ISSN: 2594-6153

Desenvolvimento de um Projeto de Bancada para Avaliação Experimental de Drenos Aplicados em Vagões de Minério

Marcelo Augusto Valeriano Bogsan[1], Pedro Henrique Silva de Moraes[1], Murilo Antunes Alves Lucindo[1], Deovaldo de Moraes Junior[1], Vitor da Silva Rosa[1], Felipe Bertelli[1,2].

[1]Universidade Santa Cecília (UNISANTA), Santos-SP, Brasil
[2]Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP), Santos-SP, Brasil

E-mail: mbogsan@gmail.com

Resumo: O transporte de minérios em vagões do tipo gôndola ocorre em diversas ferrovias espalhadas pelo mundo e são um grande desafio para a engenharia ferroviária moderna. O transporte pode ocorrer em regiões onde há períodos chuvosos em boa parte do ano, acarretando uma umidade excessiva dentro dos vagões e até mesmo a formação de água livre aprisionada na superfície da carga, ocasionada pela ineficiência dos sistemas drenagem ao longo da estrutura de armazenamento. Esta água misturada com o minério é um peso desnecessário que aumenta o consumo de diesel na locomotiva, fator que necessita profundos estudos para mitigação. O presente trabalho apresenta a etapa inicial de um projeto de bancada experimental a ser desenvolvida, bem como os resultados iniciais de simulação numérica em elementos finitos (CFD - *Computational Fluid Dynamic*) para configurações distintas de drenos.

Palavras-chave: Drenagem; Bancada Experimental; Simulação Numérica; CFD.

Development of a bench project for experimental evaluation of drains applied in ore wagons

Abstract: The ore transportation in gondola-type wagons takes place on several railways around the world and is a several challenge for modern railway engineering. Transport can occur in regions where there are rainy periods in much of the year, causing excessive humidity inside the wagons and even the formation of free water trapped on the surface of the cargo, caused by the inefficiency of the drainage systems along the storage structure. This water mixed with the ore is an unnecessary weight that increases diesel consumption in the locomotive, a factor that requires deep studies for mitigation. The present work presents the initial stage of an experimental bench project to be developed, as well as the initial results of finite element numerical simulation (CFD - Computational Fluid Dynamic) for different drain configurations.

Keywords: Drainage; Experimental Bench; Numerical Simulation; CFD.

Introdução

Uma das principais tendências na engenharia ferroviária é o aumento da eficiência dos motores das locomotivas para a redução do consumo de combustível. O diesel é principal insumo no transporte ferroviário e as investigações que abordem uma eficiência cada vez maior do seu uso tem atraído a atenção da equipe de engenheiros ferroviários. Por um lado, empresas fabricantes de locomotivas abordam aspectos de controle e automação de sensores

ISSN: 2594-6153

ou até mesmo criação e aprimoramento de locomotivas autônomas. Por outro, a utilização de materiais cada vez mais leves e que suportem o carregamento das cargas de minério são alternativas interessantes para a diminuição do consumo de combustível. Além deste efeito, reduzindo-se o peso do vagão, promove-se uma redução dos desgastes provenientes dos esforços de contato entre rodas e trilhos.

Sabe-se que o carregamento de determinados tipos de insumos em períodos chuvosos do ano agrega um problema complexo de armazenamento de água nos vagões, denominado água livre. Para remover esta adversidade, a instalação de elementos de drenagem proporciona a remoção contínua do excedente de umidade transportada nos insumos. Contudo, é necessário que a abertura das frestas destes elementos esteja devidamente dimensionada para cada morfologia granulométrica transportada, a fim de evitar entupimentos e, consequentemente, paradas para manutenção em oficinas para desentupimento dos drenos [1-3]. A dificuldade de analisar os resultados da eficácia dos drenos nos próprios vagões advém da quantificação imprecisa de algumas variáveis, como intensidade e periodicidade das chuvas, frequência e amplitude de vibrações dos vagões, tipo, granulometria, distribuição e empacotamento do sólido transportado, além da distribuição da umidade. Esta proposta de trabalho engloba o desenvolvimento de uma bancada experimental para avaliação da capacidade de escoamento e tempo de entupimento de drenos, de maneira versátil, e também uma validação numérica utilizando o programa computacional ANSYS acoplado ao pacote Rocky, envolvendo escoamento de partículas e a água simultaneamente [4,5].

Objetivos: O presente trabalho apresenta um método de avaliação da eficiência da drenagem de água de minérios úmidos por meio de drenos poliméricos através de uma proposta de bancada experimental, uma vez que atualmente não há normas que regulem tal avaliação. Além disso, será apresentado a etapa inicial desenvolvida em um modelo bidimensional de simulação numérica CFD para escoamento de água por diferentes geometrias de dreno.

Material e Métodos

No desenvolvimento deste trabalho, foi utilizado o programa computacional *SolidWorks* para a o desenho da bancada, contendo o sistema de fluxo da circulação da água, bem como reservatórios de armazenamento de fluido e acoplamento de drenos para testes.

Para simulação numérica em CFD, uma geometria bidimensional de acordo com a Figura 1, foi utilizada. O volume simulado refere-se ao escoamento de água limpa, sem partículas. As frestas descrevem as aberturas de drenagem da água para que fiquem retidos apenas os insumos minerais transportados. Foram desenvolvidos quatro modelos com largura

de estricção padronizada de 125mm onde são distribuídos 20 canais de passagem com aberturas regulares às variações de 0,6mm, 0,8mm, 1,0mm e 1,2mm.

As simulações executadas se deram pela plataforma *Computer Aided Engineering* (CAE) ANSYS *Fluent*, utilizando o modelo de escoamento multifásico *Volume of flow* (VOF) entre água e ar. Todos os modelos apresentam refino de malha na região das aberturas de drenagem, onde as fronteiras da simulação foram propostas com uma abertura na seção superior e duas na inferior, todas sob atuação de pressão atmosférica como evidenciado na Figura 1. Visando obter uma avalição comparativa direta entre os modelos estudados, adotou-se uma altura de fluido padrão de 75mm acima das passagens de dreno para todos os ensaios, de modo que a abertura de malha seja a única variável entre cada um deles.

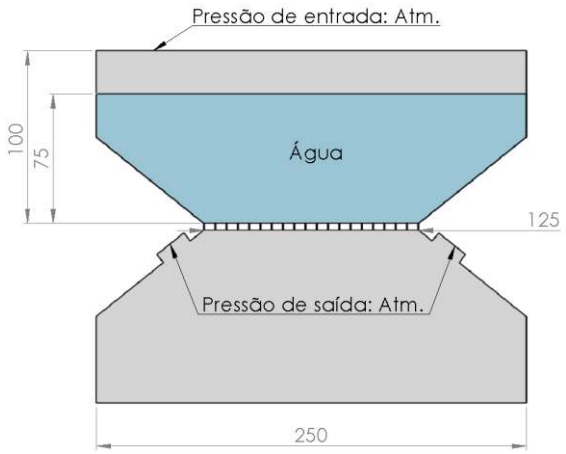


Figura 1 – Modelo padrão para ensaio das diferentes aberturas de drenagem.

Os parâmetros destacados para cálculo dos resultados foram os perfis de velocidade dos fluidos, a fração volumétrica que corresponde a água e a pressão efetiva presente no volume de controle.

Resultados

Na proposta de bancada experimental, a Figura 2 apresenta o detalhamento de cada componente. Um reservatório superior poderá armazenar diferentes volumes de água, a fim de executar tomadas experimentais intermitentes. O distribuidor executa o espalhamento da água, a fim de simular o processo de chuva distribuída sobre o minério. As células de carga servirão para medição do volume de água retido dentro do tanque de prova. Os drenos a serem testados serão acoplados de maneira simples, a fim de facilitar da substituição a cada teste. Estes poderão ter medidas variáveis, de acordo com a proposta industrial a ser verificada. O

tanque de drenagem servirá para separação inicial da água e minério passantes pelo dreno. Já o tanque pulmão fará o retorno da mistura à parte superior da bancada para cada teste de modo intermitente. O duto de ensaio rápido permitirá ensaios acelerados com concentração de soluto (minério) variável, a fim de avaliar o tempo de entupimento.

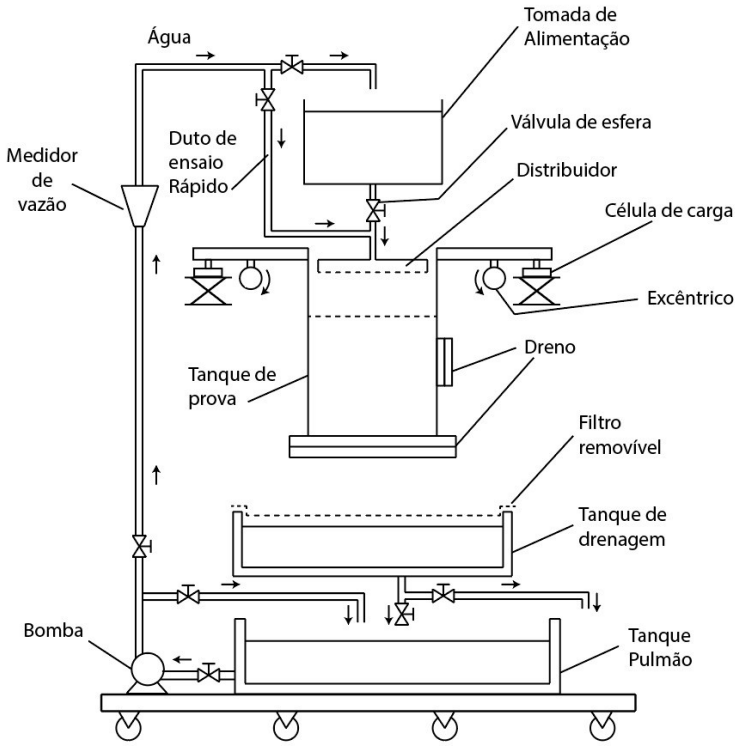


Figura 2 – Bancada experimental para avaliação de drenos empregados em vagões ferroviários.

As tomadas de tempo registradas para escoamento completo do reservatório superior podem ser observadas na Tabela 1.

O resultado da simulação numérica bidimensional é disposto na Figura 3. São apresentados, em todos os casos, o instante referente a 50% da passagem de água para o reservatório inferior.

Tabela 1 - Dados para tempo de esvaziamento do reservatório superior

	Tempo de escoamento de água			
	Malha 0,6mm	Malha 0,8mm	Malha 1,0mm	Malha 1,2mm
Tempo [s]	2,40	1,70	1,30	1,10

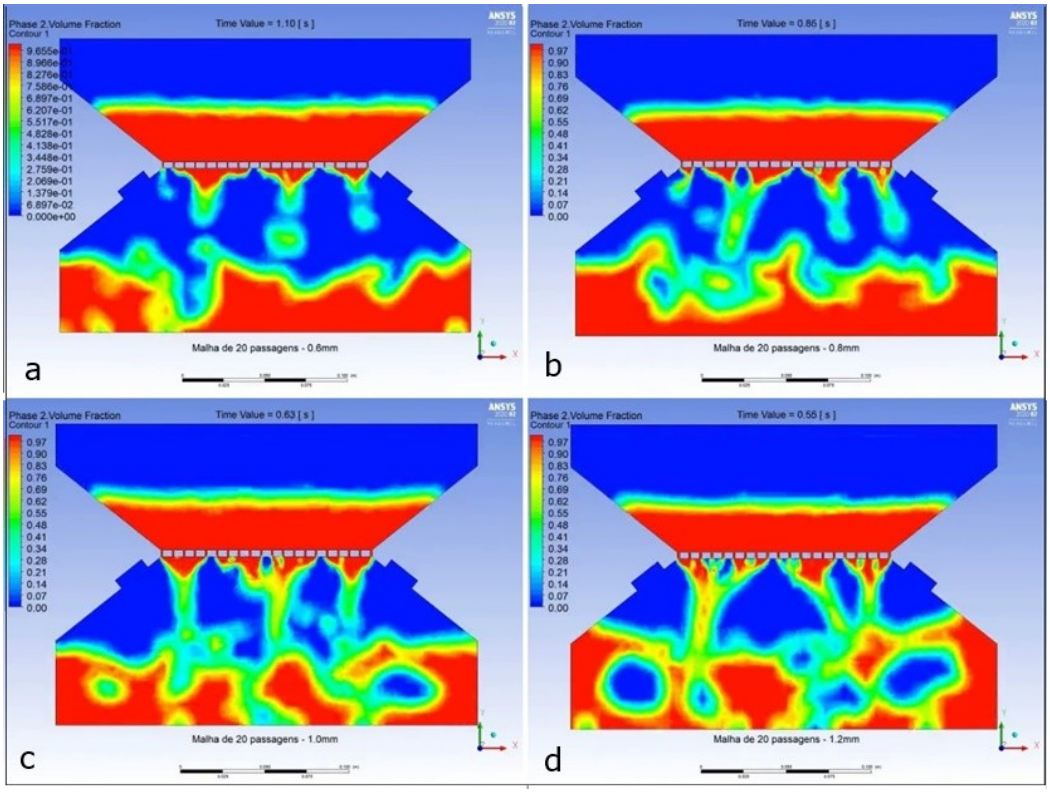


Figura 3 - Perfil de escoamento da água para as malhas: a) 0,6mm; b) 0,8mm; c) 1,0mm e d) 1,2mm.

Discussão

A bancada experimental projetada propõe um esquemático de fluxo interessante e de fácil compreensão, sendo versátil para teste de diferentes insumos que podem ser inseridos no tanque de prova, bem como ponderar a efetividade de escoamento por drenos com configurações de frestas diferentes, o que poderá gerar um método de avaliação preciso, considerando os aparatos de medição a serem inseridos ao longo de cada componente

É possível identificar nos resultados numéricos obtidos por simulação que com o aumento gradual de 0,2mm na abertura de malha, há um decréscimo no tempo de escoamento para um mesmo volume de fluido. Na Figura 2a e Figura 2b, as malhas menores que 1,0mm não apresentam escoamento direto, uma vez que a água primeiramente se aglomera na superfície inferior do dreno e posteriormente escoa em pequenos filetes. Este comportamento começa a se alterar com o aumento da malha, como visto na Figura 2c e Figura 2d. Nos estudos realizados em malhas de 1,0 e 1,2mm o fluido passa a escoar com passagem mais direcionada para o compartimento inferior, de modo a provocar até mesmo um padrão de maior turbulência durante a interação. Ambas as análises são iniciais e contendo apenas o fluido a ser escoado. Em etapa futura, será investigado o acoplamento de partículas de

minério a fim de se verificar como este escoamento será alterado. Esta metodologia é característica do pacote *ANSYS Fluent* e emprego de um módulo denominado Rocky, o qual apresenta interações entre fluido e partículas [5].

Conclusões

Os elementos drenantes são componentes de extrema importância para o setor ferroviário no que diz respeito à drenagem de água livre e diminuição de volume morto em transporte de minério. Este estudo apresentou a idealização da proposta de bancada bem como a primeira etapa das simulações numéricas, não sendo possível concluir se a metodologia é eficiente, apesar da afirmativa com todos os indícios de planejamento. As geometrias simuladas numericamente já são empregadas no setor ferroviário com as configurações de abertura, o que permite quantificar de maneira inicial a tendência no padrão de escoamento antes da inserção de partículas minerais.

Agradecimentos

Esta pesquisa faz parte de um projeto financiado e apoiado pela VALE S.A. em parceria com a Universidade Santa Cecília.

Referências

1. VALE. Estrada de ferro Carajás: o caminho onde passa a nossa riqueza. Disponível em: <http://www.vale.com/brasil/PT/initiatives/
innovation/carajas-railway/Paginas/default.aspx>. Data de acesso: 08 de maio de 2020.
2. USP. Água no solo: características e comportamento. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1389787/mod_resource/content/2
/Apostila%20parte%20II%20-%20%C3%81gua%20no%20Solo.pdf>. Data de acesso: 09 de maio de 2020.
3. QUITES, Noel Aparecido Siqueira. Influência de diferentes tipos de minério de ferro na umidade do sinter feed. 2018.
4. ANSYS18.0. Manual do usuário, 2017.
5. Almeida, E. Estudo exploratório do acoplamento dos softwares rocky / fluent-caso: separação pneumática de frações de bagaço de cana. Tese em Engenharia Química, UNICAMP. 2018