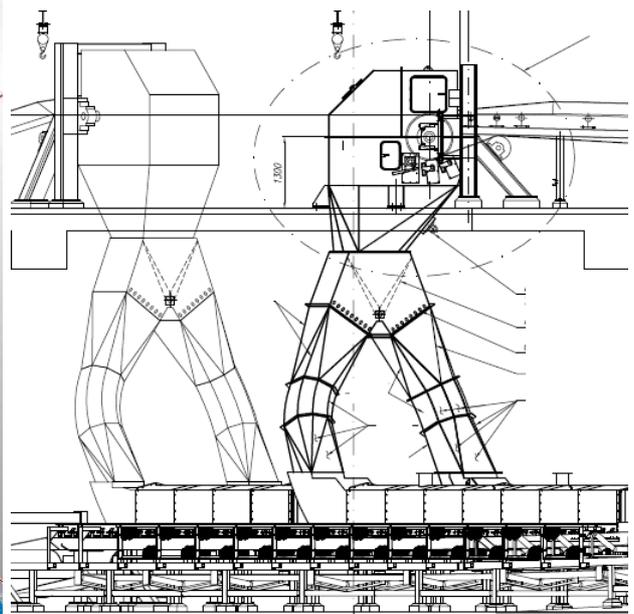
a]



c]



b]



d]

Figura 9: a) e b) Resultados de velocidade na simulação numérica do escoamento do material ao longo de um chute curvo. c) Modelo renderizado do chute. d) Vista parcial do desenho de arranjo geral do chute.

A Figura 10 mostra dados publicados por um fabricante de revestimentos cerâmicos,<sup>[13]</sup> comparando a resistência ao desgaste, dureza e densidade de vários materiais disponíveis para o revestimento das paredes dos chutes. A adequação do revestimento à aplicação de manuseio de um dado material é customizada. Dependendo do caso, um dado revestimento pode ser mais eficiente do que outro. A especificação do material para o revestimento do chute, bem como do seu método de fixação, são tarefas técnicas que demandarão estudos mais extensos sobre desgaste, durabilidade, confiabilidade, custo, etc.

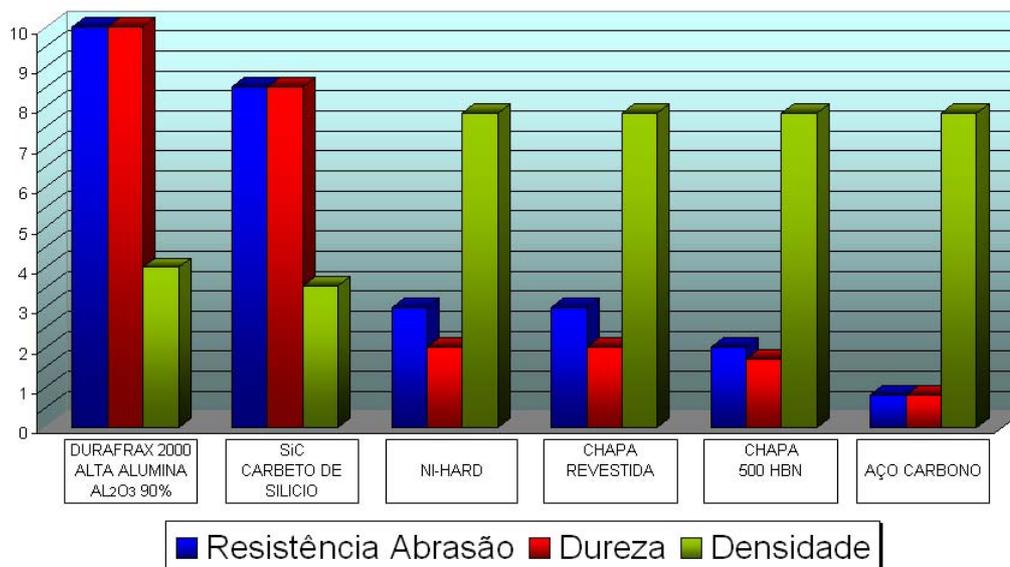


Figura 10<sup>[13]</sup>: Comparação da resistência à abrasão, dureza e densidade, de diferentes materiais para o revestimento de chutes.

## CONCLUSÃO

Conforme foi apresentado, evitar os problemas devidos a projeto ineficiente de chutes de transferência é uma tarefa possível, e que tem importância econômica para o país.

Nesse sentido, é vantajoso implementar projetos baseados em tecnologia computacional moderna, com uso intensivo de aplicativos de CAD / CAE / CAM, gerenciamento centralizado da informação, recursos de rede e internet, etc. Essas ferramentas, aliadas ao know-how no projeto de transferências, permitem chegar a resultados satisfatórios com maior confiança e menor custo, minimizando os problemas de desgaste e outros que afetam a produtividade do sistema de manuseio de granulados.

Projetar adequadamente os pontos de transferência representa um desafio num campo de pesquisa aplicada que até hoje não foi bem trabalhado no Brasil, apesar de sua tradição minero - metalúrgica. Embora a nível internacional existam muitos trabalhos da comunidade acadêmica e industrial no domínio do manuseio de minérios, vários aspectos ainda precisam ser estudados no futuro. Esse esforço permitirá fazer do manuseio de granulados em geral - e de minérios em particular - uma atividade mais limpa, mais segura e mais econômica.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à companhia Martin Engineering Ltda pela oportunidade e o suporte brindado para estudar este assunto. A todos os que trabalham na Divisão de Engenharia, o nosso agradecimento pela sua valiosa colaboração. Também, agradecemos à UCL Faculdade do Centro Leste, aos seus professores e alunos, pelo incentivo diário.

## REFERÊNCIAS

- 1 Dewicki, G; Mustoe, G. *Bulk Material Belt Conveyor Transfer Point Simulation of Material Flow Using DEM*. Proceedings, Third International Conference on DEMs, Santa Fe, New Mexico, Sept. 23-25,2002. 11p.
- 2 Rozentals, J. *Flow of Bulk Solids in Chute Design*. Proceedings, First International Chute Design Conference. 1991.
- 3 Benjamim, C.W, Nemeth, J. *Transfer chutes design solutions for modern materials handling operations*. Bulk Solids Handling, Vol 21 Number 1, January/February 2001, Trans Tech Publications, Germany. 5p.
- 4 Dewicki, G. *Bulk Material Handling and Processing – Numerical Techniques and Simulation of Granular Materials*. Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Conference on Discrete Element Methods. Santa Fe, New Mexico, USA. September 2002.
- 5 Roberts, A. W. *Design Guide for Chutes in Bulk Solids Handling Operations. Version 1 – 2<sup>nd</sup> Draft*. Centre for Bulk Solids & Particulate Technologies. The University of Newcastle, Australia. 1999.
- 6 Mc Bride, B. *Efficient Transfer Chutes – A case study*. Tunra Bulk Solids Research – The University of NewCastle, Australia. 5p.
- 7 Roberts, A. W. *Chute performance and design for rapid flow conditions*. Chemical Engineering Technology, 26 (2003), p. 163 -170.
- 8 Wensrich, C. M. *Evolutionary optimization in chute design*. Powder Technology, Elsevier, 138 (2003). pp. 118-123.
- 9 McIlvenna, P; Mossad, R. *Two Dimensional transfer chute analysis using a continuum method*. Proceedings – Third International Conference on CFD in the minerals and process industries. CSIRO, Melbourne, Australia. 10-12 December 2003.
- 10 Benjamim, C. W.: *State of the art transfer chute design using 3D Parametric Modeling*. Paper presented to Society for Mining, Metallurgy and Exploration (SME) Conveyor Belt 111 Conference, February 28 – March 1<sup>st</sup> 2000, Salt Lake City – USA.
- 11 Benjamim, C.W; Burleigh, B.B; Nemeth, J. *Transfer Chute Design – A new approach using 3D Parametric Modeling*. Bulk Solids Handling, Vol 19, Issue 1, January/ March, 1999, Trans Tech Publications, Germany. Pp 29-33.
- 12 Benjamim, C.W. *The Use of Parametric Modelling to Design Transfer Chutes and Other Key Components*. Gulf Conveyor Group – Summary of Research. 12 p.
- 13 Technical product application – Material properties Durafrax™ 2000. Disponível em: <http://www.wrt.saint-Gobain.com>. Acesso em: 22 jan. 2007.