



As **engenharias** agregando conhecimento em setores emergentes de **pesquisa e desenvolvimento 2**

Henrique Ajuz Holzmann
(Organizador)

Atena
Editora
Ano 2022



As engenharias agregando conhecimento em setores emergentes de pesquisa e desenvolvimento 2

Henrique Ajuz Holzmann
(Organizador)

Atena
Editora
Ano 2022

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Gabriel Motomu Teshima

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição-Não-Comercial-Não-Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial**Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná



Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



As engenharias agregando conhecimento em setores emergentes de pesquisa e desenvolvimento 2

Diagramação: Daphynny Pamplona
Correção: Mariane Aparecida Freitas
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizador: Henrique Ajuz Holzmann

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 As engenharias agregando conhecimento em setores emergentes de pesquisa e desenvolvimento 2 / Organizador Henrique Ajuz Holzmann. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-0141-4

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.414222104>

1. Engenharia. I. Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). II. Título.

CDD 620

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br



Atena
Editora
Ano 2022

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



APRESENTAÇÃO

Na sociedade atual, onde cada vez mais se necessita de informações rápidas e eficientes, o repasse de tecnologias é uma das formas mais eficazes de se obter novas tendências mundiais. Neste cenário destaca-se as engenharias, as quais são um dos principais pilares para o setor empresarial. Analisar os campos de atuação, bem como pontos de inserção e melhoria dessa área é de grande importância, buscando desenvolver novos métodos e ferramentas para melhoria contínua de processos.

Estudar temas relacionados a engenharia é de grande importância, pois desta maneira pode-se aprimorar os conceitos e aplicar os mesmos de maneira mais eficaz. O aumento no interesse se dá principalmente pela escassez de matérias primas, a necessidade de novos materiais que possuam melhores características físicas e químicas e a necessidade de reaproveitamento dos resíduos em geral. Além disso a busca pela otimização no desenvolvimento de projetos, leva cada vez mais a simulação de processos, buscando uma redução de custos e de tempo.

Neste livro são apresentados trabalho teóricos e práticos, relacionados a área de engenharia, dando um panorama dos assuntos em pesquisa atualmente. De abordagem objetiva, a obra se mostra de grande relevância para graduandos, alunos de pós-graduação, docentes e profissionais, apresentando temáticas e metodologias diversificadas, em situações reais. Sendo hoje que utilizar dos conhecimentos científicos de uma maneira eficaz e eficiente é um dos desafios dos novos engenheiros.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1


MINIATURIZAÇÃO DE UM ARRANJO LOG-PERÍODICO QUASE-FRACTAL DE ANTENAS DE MICROFITA PARA APLICAÇÕES EM REDES DE COMUNICAÇÃO SEM FIO NA FAIXA DE 2,44 GHZ

Elder Eldervitch Carneiro de Oliveira

Pedro Carlos de Assis Júnior

Vinícius Nunes de Queiroz

Marcos Lucena Rodrigues

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4142221041>

CAPÍTULO 2..... 14

A NORMATIZAÇÃO COMO MEIO DE INCENTIVO A DISSEMINAÇÃO DAS MICRORREDES ATRAVÉS DE POLÍTICA DE IMPOSTO E TARIFAÇÃO

Kelda Aparecida Godói dos Santos


Pedro André Zago Nunes de Souza

André Nunes de Souza

Haroldo Luiz Moretti do Amaral

Fábio de Oliveira Carvalho

Pedro da Costa Junior

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4142221042>

CAPÍTULO 3..... 27


ESTUDO DO CONSUMO RESIDENCIAL DE ÁGUA VIA IOT EM RESERVATÓRIO COM CONTROLE DE NÍVEL AUTOMATIZADO

Eduardo Manprin Silva

Luís Miguel Amâncio Ribeiro

Selton de Jesus Silva da Hora

Rogério Luis Spagnolo da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4142221043>

CAPÍTULO 4..... 34

SISTEMA SUPERVISÓRIO E CONTROLE MIMO ATRAVÉS DE LÓGICA

Márcio Mendonça

Gilberto Mitsuo Suzuki Trancolin

Marta Rúbia Pereira dos Santos

Carlos Alberto Paschoalino

Marco Antônio Ferreira Finocchio

Francisco de Assis Scannavino Junior

José Augusto Fabri


Edson Hideki Koroishi

André Luís Shiguemoto

Celso Alves Corrêa

Kazuyochi Ota Junior

Odair Aquino Campos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4142221044>

CAPÍTULO 5.....50

EMPILHADEIRA AUTOMÁTICA

Camila Baleiro Okado Tamashiro


Edison Hernandez Belon

Gabriel Pucharelli Molina

Filipe Cortez

Joao Victor de Elmos da Silva


Joao Vitor da Silva Santana

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4142221045>

CAPÍTULO 6.....53

INTENSIVE RAINFALLS AND IONIZING RADIATION MEASUREMENTS IN FEBRUARY 2020 IN SÃO JOSÉ DOS CAMPOS BRAZIL REGION

Inacio Malmonge Martin

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4142221046>

CAPÍTULO 7.....62

ANÁLISE DE FALHA DE QUEBRA DE MANCAL SNH517 EM FERRO FUNDIDO CINZENTO EN GJL-200 (EN 1561) EM REGIME DE TRABALHO


Cristofer Vila Nova Fontes

Marcelo Bergamini de Carvalho

João Mauricio Godoy

Sérgio Roberto Montoro

Amir Rivaroli Junior

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4142221047>

CAPÍTULO 8.....71

PULSE TRANSIT TIME DETECTS CHANGES IN BLOOD PRESSURE IN RESPONSE TO GALVANIC VESTIBULAR STIMULATION AND POSTURE


Adriana Pliego Carrillo

Rosario Vega

Daniel Enrique Fernández García

Claudia Ivette Ledesma Ramírez

Enrique Soto

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4142221048>


CAPÍTULO 9.....78

EVIDENCIA INICIAL DE LAS ACCIONES DE ADAPTACIÓN DE EMPRESAS COLOMBIANAS A LA PANDEMIA CAUSADA POR EL SARS-COV2

Lucas Adolfo Giraldo-Ríos

Jenny Marcela Sanchez-Torres

Diana Marcela Cardona Román

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4142221049>

CAPÍTULO 10.....85

AVALIAÇÃO DO CONFORTO HUMANO DE PISOS MISTOS (AÇO-CONCRETO)


SUBMETIDOS A CARGAS DINÂMICAS RÍTMICAS

Elisângela Arêas Richter dos Santos

Karina Macedo Carvalho

Miguel Henrique de Oliveira Costa

José Guilherme Santos da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.41422210410>

CAPÍTULO 11..... 100

PANORAMA DAS POLÍTICAS DE PARCERIAS PÚBLICO-PRIVADAS (PPP'S) EM AEROPORTOS BRASILEIROS

Débora Comin Dal Pozzo

Caroline Miola

Humberto Anselmo da Silva Fayal


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.41422210411>

CAPÍTULO 12..... 112

ENCERRAMENTO DE ATIVIDADE INDUSTRIAL: DIRETRIZES PARA DESENVOLVIMENTO DE PLANOS DE DESATIVAÇÃO

Loiva Zukovski

Marlene Guevara dos Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.41422210412>

CAPÍTULO 13..... 125

USO DE INDICADORES SOCIOAMBIENTAIS PARA ANÁLISE DOS IMPACTOS DO USO PÚBLICO NO PARQUE NACIONAL DO PAU BRASIL, PORTO SEGURO - BA

Bianca Rocha Martins

Michele Barros de Deus Chuquel da Silva

Gabriela Narezi

Valter Antonio Becegato

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.41422210413>

CAPÍTULO 14..... 138

AVALIAÇÃO DE NÍVEL DE MATURIDADE DE CULTURA DE SEGURANÇA EM ORGANIZAÇÃO DO TERCEIRO SETOR

Rodrigo Ferreira de Azevedo

Gilson Brito Alves de Lima

Licínio Esmeraldo da Silva


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.41422210414>

CAPÍTULO 15..... 152

THE EVOLUTION OF REGULATION OF THE AIR NAVIGATION ACTIVITY IN BRAZIL

Marcus Vinicius do Amaral Gurgel


Jefferson Luis Ferreira Martins

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.41422210415>

CAPÍTULO 16..... 169

ESTUDO DE *BACKGROUND* GEOQUÍMICO ambiental em ÁREA DE INFLUÊNCIA DIRETA (aid) DA MINERAÇÃO


Flávio de Moraes Vasconcelos
Gabriel Melzer Aquino
Nathália Augusta Ferreira Sales Coutinho
João Santiago Reis

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.41422210416>

CAPÍTULO 17..... 183

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE DRENAGEM ÁCIDA E LIXIVIAÇÃO DE METAIS EM PILHAS DE ESTÉRIL E BARRAGEM DE REJEITOS DE MINERAÇÃO

Nathália Augusta Ferreira Sales Coutinho
Flávio de Moraes Vasconcelos
Hairton Costa Ferreira
Marcos Rogério Palma
Denner Dias Ribeiro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.41422210417>

CAPÍTULO 18..... 197

ESTUDO DE TRATABILIDADE DA ÁGUA DA CAVA DA MINERAÇÃO RIACHO DOS MACHADOS PARA DESCARTE DO EFLUENTE


Flávio de Moraes Vasconcelos
Nathália Augusta Ferreira Sales Coutinho
Igo de Souza Tavares
Ernesto Machado Coelho Filho
Luiz Lourenço Fregadolli

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.41422210418>

CAPÍTULO 19..... 204

MEDIÇÃO DE DESCARGA LÍQUIDA: MÉTODO DO MOLINETE NA BACIA DO RIO JI-PARANÁ (RONDÔNIA)

Renato Billia de Miranda
Frederico Fábio Mauad
Denise Parizotto


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.41422210419>

CAPÍTULO 20..... 218

APLICAÇÃO DE MATRIZ FILTRANTE DESFLUORETADORA, COMPOSTA POR SISTEMA CÉRIA/CARVÃO ATIVADO DE COCO (*Coccus nucifera* L.), EM ÁGUAS COMPLEXAS DO SEMIÁRIDO PARAIBANO

Carlos Christiano Lima dos Santos
Poliana Sousa Epaminondas Lima
João Jarllys Nóbrega de Souza
Tainá Souza Silva
Rodrigo Lira de Oliveira
Carlo Reillen Lima Martins


Ilauro de Souza Lima
Ana Sabrina Barbosa Machado
Maria Soraya Pereira Franco Adriano
Alexandre Almeida Júnior
Isabela Albuquerque Passos Farias
Fabio Correia Sampaio

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.41422210420>

CAPÍTULO 21.....233

RESPONSIBLE MANAGEMENT OF XANTHATES TO ENSURE THE SUSTAINABILITY OF MINING INDUSTRIES IN LATIN AMERICA


Maria Andrea Atusparia Cierro
Fredy Castillejo
Gloria Valdivia
María Atusparia

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.41422210421>

CAPÍTULO 22.....251

COBERTURA DE PILHA DE ESTÉRIL EM CLIMAS SEMI-ÁRIDOS


Flávio de Moraes Vasconcelos
Nathália Augusta Ferreira Sales Coutinho
Michael Milczarek
Rodrigo Dhryell Santos
Luiz Lourenço Fregadolli

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.41422210422>

CAPÍTULO 23.....258

SÍNTESE E QUEBRA DE EMULSÃO ÓLEO EM ÁGUA (O/A) VIA AQUECIMENTO E ADITIVAÇÃO COM NONILFENOL POLIETOXILADO

Heithor Syro Anacleto de Almeida
Geraldine Angélica Silva da Nóbrega
Diego Ângelo de Araújo Gomes
Rafael Stefano Costa Mallak,
Francisco Klebson Gomes dos Santos
Alyane Nataska Fontes Viana


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.41422210423>

CAPÍTULO 24.....268

DESESTABILIZAÇÃO DE EMULSÃO (O/A) DO PETRÓLEO BRUTO UTILIZANDO ÁLCOOL LAURÍLICO ETOXILADO ALIADO A VARIAÇÃO DA TEMPERATURA

Rafael Stefano Costa Mallak
Heithor Syro Anacleto de Almeida,
Geraldine Angélica Silva da Nóbrega
Francisco Klebson Gomes dos Santos
Alyane Nataska Fontes Viana
Diego Angelo de Araujo Gomes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.41422210424>

CAPÍTULO 25.....	280
ESTUDIO PARA EVITAR LA CONTAMINACIÓN POR MEDIO DE LA COMBUSTIÓN DEL GAS METANOS IN REALIZAR UNA RECUPERACIÓN ENERGÉTICA Vilma Del Mar Amaya Gutiérrez  https://doi.org/10.22533/at.ed.41422210425	
SOBRE O ORGANIZADOR.....	285
ÍNDICE REMISSIVO.....	286

COBERTURA DE PILHA DE ESTÉRIL EM CLIMAS SEMI-ÁRIDOS

Data de aceite: 01/02/2022

Data da submissão: 05/03/2022

Flávio de Moraes Vasconcelos

Hidrogeo Engenharia e Gestão de Projetos
Belo Horizonte – MG
<http://lattes.cnpq.br/1482366665858095>

Nathália Augusta Ferreira Sales Coutinho

Hidrogeo Engenharia e Gestão de Projetos
Belo Horizonte – MG
<http://lattes.cnpq.br/0842775933272753>

Michael Milczarek

GeoSystem Analysis, Inc.
Tucson, Arizona, Estados Unidos

Rodrigo Dhryell Santos

Equinox Gold - Mineração Riacho dos
Machados
Riacho dos Machados - MG

Luiz Lourenço Fregadolli

Equinox Gold - Mineração Riacho dos
Machados
Riacho dos Machados - MG

RESUMO: Cobertura de pilha de estéril é uma das estratégias mais eficazes para a redução da geração de acidez e da solubilização de metais em unidades de mineração de minério sulfetado. Contudo, esse tipo de projeto deve ser desenvolvido considerando as características do meio físico local (clima, solo e vegetação) e com objetivos específicos determinados desde o início das atividades. O presente trabalho apresenta a

concepção de um projeto de cobertura de pilha de estéril em uma mineração de ouro no norte de Minas Gerais, onde é uma região de clima semi-árido e de vegetação também específica para este clima. O projeto aqui apresentado faz parte do plano de fechamento de mina que a mineração está desenvolvendo para esta unidade.

PALAVRAS-CHAVE: Cobertura de Pilha de Estéril, Drenagem Ácida de Mina, Reabilitação de Áreas Degradadas.

WASTE CELLS COVER IN SEMI-ARID CLIMATE

ABSTRACT: Overburden mine waste pile capping is one of the most effective strategies for reducing acid generation and metal solubilization in sulphide ore mining facilities. However, this type of project must be developed considering the characteristics of the local physical environment (climate, soil, and vegetation) and with specific objectives determined from the beginning of the work. The present work presents the conception of a waste pile cover project in a gold mining operation located in the north of Minas Gerais State, a region with a semi-arid climate and vegetation that is also specific for this climate. The project presented here is part of the mine closure plan that this mining is developing for this unit.

KEYWORDS: Waste cells Cover, Acid Mine Drainage, Rehabilitation of Degraded Areas.

1 | INTRODUÇÃO

A Mineração Riacho dos Machados

(MRDM) se localiza entre os municípios de Riacho dos Machados e Porteirinha, ao norte do Estado de Minas Gerais, cerca de 580 km de Belo Horizonte.

A lavra da jazida, formada principalmente por rocha quartzo-muscovita-xisto, envolve a disposição em pilha de materiais sulfetados, com predominância de arsenopirita (FeAsS_2). Existem três tipos de materiais que são depositados em pilha: estéril FRANCO, estéril PROXIMAL e minério de BAIXO TEOR.

A área das pilhas de estéril proximal e minério de baixo teor possui sua fundação impermeabilizada com uma camada de 30 cm de material argilo-siltoso compactado, visto que a área seria destinada ao recebimento de material com teores de sulfetos com possível potencial para geração de drenagem ácida.

Em 2010, a fim de certificar esse potencial de reatividade de todos os materiais envolvidos, incluindo a avaliação do estéril Franco, a empresa iniciou o processo de investigação geoquímica. Os resultados obtidos nesse processo indicaram a reatividade dos materiais movimentados, sendo possível o desenvolvimento de um quadro de geração de drenagem ácida e/ou lixiviação de metais nas pilhas em operação. A drenagem ácida de mina (DAM) é gerada a partir do contato do mineral sulfetado com a água e com o ar, predispondo-o à oxidação do íon sulfeto em sulfato.

Os métodos normalmente aplicados para controle de geração de drenagem ácida e dos seus efeitos assumem caráter de prevenção e/ou remediação.

Uma das alternativas de prevenção amplamente empregada consiste na implantação de um sistema de cobertura sobre o material sulfetado, empregando-se camadas de solo, materiais sintéticos ou através de uma disposição controlada. A fim de garantir a estabilidade química do meio, essa solução visa controlar principalmente o contato do material com a água, agente lixiviante dos minerais presentes, responsável por produzir um percolado rico em metais dissolvidos e ácido sulfúrico.

De um modo geral, são as características de cada ambiente, como potencial de geração de acidez do material, topografia, clima, e a disponibilidade de recursos técnicos e financeiros que determinarão a melhor alternativa a ser utilizada.

2 | OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é apresentar os aspectos fundamentais de uma modelagem conceitual e numérica para o desenvolvimento de um trabalho de cobertura de pilhas em climas semi-áridos, visando a inibição da oxidação dos sulfetos presente no material estocado.

Para que os objetivos sejam atingidos, foram considerados três cenários de fechamento da estrutura, visando a eficácia da redução da infiltração de água nas drenagens da pilha de estéril. Os cenários foram tais que:

A. Sem cobertura: exposição direta do material estéril Franco à atmosfera;

- B. 30 cm de um solo de baixa permeabilidade (barreira hidráulica) sobre o material Franco e 30 cm de uma cobertura limpa de solo superficial sobre a barreira hidráulica;
- C. Utilização de solo local com alta permeabilidade e apropriado para o plantio.

3 | METODOLOGIA

3.1 Definição dos aspectos gerais da modelagem de cobertura de pilha

As características que definem o desempenho de um sistema de cobertura se dividem entre as propriedades de percolação e de estabilidade/integridade do(s) solo(s) empregado(s). Segundo ALBRECHT & BENSON (2001), a eficiência de um sistema de cobertura depende do material com o qual é construído, de suas propriedades físicas e hidráulicas (condutividade hidráulica e capacidade de retenção de umidade), da integridade da cobertura no longo prazo, do clima ao qual estará sujeita e da natureza e tipo da cobertura vegetal.

Os sistemas de cobertura com solo podem ser divididos em dois tipos: convencionais (ou prescritivos) e alternativos (ou evapotranspirativos).

As coberturas prescritivas consistem em camadas de solo com baixa condutividade hidráulica, a fim de minimizar a infiltração e maximizar o escoamento superficial e a evapotranspiração. Os componentes básicos da cobertura prescritiva são uma camada de solo apropriado para o plantio e uma camada (barreira) executada com solo compactado de baixa condutividade hidráulica, sobre o resíduo. A vegetação, nesses casos, tem, por objetivos: aumentar a remoção de água do sistema por evapotranspiração; e garantir a integridade da camada de cobertura, protegendo-a dos efeitos de ressecamento e dos processos erosivos. A barreira, como o próprio nome sugere, visa minimizar a passagem de percolado e ar pelo perfil de solo.

As coberturas evapotranspirativas, por sua vez, são formadas por uma camada de solo apropriado para o plantio, sobreposta a uma camada de solo pouco compactado, cuja função é armazenar a água que infiltra durante os períodos chuvosos, liberando-a durante os períodos de seca.

3.2 Cenários avaliados

Os cenários avaliados neste estudo contemplam:

Cenário 1: pilha sem cobertura, sendo o estéril depositado de forma controlada (realização da segregação dos materiais);

Cenário 2: implantação de cobertura prescritiva, a partir da utilização de uma camada de barreira hidráulica convencional. Além da barreira hidráulica, considerou-se ainda a existência de uma camada de material granular (estéril limpo) no topo do sistema de cobertura;

Cenário 3: foi definido um modelo conceitual de cobertura evapotranspirativa com uma camada de solo apropriado para o plantio, sobreposta a uma camada de solo pouco compactado, cuja função é armazenar a água que infiltra durante os períodos chuvosos, liberando-a durante os períodos de seca.

3.3 Modelagem numérica

Parâmetros considerados na modelagem

A modelagem numérica computacional dos Cenários 1 e 2 foi realizada utilizando o VADOSE/W, software do pacote GeoStudio 2012 (GEOSLOPE, 2021), que, a partir de parâmetros climáticos, de vegetação e geotécnicos, analisa numericamente sistemas de fluxo líquido em meios porosos.

Os parâmetros climáticos, a saber, precipitação, radiação, umidade relativa, temperatura máxima e mínima e velocidade do vento, foram obtidos no Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) do INMET (2021) para a estação convencional JANAÚBA (Código 83395), mais próxima à mina. Os dados utilizados nas simulações referem-se àqueles observados no ano em que a precipitação atingiu o maior valor, 1992.

Os parâmetros geotécnicos dos materiais (estéril, fundação e materiais de cobertura) foram, em grande parte, estimados. Para a fundação e o estéril, foram empregados parâmetros apresentados no Projeto Detalhado da Pilha de Estéril (HIDROGEO ENGENHARIA E GESTÃO DE PROJETOS, 2021).

Nas simulações, optou-se por não considerar os dados de vegetação, uma vez que a inserção de espécies vegetais potencializa o fenômeno de evapotranspiração, responsável pela retirada de água do solo.

Seção de análise

A análise numérica da aplicação do sistema de cobertura na pilha de estéril Franco da MRDM foi realizada empregando-se modelo unidimensional.

A simulação 1D, por se tratar de um modelo mais simplificado que exige um menor tempo de resposta, foi empregada para a avaliação das condições de fluxo d'água nas porções mais baixas da pilha.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Definição dos aspectos gerais da modelagem e cenários avaliados

O primeiro cenário avaliado, e modelado em software apropriado, foi o comportamento da pilha com a realização de uma disposição controlada, confinando o material sulfetado no interior da massa de estéril.

O segundo cenário avaliado, e modelado em software, representa o tipo de cobertura

prescritiva, camadas de solo com baixa condutividade hidráulica.

O terceiro cenário avaliado conceitualmente, representa o tipo de cobertura evapotranspirativa, que é formado por uma camada de solo apropriado para o plantio, sobreposta a uma camada de solo pouco compactado.

4.2 Software de modelagem

Parametrização do material

As propriedades dos materiais da pilha, bem como o material a ser usado na cobertura foram avaliados.

Estéril Franco: as propriedades do material para o estéril Franco foram estimadas a partir de medições dos tamanhos de partícula D_{60} e D_{10} (0,5 mm e 0,022 mm, respectivamente). Esses tamanhos de partículas indicam que o estéril Franco é uma areia fina. A curva característica da umidade do solo (SWCC) para o estéril Franco parece representativa de um material semelhante a areia, mas a condutividade hidráulica saturada atribuída ($K_{sat} = 2 \times 10^{-5}$ cm/s) está na extremidade inferior e pode ser subestimada por uma ou mais ordens de magnitude.

Barreira Hidráulica: à camada de baixa permeabilidade (barreira hidráulica) no Cenário 2 foi atribuído um valor K_{sat} de $1,15 \times 10^{-6}$ cm/s. Esse valor é razoável para um material de argila; no entanto, a estação seca prolongada na região e o potencial que a vegetação estabelecerá na cobertura significam que podem ocorrer rachaduras por dessecação e penetração da raiz. Esses fatores ambientais podem levar ao desenvolvimento do caminho de fluxo preferencial e efetivamente a um K_{sat} muito mais alto conforme o sistema de cobertura amadurece (BENSON & KHIRE, 1995).

Fundação: o material de fundação é definido como um granito-gnaisse residual, mas de outra forma não é caracterizado. O K_{sat} e o θ_{sat} atribuídos à fundação são representativos de um solo de granulação fina; no entanto, o valor de θ_{res} sugere uma rocha fraturada.

A curva de retenção de água e a função condutividade hidráulica de cada um dos materiais considerados na modelagem encontram-se na Tabela 1.

Material	k_{sat} (cm/s)	k_{sat} (m/ dia)	θ_{sat}	θ_{res}	D_{10} (mm)	D_{60} (mm)	LL (%)
Barreira Hidráulica	$1,15 \times 10^{-6}$	$9,94 \times 10^{-4}$	0,320	0,01	-	-	-
Estéril	$2,00 \times 10^{-5}$	$1,73 \times 10^{-2}$	0,450	-	0,022	0,5	20
Fundação (residual granito-gnaisse)	$1,00 \times 10^{-5}$	$8,64 \times 10^{-3}$	0,489	-	-	-	-

Tabela 1: Parâmetros geotécnicos dos materiais.

Como condição à avaliação dos sistemas de cobertura, foi atribuído um valor de sucção inicial aos materiais analisados, conforme segue: barreira hidráulica: -20 kPa; estéril: -10 kPa; e material de fundação (solo residual): -20kPa.

Resultados da modelagem

Os resultados indicados por um sistema de modelagem estão estritamente relacionados aos dados de entrada com os quais o *software* foi alimentado. Quanto maior a representatividade e confiabilidade dos dados de entrada, maior a realidade em torno das respostas obtidas.

As Tabelas 2 e 3 apresentam os valores acumulados das parcelas de precipitação, escoamento superficial, evaporação e infiltração, frente às condições avaliadas no Cenário 1, ao longo de 365 dias.

Tempo (Dias)	Precipitação Acumulada (m ³)	Run off Acumulado (m ³)	Evaporação Acumulada (m ³)	Infiltração Acumulada (m ³)
365	1,315	0,606	0,408	0,301

Tabela 2: Cenário 1 - Valores acumulados das parcelas do balanço hídrico.

Tempo (Dias)	Precipitação Acumulada (m ³)	Run off Acumulado (m ³)	Evaporação Acumulada (m ³)	Infiltração Acumulada (m ³)
365	1,315	0,876	0,386	0,052

Tabela 3: Cenário 2 - Valores acumulados das parcelas do balanço hídrico.

Cenário 3

O cenário 3 não foi modelado no software, porém, avaliado conceitualmente. A área de estudo encontra-se em uma zona semiárida. Contudo, observa-se a presença de vegetação em todo o entorno da pilha, fato este que demonstra a necessidade de considerar no design de cobertura de pilha a opção de uma cobertura do tipo evapotranspirativa. Em uma próxima etapa deste estudo essa opção será detalhada.

5 | CONCLUSÃO

Os dados apresentados permitem concluir sobre a eficácia na redução da taxa de infiltração de água na pilha, em razão da implantação do sistema de cobertura, empregando-se solo argiloso com baixa permeabilidade. Comparativamente, o volume de água infiltrado no Cenário 2 foi cerca de 83% menor do que aquele infiltrado no Cenário 1. A avaliação dos dados climáticos da região permitiu conhecer a ocorrência de solos apropriados para

plântio, usados em uma cobertura evapotranspirativa. Cabe destacar que as conclusões acerca da modelagem aqui realizada são válidas para as condições simuladas a partir dos parâmetros de entrada utilizados.

REFERÊNCIAS

ALBRECHT, B. A.; BENSON, C. H. Effect of Dessication on Compacted Natural Clays. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**. January, 2001. pp. 67 - 75.

BENSON, C. H.; KHIRE, M. V. Earthen Covers for Semiarid and Arid Climates, Landfill Closures – Environmental Protection and Land Recovery. **ASCE, Geotechnical Special Publication**, n. 53. New York, NY, 1995. p. 201-217.

GEOSLOPE, Calgary, CA. Disponível em: <<https://www.geoslope.com/geo-slope-home/moduleid/765/itemid/10/mct/eventdetails>>. Acesso em : nov. 2021.

HIDROGEO ENGENHARIA E GESTÃO DE PROJETOS. **Revisão da Modelagem do Sistema de Cobertura para Pilha de Estéril Franco**. Belo Horizonte, MG. 2021.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <<https://bdmep.inmet.gov.br>>. Acesso em: nov. 2021.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Ações humanas rítmicas 85, 87, 98

Aeroporto 100, 103, 104, 106, 107, 108, 110

Água 15, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 103, 115, 122, 124, 169, 170, 171, 172, 174, 180, 181, 184, 194, 195, 197, 198, 199, 202, 203, 204, 205, 208, 209, 210, 216, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 229, 230, 231, 252, 253, 254, 255, 256, 258, 259, 260, 261, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 268, 269, 270, 271, 274, 275, 276, 277, 279

Análise de conforto humano 85, 97

Análise de vibração 62, 63, 64, 65, 66, 98

Áreas contaminadas 112, 114, 115, 116, 117, 120, 122, 123, 124, 170, 181

B

Background geoquímico 169, 170, 171, 172, 173, 176, 178, 180, 181, 182

Banho termostático 258, 259, 262, 269, 274

C

Cobertura de pilha de estéril 251

Comunicação sem fio 1

Concessões 100, 108, 109, 110, 135

Consumo de água 27, 28, 29, 30, 32, 220

Controle de nível 27, 28, 29, 30, 31

Controle Fuzzy-PID 35

Cultura 27, 61, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 146, 148, 149, 150, 151, 168, 232

Curva de koch 1

D

Desativação de atividades 112

Desativação De Atividades 112, 113, 119

Descarte emergencial 197, 198

Desemulsificação 258, 259, 266

Desestabilização da emulsão 269, 273

Desfluoretação 219

Drenagem ácida de mina 184, 252

E

Emulsão O/A 258, 259, 269

Energias renováveis 14, 15, 16, 17, 20, 232

F

Fermentação alcoólica 35, 36, 39, 41, 44, 48

Ferro fundido cinzento 62, 64

Fluorose 219, 220

I

IoT 2, 27, 28, 29, 33

L

Lixiviação de metais 183, 185, 186, 187, 193, 194, 195, 252

M

Mancal 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70

Maturidade 138, 139, 142, 143, 144, 146, 147, 148, 149, 150

Medição de grandes rios 204

Método do molinete 204, 205, 215

Microrredes 14, 15, 21, 23, 24

Mineração de ouro 197, 251

N

Normas 13, 24, 79, 97, 98, 102, 105, 112, 113, 115, 116, 117, 119, 122, 134, 139, 141, 142, 181, 195, 203, 281

Normatização 14, 15, 17, 18, 20, 24

O

Organização 15, 28, 128, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 220

P

Parcerias público-privadas 100, 102, 103, 104, 109, 110

Pisos mistos de edificações 85

Q

Qualidade da energia 14, 19, 20

Quebra da emulsão 258, 259, 261, 264, 265, 269, 273, 274

R

Recirculador 62, 63, 69, 70

Residencial 27, 29, 31

S

Segurança 18, 20, 21, 39, 43, 50, 106, 118, 120, 133, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 148, 149, 150, 151

Separação O/A 269

Setor aeroportuário 100, 101, 109

Sistema multivariável 35

Sistemas supervisórios 35, 36

Sustentabilidade 17, 20, 102, 116, 123, 219

T





Tensoativos 258, 259, 260, 261, 262, 264, 265, 266, 268, 269, 270, 271, 272, 274, 275, 276, 277, 278, 279

V

Vazão 27, 31, 172, 198, 204, 205, 208, 209, 212, 213, 214, 215, 216



As engenharias agregando conhecimento em setores emergentes de pesquisa e desenvolvimento 2

-  www.arenaeditora.com.br
-  contato@arenaeditora.com.br
-  [@arenaeditora](https://www.instagram.com/arenaeditora)
-  www.facebook.com/arenaeditora.com.br



As **engenharias** agregando conhecimento em setores emergentes de **pesquisa e desenvolvimento 2**

-  www.atenaeditora.com.br
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br