



DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTAS DE PRÉ E PÓS-PROCESSAMENTO PARA SIMULAÇÕES NUMÉRICAS DE CORRIDAS DE DETRITOS ATRAVÉS DO DEM

João Luiz A. Oliveira

Ricardo A. Fernandes

Diogo T. Cintra

Luciana C. L. M. Vieira

joao.laoliveira@gmail.com

ricardoaf@lccv.ufal.br

diogotc@lccv.ufal.br

lucianaclmv@lccv.ufal.br

Laboratório de Computação Científica e Visualização – Universidade Federal de Alagoas (LCCV/UFAL)

Av. Lourival Melo Mota, s/n, Tabuleiro dos Martins, 57072-900, Maceió-Alagoas, Brasil

Resumo. O Método dos Elementos Discretos (DEM) estuda a cinemática de um conjunto de partículas, em geral discos ou esferas, que interagem entre si através de leis de contato. A aplicação desse método está voltada para modelagem de meios granulares, com destaque para problemas que envolvem fenômenos de impacto, fraturamento e fragmentação. Em geral, a etapa de pré-processamento do DEM envolve especificações geométricas, físicas e mecânicas do meio estudado. Também se define um conjunto de partículas que representa a discretização espacial do domínio do problema. Por isto, o DEM é utilizado para o estudo de corrida de detritos. Através de um arquivo de entrada com o mapeamento topográfico de uma região, definem-se as seções de corte de interesse e o valor de alguns parâmetros intrínsecos do modelo. A ferramenta é capaz de criar um perfil de corte utilizando técnicas de interpolação numérica dos dados fornecidos e gerar o modelo particulado. Após o processamento numérico do modelo, a ferramenta de pós-processamento permite visualizar a cinemática do fluxo de massa e relatar informações globais de interesse da corrida. Tal ferramenta deverá integrar templates desenvolvidas previamente para determinação do volume deslocado, histórico de velocidades, distâncias alcançadas e vazões. Exemplos numéricos e ilustrações são utilizadas para demonstração dos desenvolvimentos propostos.

Palavras-chave: Método dos elementos discretos, corrida de detritos, pré-processamento, pós-processamento.

1 INTRODUÇÃO

Métodos numéricos são comumente utilizados no estudo de fenômenos físicos de interesse que apresentem grande dificuldade de se representar através de expressões analíticas. O DEM, proposto com Cundall e Strack (1979), estuda as interações cinemáticas de um conjunto finito de partículas representativo de um domínio descontínuo. Sua aplicação está voltada comumente para problemas de natureza discreta com solicitações de impacto e de fraturas. A análise de fenômenos de corridas de massa, a exemplo das corridas de detritos, é de interesse de diversos profissionais da engenharia. O estudo dos movimentos de massa é bastante importante neste sentido. Muitas vezes, as corridas de detritos são os fatores que acarretam perdas materiais e humanas em instalações industriais. Durante a etapa de projeto, ou mesmo através do monitoramento da região de interesse, é possível estimar a cinemática da massa granular que flui decorrente de algum deslizamento de terra. Para tanto, dispõe-se de ferramentas numéricas que fornecem solução para problemas de natureza descontínua como estes, a exemplo do DEM. O presente trabalho propõe a integração das etapas de pré e pós-processamento em simulações numéricas de corridas de detritos através do DEM. Estas ferramentas herdam funcionalidades pré e pós-processamento desenvolvidas em trabalhos anteriores: (Oliveira et al., 2015), (Albuquerque et al., 2014), (Albuquerque et al., 2013).

2 METODOLOGIA

Primeiramente, desenvolve-se a ferramenta de pré-processamento, em seguida, a de pós-processamento. A primeira etapa consiste em implementar um sistema computacional capaz de gerar um modelo numérico de corrida de detritos utilizando o DEM selecionando seções verticais de um mapeamento topográfico. Fornecendo a geometria do corte e alguns parâmetros intrínsecos do modelo, o sistema é capaz de gerar um modelo particulado pronto para ser simulado com os módulos computacionais desenvolvidos anteriormente com o sistema PetroDEM (PetroDEM). São eles: DEMOOP (módulo de análise numérica) e DEMview (módulo de visualização da simulação e pós-processamento). A segunda etapa consiste em implementar ferramentas de pós-processamento para fornecer ao usuário resultados de interesse sobre a corrida de detritos simulada. Grandezas como volume deslocado, deslocamento do centro de massa, velocidades e vazão são importantes para avaliar o movimento de massa estudado.

3 PRÉ-PROCESSAMENTO

O usuário deve fornecer como dados de entrada o mapeamento topográfico que representa a morfologia do terreno em estudo, através de um arquivo no formato XYZ, e os vértices da polilinha que em planta (plano XY) representa o corte virtual no terreno. A Figura 1 ilustra a superfície de um terreno e a representação em planta de um corte. Também deve-se fornecer um arquivo *template* com informações intrínsecas do modelo numérico e da técnica de geração de partículas a ser utilizada. O arquivo *template* carrega informações como o modelo de contato a ser utilizado e seus parâmetros, densidade dos materiais, tempo de simulação, entre outros.

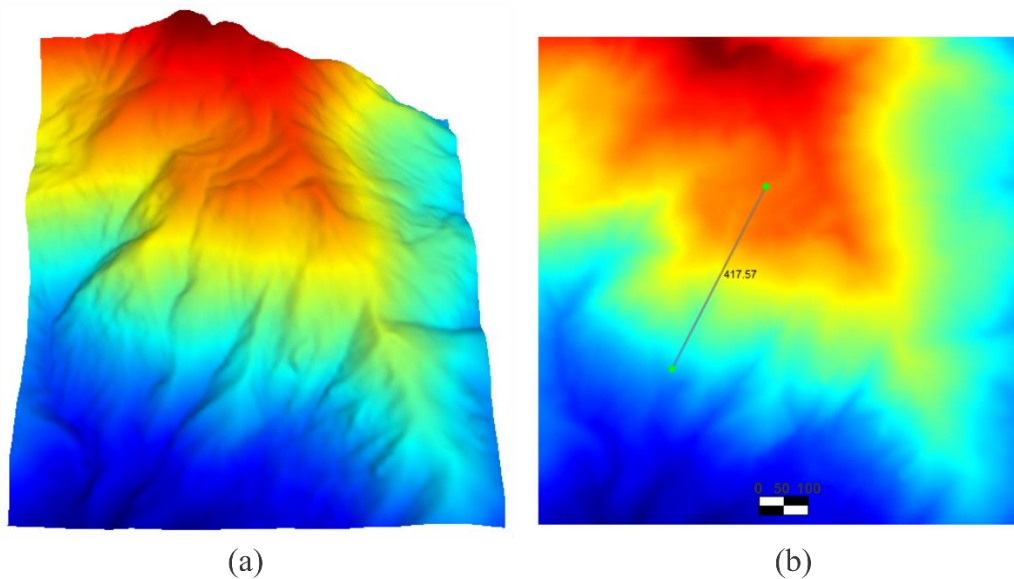


Figura 1. Ilustração dos dados de entrada: (a) Arquivo XYZ; (b) Vértices da polilinha em planta

É possível ainda disponibilizar um segundo mapeamento representando a morfologia da rocha sã do terreno em estudo ou através de um *offset* em relação ao mapeamento do terreno fornecido.

Na estratégia empregada parametriza-se a polilinha fornecida e estima-se a cota desses pontos parametrizados através de interpolação numérica local com os pontos mais próximos. Assim, é possível gerar uma aproximação da geométrica do corte do terreno. Com as informações geométricas e do *template*, o sistema de pré-processamento é capaz de gerar o modelo numérico do DEM através de técnicas geométricas para discretização do domínio descontínuo. A ferramenta permite ao usuário a modificação dos parâmetros supracitados, todavia utiliza os valores padrões quando estes não são predefinidos.

Visando otimizar a busca dos pontos para a interpolação, os dados de entrada XYZ são inicialmente subdivididos em um grid bidimensional XY de células. Dessa forma, a busca é feita somente na célula onde o ponto P a ser interpolado está contido e, se necessário, nas células vizinhas (Munjiza, 1998). A interpolação adotada utiliza três pontos (A, B, C). Para isto, é preciso garantir que a projeção de P no plano XY esteja contida na projeção do triângulo ABC. Primeiramente, buscam-se os quatro pontos mais próximos dispostos um em cada quadrante relativo a P, ver Figura 2(a). Se o triângulo ABC não atender ao requisito supracitado, utiliza-se o triângulo ACD para a interpolação, ver Figura 2(b).

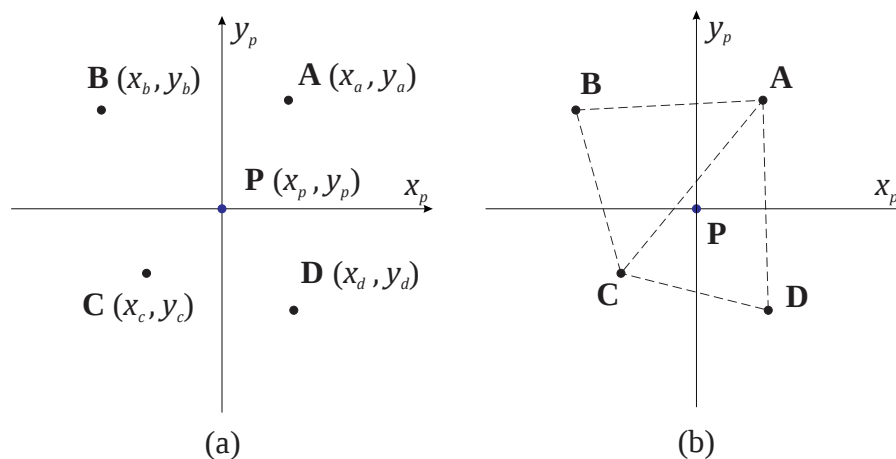


Figura 2. Método de seleção dos pontos utilizados na interpolação

Com relação à parametrização dos vértices da polilinha, é possível fornecer o comprimento dS que define a discretização da parametrização. Essa discretização é única para toda parametrização. Se o dS não for fornecido, o sistema o determina dividindo o comprimento total da polilinha por mil unidades. Assim, se a extensão total da polilinha for relativamente pequena ou grande, é recomendado fornecer um dS que apresente melhor representatividade do caso analisado.

4 PÓS-PROCESSAMENTO

Esta ferramenta trata da determinação de grandezas de interesse no estudo de movimento de massa, bem como da evolução temporal de algumas dessas grandezas ao longo da simulação numérica. As grandezas são: volume deslocado, posição, velocidade e aceleração do centro de massa (CM), altura, espalhamento, esfericidade, alcance horizontal, alcances horizontal e vertical e vazão.

Esta ferramenta também disponibiliza funcionalidades de módulos computacionais desenvolvidos anteriormente. Cada um desses módulos foi desenvolvido com o objetivo de fornecer especificamente uma das grandezas supracitadas e cada um requer parâmetros específicos de entrada para apresentar os resultados. Com base no perfil de corte simulado, a ferramenta calcula cada parâmetro destes e lê os resultados fornecidos pelos módulos. Assim, a ferramenta de pós-processamento apresentada neste trabalho integra estes módulos e disponibiliza os resultados e métricas de interesse de forma organizada ao usuário.

5 RESULTADOS

Para a validação da ferramenta de pré-processamento, foram gerados arquivos XYZ com perfis de corte conhecidos. Tratam-se de superfícies com cota definida por funções de formato conhecido, como funções trigonométricas, polinomiais, entre outras. A Figura 3(a) mostra a representação gráfica da função $z(x, y) = \text{seno}(x) \times \text{seno}(y)$, com x e y variando entre 0 e 4π radianos e o plano de corte utilizado. As cores representam o nível da cota que varia de -1.0 a 1.0 m, do azul para o vermelho respectivamente. A Figura 3(b) apresenta o perfil estimado para o terreno, representado pela curva superior. Como a técnica de interpolação exige quatro pontos dispostos como quadrante em torno dos pontos parametrizados, o corte aqui feito não alcança os extremos do domínio dos dados utilizados, assim, a função senoidal superior não alcança a imagem zero em seus extremos. Utilizou-se um *offset* representativo de 1 m para ilustrar a superfície da base da rocha.

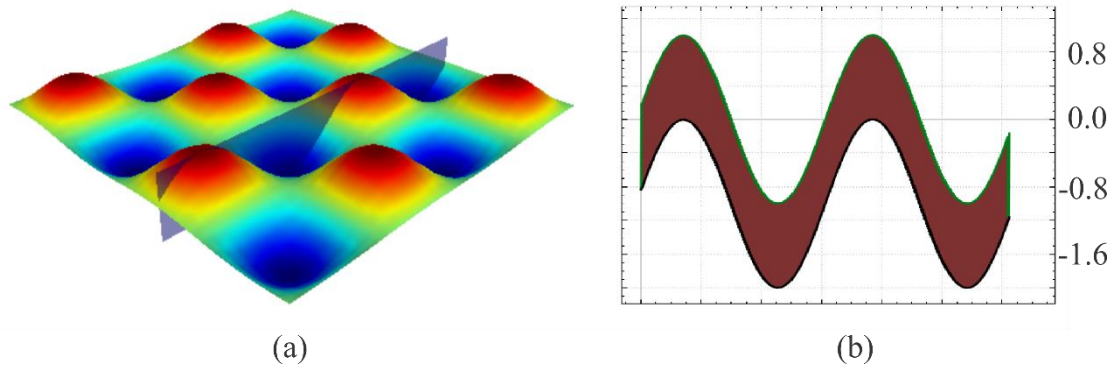


Figura 3. Determinação geométrica do perfil de corte do terreno

A Figura 4 apresenta a morfologia do Morro do Corcovado e o modelo do perfil de corte nela representado. Este perfil foi utilizado para gerar resultados com a ferramenta de pós-processamento. Temos a trajetória do centro de massa da massa em movimento (Figura 5), o volume deslocado ao longo da simulação (Figura 6) e a vazão em determinadas seções verticais ao longo da simulação (Figura 7). Ainda temos na Tabela 1 algumas constantes de interesses que também servem para análise de resultados. Para obter-se resultados mais representativos, deve-se calibrar os parâmetros de geração do modelo adequadamente. Isto não foi atentado neste trabalho.

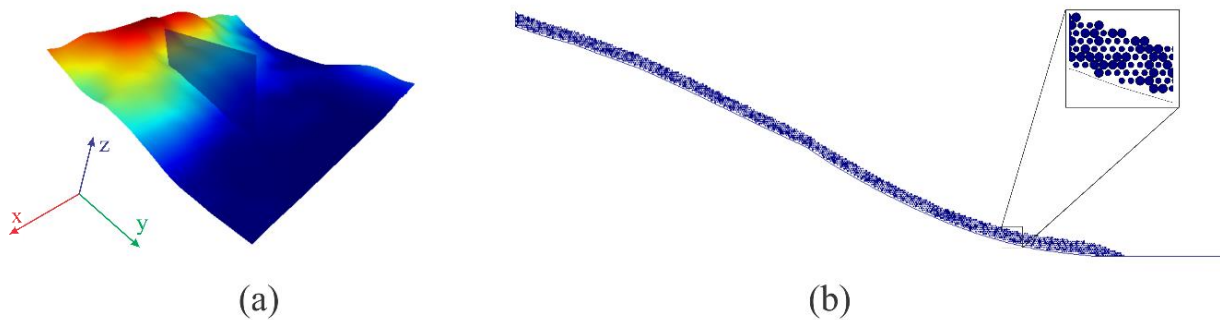


Figura 4. Modelagem através do DEM do Morro do Corcovado

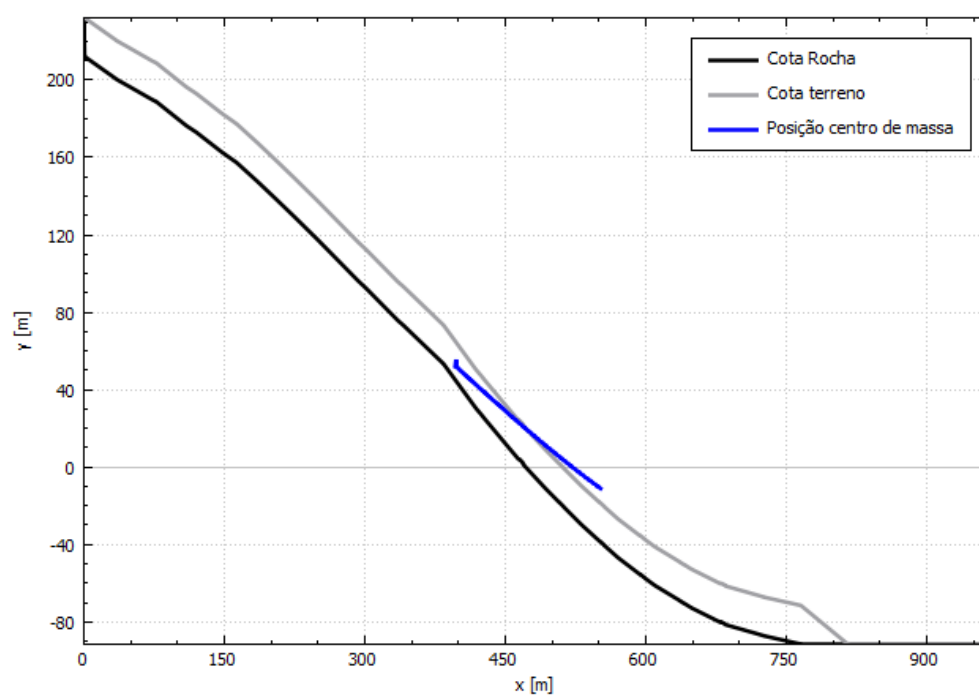


Figura 5. Resultados sobre o CM: (a) Trajetória; (b) Velocidade; (c) Aceleração

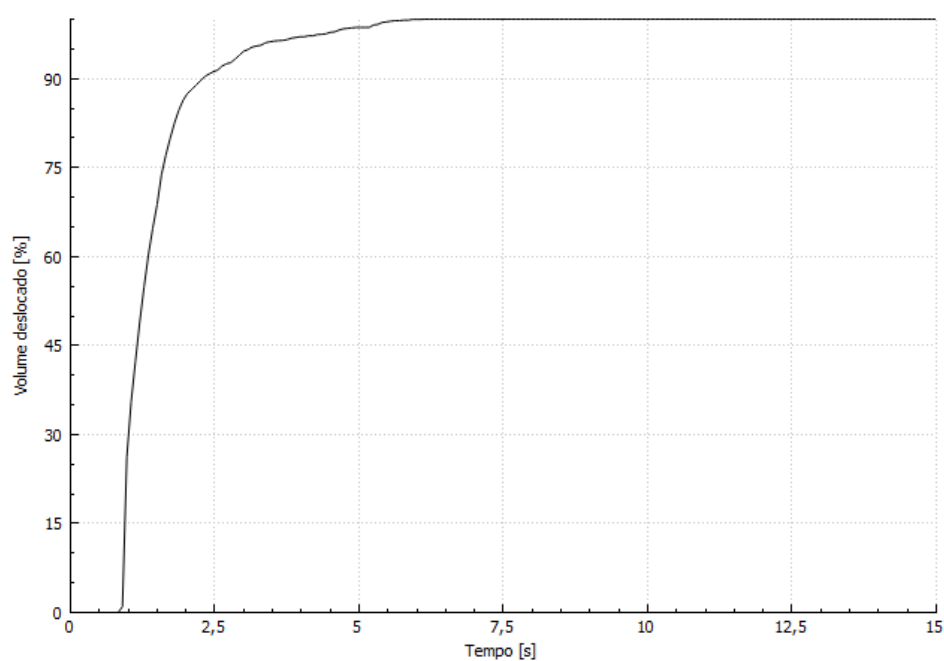


Figura 6. Evolução temporal do volume deslocado

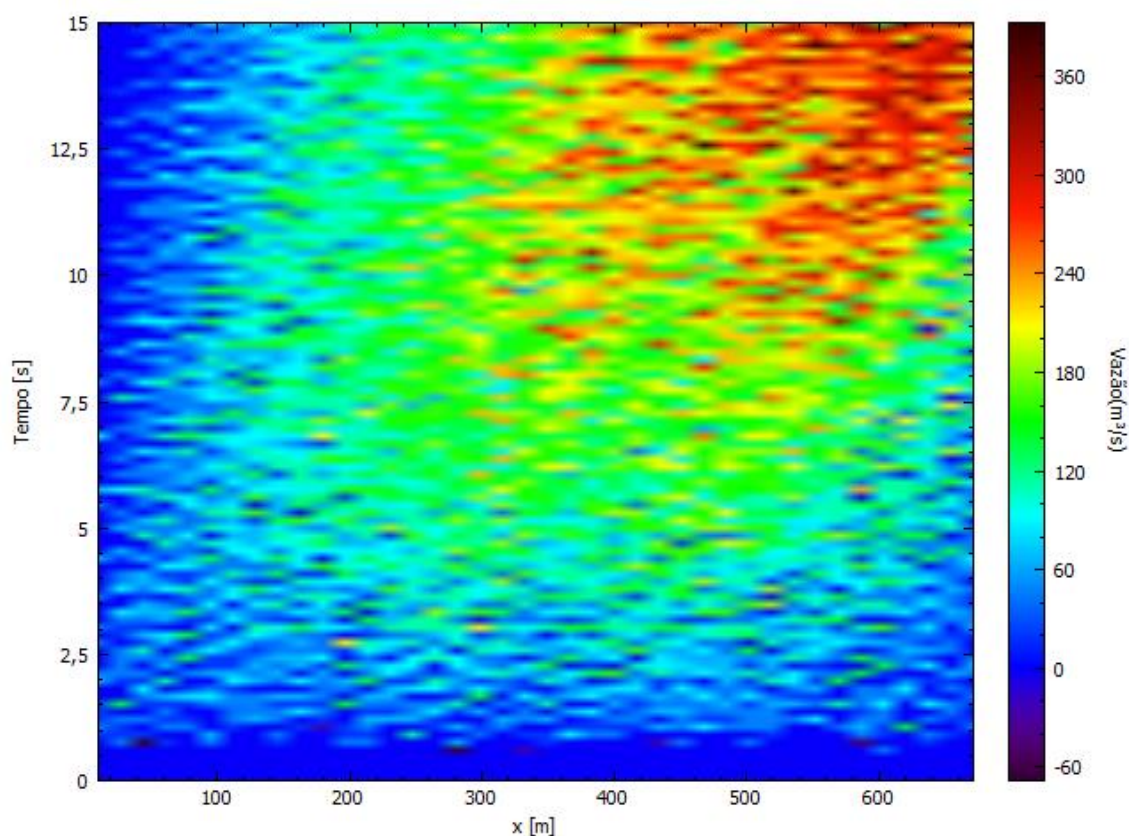


Figura 7. Evolução tempo-espacial da vazão em seções verticais

Tabela 1. Constantes de interesse

Constantes de Interesse	Unidade	Valor
Alcance horizontal	[m]	154,746
Alcance vertical	[m]	66,650
Razão entre alcances	[m/m]	2,322
Espalhamento do depósito final	[m]	26,00
Altura do depósito final	[m]	12,67
Esfericidade	[m/m]	2,05
Volume deslocado máximo	[%]	100,00
Vazão máxima	[m ³ /s]	365,00

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho cumpriu a proposição de modelagem de perfis de corte em terrenos através do DEM. Os resultados obtidos com a ferramenta de pré-processamento apresentada foram considerados satisfatórios considerando como análise exemplos de geração de corte de superfícies conhecidas tais como é visto na Figura 3. A ferramenta de pós-processamento apresentada também se faz efetiva com a integração da determinação de diversas grandezas de interesse para análises de resultados.

Como continuidade do trabalho, propõe-se estudar novas formas de interpolação aplicadas na determinação no perfil de corte do terreno.

REFERÊNCIAS

Albuquerque, I. F., Silva Filho, J. W. P. da, Vieira, L. C. L. M., Cintra, D. T., Lira, W. W. M., 2014. Análise da influência de parâmetros microscópicos sobre o ângulo estático de repouso em simulações usando o Método dos Elementos Discretos. In: 35st Ibero-Latin American Congress on Computational Methods in Engineering.

Albuquerque, I. F., Silva Filho, J. W. P. da, Vieira, L. C. L. M., Cintra, D. T., Lira, W. W. M., 2013. Contribuição à análise de dados de simulações de corrida de detritos através do Método dos Elementos Discretos. In: I Simpósio de engenharia de petróleo – UFAL.

Cundall, P. A., & Strack, O. D. L., 1979. A discrete numerical model for granular assemblies. *Géotechnique*, pp. 47-65.

Munjiza, A., & Andrews, K. R. F., 1998. Contact detection algorithm for bodies of similar size – NBS. *International Journal For Numerical Methods in Engineering*, pp. 131-149.

Oliveira, J. L. A., Fernandes, R. A., Cintra, D. T., Vieira, L. C. L. M., 2015. Desenvolvimento de ferramentas automáticas para análise de corridas de detritos simulados através do Método dos Elementos Discretos. In: IX Congresso de Engenharia, Ciências e Tecnologia.

PetroDEM. <http://petrodem.lccv.ufal.br/>. Acessado em 14/06/2015.