

Projeto de um Canal para Estudo de Transporte de Sedimentos na Mineração

Maria Eduarda Neves Leal¹, Jorge Luis Zegarra Tarqui², Edna Maria de Faria Viana³, Keila Cristina Fernandes de Oliveira Dourado⁴, Francisco Antunes Guimarães Rodrigues⁵, Douglas de Almeida Rodrigues⁶, Guilherme Rodrigues⁷, Cristina da Silva Berreto⁸, Clodoaldo Antonio Jara⁹
& Nicole Beltrame Mandelli de Oliveira¹⁰

Resumo:

Este trabalho apresenta o projeto e a construção parcial de um canal hidráulico para o estudo de transporte de sedimentos em áreas de mineração e seu potencial uso em pesquisa e ensino na graduação e pós-graduação. O equipamento projetado deverá reproduzir, em um ambiente controlado e reduzido, o processo de início de movimento, transporte de sedimento (por suspensão e arraste) e deposição. O trabalho apresenta, as etapas de conceição, fabricação e montagem parcial. Também são apresentados uma estimativa de custos, além de uma proposta de dosador de sedimentos. O canal tem um comprimento de 2905 mm, com espessura de 8 mm, com seção transversal com largura de 140 mm, e altura de 300 mm, complementado por estruturas de entrada e saída projetadas para promover condições adequadas de escoamento, além de ter um suporte estrutural de metal com um sistema de declividade variável. O projeto foi desenhado e modelado em ambiente CAD 2D e 3D, com posterior fabricação de parte das componentes por impressão 3D, utilizando filamento PETG. O sistema hidráulico é composto por uma bomba centrífuga, um medidor de vazão eletromagnético e conexões hidráulicas.

Palavras-Chave: Canal hidráulico; Hidráulica experimental; Aplicações em mineração; Modelagem de escoamento; Impressão 3D

1) Graduanda em Engenharia de Controle e Automação da UFMG, menevesleal@gmail.com

2) Professor Associado do Departamento EHR, UFMG, jlztarqui@yahoo.com.br

3) Professora Titular do Departamento EHR, UFMG, ednamfv@ufmg.br

4) Engenheira, VALE, keila.oliveira@vale.com

5) Engenheiro PROGEN-BH, c0653085@vale.com

6) Engenheiro, VALE, Douglas.Almeida.Rodrigues@vale.com

7) Engenheiro, VALE, Guilherme.Rodrigues1@vale.com

8) Graduanda em Engenharia Civil da UFMG, cristininhasilva20@hotmail.com

9) Graduando em Engenharia Civil da UFMG, clodoaldojarastudent@gmail.com

10) Graduanda Engenharia Ambiental da UFMG, nicolebeltramee@gmail.com

Abstract:

This work presents the design and partial construction of a hydraulic channel for the study of sediment transport in mining areas and its potential use in research and teaching at the undergraduate and graduate levels. The designed equipment should reproduce, in a controlled and reduced environment, the process of incipient motion, sediment transport (by suspended and bedload), and deposition. The work presents the design, fabrication, and partial assembly stages. A cost estimate is also presented, as well as a proposed sediment dosing system. The channel has a length of 2905 mm, a thickness of 8 mm, a cross-section width of 140 mm, and a height of 300 mm, complemented by inlet and outlet structures designed to promote adequate flow conditions, in addition to having a metal structural support with a variable slope system. The project was designed and modeled in a 2D and 3D CAD environment, with subsequent fabrication of some components by 3D printing using PETG filament. The hydraulic system consists of a centrifugal pump, an electromagnetic flow meter, and hydraulic connections.

Keywords: Hydraulic channel; Experimental hydraulics; Mining applications; Flow modeling; 3D printing

INTRODUÇÃO

O transporte de sedimentos em áreas mineração é complexo, pois envolve erosão, transporte e deposição em diferentes espaços da área de estudo. Os processos de erosão e transporte são predominantes nas áreas de pilhas de sedimentos (estéril ou rejeito), o transporte de sedimento é predominante nas vias de acesso, e o processo de deposição é predominante nos reservatórios de retenção denominados “*Sumps*”. Então, o equipamento projetado deverá reproduzir, em um ambiente controlado e reduzido, o processo de início de movimento, transporte de sedimento (por suspensão e arraste) e deposição.

Além da sua aplicação na pesquisa, o equipamento pode ser empregado no ensino de graduação e da pós-graduação. Na graduação o equipamento pode ser empregado para ministrar as aulas de escoamento sobre superfície livre, na disciplina básica de hidráulica (Porto, 2006 e Baptista e Lara, 2002), permitindo realizar experiências de laboratório como: regime de escoamento, determinação de coeficiente de Manning, escoamento gradualmente e bruscamente variado, escoamento em comportas, vetedores, degraus, etc. Na pós-graduação existe uma demanda dos profissionais que atuam no setor de mineração, especificamente no estudo de transporte de sedimentos, então o equipamento permitirá realizar experiências de início de movimento, de capacidade de transporte e de processo de deposição, Julien (2002). Na literatura existente aborda transporte de sedimentos aplicados em sistemas fluviais (Yang, 2003; e Graf, 1984), e existe uma demanda de pesquisa aplicada no estudo de transporte de sedimentos em áreas de mineração, então o desenvolvimento de equipamentos específicos para atender essa demanda é muito relevante.

O artigo descreve a concepção do projeto do canal, o desenho das peças e a construção parcial da estrutura no Centro de Pesquisas Hidráulicas (CPH) da Universidade Federal de Minas Gerais. O

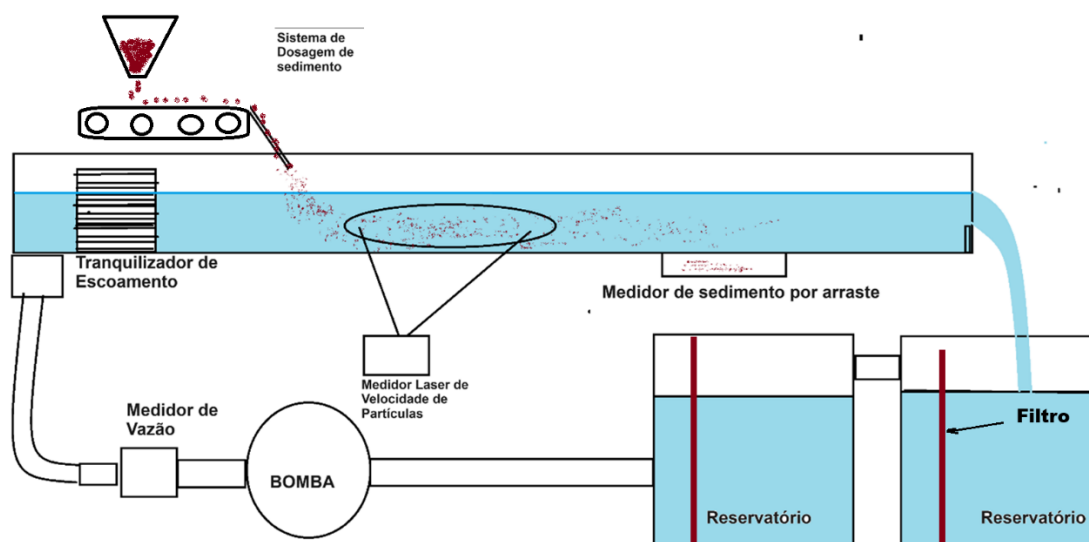
equipamento será empregado especificamente para estudo de transporte de sedimentos em áreas de mineração, mas poderá ser empregado nas aulas de graduação e pós-graduação.

MÉTODOS E RESULTADOS

Projeto do canal

Segundo Muste et al (2017) um canal experimental para estudo de transporte de sedimento é composto por: uma calha, por um sistema de bombeamento, reservatório(s) de armazenamento, um sistema de retenção de sedimento e um sistema dosagem regulado de sedimento. Considerando esta premissa foi feito um desenho inicial do canal, figura 01.

Figura 1: Proposta de canal para estudo de transporte de sedimentos em áreas de mineração

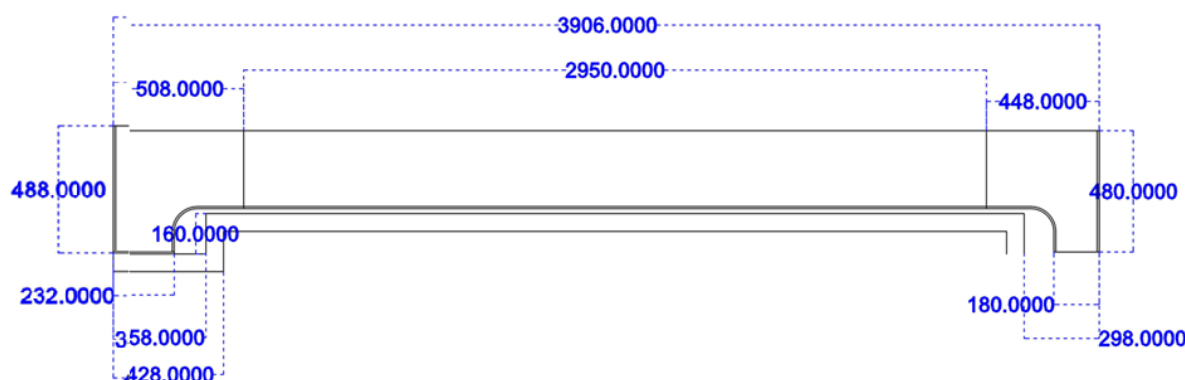


A calha do canal é dividida em três seções principais: entrada, trecho reto (denominada de calha) e saída, projetadas de forma a garantir continuidade geométrica e adequada adaptação do escoamento ao longo do sistema. O trecho reto construído em acrílico, possui um comprimento de 2950 mm, com uma seção transversal interna de 300 mm de altura e 140 mm de largura, e com espessura de parede de 8 mm. As seções de entrada e saída foram projetadas com transições curvas contínuas, com a finalidade de direcionar o escoamento e reduzir a turbulência, especificamente na entrada. De forma geral, o projeto buscou garantir continuidade geométrica entre as seções, evitando descontinuidades abruptas que pudessem induzir instabilidades no escoamento. Os principais aspectos considerados foram: redução de gradientes de velocidade; minimização de regiões de recirculação; e distribuição uniforme do escoamento. Utilizando o software AutoCAD, foi desenvolvido um desenho técnico em 2D contendo todas as dimensões da calha, e essa estrutura foi enviada a uma empresa terceirizada para fabricação.

As estruturas de entrada e saída do canal foram também projetadas em ambiente CAD e desenhadas em 3D. As peças foram produzidas por manufatura aditiva utilizando impressora Creality Ender 5 Max. Durante o processo, foram realizados testes para definição dos parâmetros ideais de

impressão, incluindo: ajuste de temperatura do bico e da mesa; avaliação de diferentes padrões de preenchimento; e testes com diferentes percentuais de infill (os melhores resultados foram obtidos com preenchimento de 100% e padrões monotônico e linear).

Figura 2: Projeto 2D da calha, da estrutura de entrada e da saída em AutoCAD



Após os testes, o processo de fabricação de peças ficou definido como: material empregado PETG; altura de camada de 0,2 mm; preenchimento de 100%; e temperatura de extrusão de 250°C. A utilização de impressão 3D mostrou-se eficiente na produção de peças sob medida, permitindo ajustes durante o processo de desenvolvimento.

Figura 3: Processo de impressão, detalhe da entrada, e acoplamento da calha



A estrutura metálica de suporte do canal foi construída em ferro com solda, com elevada rigidez permitindo estabilidade na calha do canal, figura 05. A calha será fixada à estrutura utilizando suportes de PETG, especificamente projetados para acoplamento com a calha acrílica, tanto na base quanto na lateral da calha que será unida às estruturas de entrada ou saída.. Esses suportes têm como função distribuir as cargas e evitar deformações do material acrílico ao longo do tempo. A estrutura metálica possui um sistema de basculamento manual que permite alterar a declividade da calha.

O sistema de bombeamento hidráulico foi projetado para permitir o controle e a recirculação da água no canal experimental. Os principais componentes incluem: um medidor de vazão eletromagnético Endress+Hauser PROMAG 33F; uma bomba centrífuga da marca WEG, modelo BC-92S R 2 ½ 2T 60 2/3; um inversor de frequência de 3CV da WEB, um ou dois reservatório(s) retangular(es) de água com capacidade de 370 litros; tubulações com diâmetro nominal de 2 polegadas e conexões hidráulicas e mangote flexível. No interior dos reservatórios serão colocadas mantas de geotêxtil com a finalidade de retenção do sedimento e proteção da bomba, detalhe na figura 01.

Figura 4: Medidor de Vazão, bomba hidráulica e reservatório de 307 litros



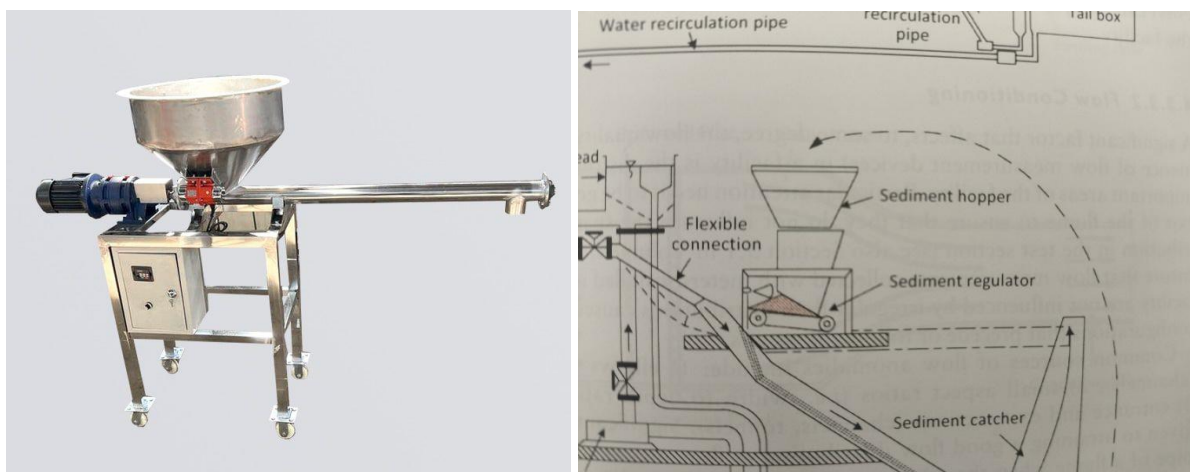
Figura 5: Calha do canal em acrílico e detalhe do suporte metálico



O dosador é um sistema de alimentação controlada que permite despejar o sedimento na calha do canal, a fim de misturá-lo com o escoamento, a alimentação controlada é definida com uma dosagem de maior repetibilidade e precisão nos ensaios experimentais. Uma primeira proposta foi um dosador helicoidal, amplamente utilizado na indústria para dosagem de materiais granulares. No sistema proposto, o sedimento será armazenado em um reservatório e transportado por uma rosca helicoidal até a saída, onde será introduzido no escoamento do canal. O acionamento da rosca será realizado por meio de um motor elétrico com controle de velocidade, permitindo o ajuste da dosagem

do sedimento. No segundo sistema de dosagem proposto, o reservatório em forma de funil é mantido e o material é descarregado em uma esteira transportadora sem fim, que possui um sistema de controle de velocidade para regular a dosagem que cai no escoamento. Em uma etapa posterior, o sistema selecionado poderá ser integrado a sensores, possibilitando a implementação de estratégias de controle automático. A utilização desse dispositivo permitirá a realização de ensaios com maior controle das condições de entrada, sendo aplicável a estudos de transporte de sedimentos, erosão e deposição em canais hidráulicos.

Figura 6: Transportador helicoidal utilizado como referência para o desenvolvimento do sistema de dosagem de sedimentos e Proposta de dosador com faixa sem fim (Muste et al, 2017)



Estimativa de custos

A Tabela 01 a seguir apresenta uma estimativa dos principais custos envolvidos na construção do canal hidráulico.

Tabela 1: Estimativa de custos

Item	Custo aproximado (R\$)
Canal em acrílico	5.000,00
Impressão 3D (filamento PETG)	1.300,00
Impressora 3D	7.500,00
Medidor de vazão	6.000,00
Bomba	2.000,00
Reservatório (370 L)	600,00
Estrutura metálica*	5.000,00
Tubulações, mangueira, acessórios hidráulicos	3.000,00
Inversor de frequência*	6.000,00
Dosador	5.000,00
Total estimado	41.400,00

* Custo estimado incluído mão de obra

Os valores apresentados são estimativas e podem variar conforme fornecedores e condições de aquisição. Ressalta-se que a utilização de manufatura aditiva contribuiu para a redução de custos na fabricação de componentes específicos do projeto. O canal se encontra em fase de montagem, ainda sem realização de ensaios experimentais. Futuras etapas compreendem testes de funcionamento do sistema de bombeamento, construção de uma versão final do dosador de sedimento e testes de funcionamento analisando fenômenos como início de movimento, capacidade de transporte e processo de deposição.

CONCLUSÃO

O projeto de construção de um canal para estudo de transporte de sedimento é viável, permitindo sua aplicação na pesquisa, mas também pode ser usado nas aulas experimentais na graduação e pós-graduação. A combinação de modelagem em CAD e a impressão 3D permite construir estruturas complementares do canal, sobre medida de baixo custo. Um levantamento preliminar de custos sinaliza a viabilidade financeira deste equipamento. O projeto do sistema de dosagem é desafiador tanto do ponto de vista construtivo quanto funcional, pois exige repetibilidade e precisão. Com a continuidade dos trabalhos, está previsto realizar testes experimentais para validar o desempenho do canal no estudo do transporte de sedimentos e, posteriormente, definir um plano operacional e uma melhor definição da multifuncionalidade do equipamento, visando a pesquisa e o ensino.

AGRADECIMENTOS

Os autores manifestam seus agradecimentos à UFMG e à VALE pelo suporte financeiro para realização desse trabalho

REFERÊNCIAS

BAPTISTA, M & LARA M. (2002). Fundamentos da Engenharia Hidráulica. Belo Horizonte: UFMG, 440 p.

CREALITY CLOUD. (s.d.). *Creality filament print settings*. Disponível em: <https://www.crealitycloud.com/pt/help-center/creality-filament-print-settings>.

CREALITY CLOUD. (s.d.). *Creality print quick start guide*. Disponível em: <https://www.crealitycloud.com/pt/help-center/creality-print-quick-start-guide>.

GRAF, W. H. (1984). *Hydraulics of Sediment Transport*. Water Resources Publications, LLC: Colorado, USA.

JULIEN, P. Y. (2010). *Erosion and Sedimentation*. Cambridge University Press.

JUSTDIAL. (s.d.). 500 Kg Screw Conveyor – Udaipur, Rajasthan. Disponível em: <https://www.justdial.com/jdmart/Udaipur-Rajasthan/500-kg-Screw-Conveyor/pid-803344668/9999PX294-X294-140115094602-S3Q8>.

MUSTE, M.; LYN, D. A.; ADMIRAAL, D. M.; ETTTEMA, R.; NIKORA, V. e GARCIA, M. H. (2017). Experimental Hydraulics: Methods, Instrumentation Data Processing and Management. IAHR MONOGRAPH, Taylor and Francis Grup, London.

PORTO, R. de M. (2006). *Hidráulica Básica*. 4. ed. São Carlos: EESC-USP, 540 p.

YANG, C. T. (2003). *Sediment Transport: Theory and Practice*. Krieger Pub., 396 p.