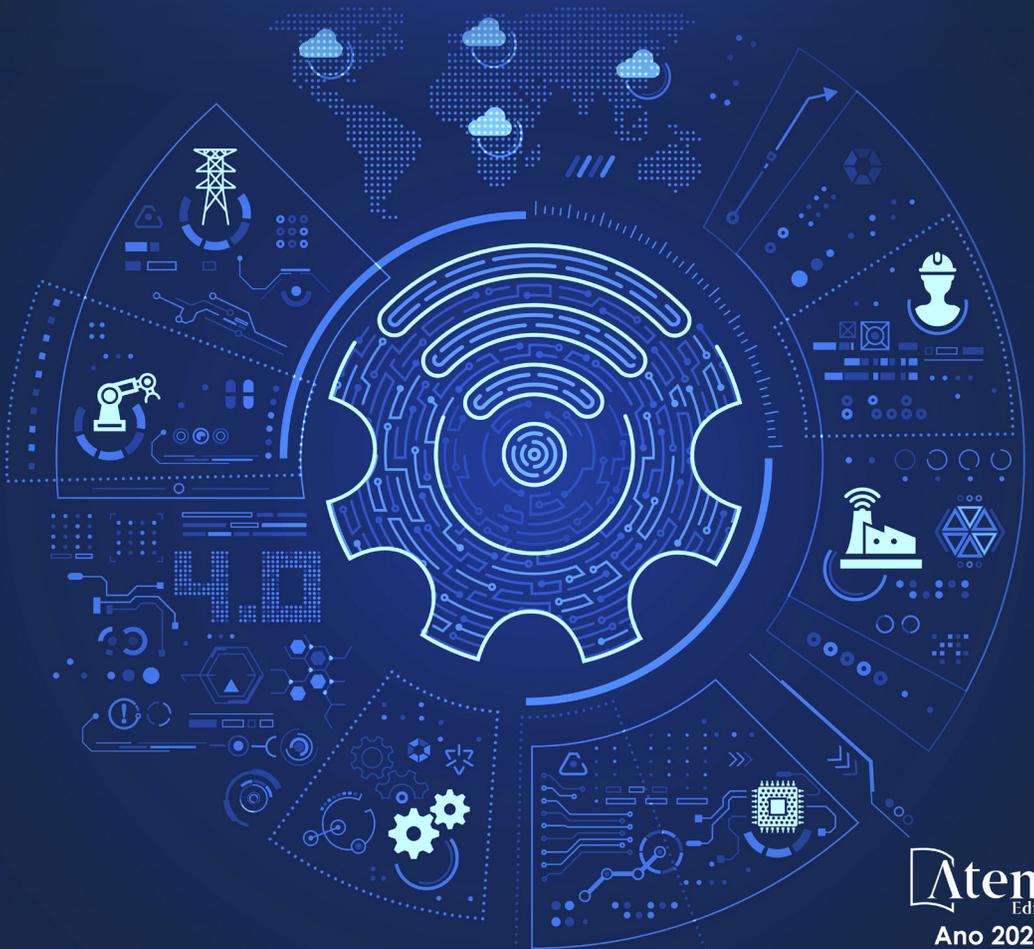


Amanda Fernandes Pereira da Silva
(Organizadora)

ENGENHARIA- RIAS: Pesquisa, desenvolvimento e inovação 3



Amanda Fernandes Pereira da Silva
(Organizadora)

ENGENHARIA- RIAS: Pesquisa, desenvolvimento e inovação 3



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

Luiza Alves Batista

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2023 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2023 Os autores

Copyright da edição © 2023 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
Prof^o Dr^a Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof^o Dr^a Glécilla Colombelli de Souza Nunes – Universidade Estadual de Maringá
Prof^o Dr^a Iara Margolis Ribeiro – Universidade Federal de Pernambuco
Prof^a 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
Prof^a Dr^a 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^a Dr^a Maria José de Holanda Leite – Universidade Federal de Alagoas
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Prof. Dr. Milson dos Santos Barbosa – Universidade Tiradentes
Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^a Dr^a Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Prof. Dr. Nilzo Ivo Ladwig – Universidade do Extremo Sul Catarinense
Prof^a Dr^a Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof^o Dr Ramiro Picoli Nippes – Universidade Estadual de Maringá
Prof^a Dr^a Regina Célia da Silva Barros Allil – Universidade Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Engenharias: pesquisa, desenvolvimento e inovação 2

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Flávia Roberta Barão
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizadora: Amanda Fernandes Pereira da Silva

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)	
E57	Engenharias: pesquisa, desenvolvimento e inovação 2 / Organizadora Amanda Fernandes Pereira da Silva. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2023. Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-258-0935-9 DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.359231801 1. Engenharia. I. Silva, Amanda Fernandes Pereira da (Organizadora). 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

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.

Sabendo que a Atena Editora faz parte do grupo de instituições que incentivam a difusão de inovação científica, a mais nova coleção “Engenharias: Pesquisa, desenvolvimento e inovação 3” engloba pesquisa científica, aplicada, desenvolvimento experimental e inovação tecnológica. Um dos grandes desafios enfrentados atualmente nos mais diversos ramos do conhecimento, é o do saber multidisciplinar, aliando conceitos de diversas áreas.

Atualmente, é necessário que os profissionais saibam discernir e transitar conceitos e práticas levando em consideração o viés humano e técnico. Diante desse contexto, este livro traz capítulos ligados a teoria e prática em um caráter multidisciplinar, apresentando de maneira clara e lógica conceitos pertinentes aos profissionais das mais diversas áreas do saber. Os mais diversos temas estão relacionados às áreas de engenharia, como civil, materiais, mecânica, química, dentre outras, dando um viés onde se faz necessária a melhoria contínua em processos, projetos e na gestão geral no setor fabril.

Esta obra se mostra como fundamental, de abordagem objetiva, para todos os âmbitos acadêmicos e pesquisadores que busquem alavancar em conhecimento. Aos autores, agradeço pela confiança e espírito de parceria.

Boa leitura.

Amanda Fernandes Pereira da Silva

CAPÍTULO 1 1**A IMPORTÂNCIA DO SISTEMA DE GESTÃO DE QUALIDADE DENTRO DOS PROCESSOS EMPRESARIAIS**

Milena dos Santos Silva

Luis Jorge Souza dos Anjos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3592318011>**CAPÍTULO 2 5****ANÁLISE COMPARATIVA DAS NORMAS NBR 6118/2014, NBR 7188/2013 E AASHTO LRFD 2012, BASEADA NA TEORIA DA CONFIABILIDADE – ESTUDO DE CASO DE UMA VIGA I DA PONTE SOBRE CÓRREGO SÃO DOMINGOS NA RODOVIA ESTADUAL ES-010, TRECHO ITAÚNAS - ES-421**

Rodrigo José Costa Nóbrega

Emmanoel Guasti Ferreira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3592318012>**CAPÍTULO 330****ANÁLISE DA DEFLEXÃO DE VIGAS E EIXOS POR EDO E SIMULAÇÃO EXPERIMENTAL DE BAIXO CUSTO**

Cristian Comin

Adabiel Oleone da Silva

Jocelaine Cargnelutti

Vanderlei Galina

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3592318013>**CAPÍTULO 439****APLICAÇÃO DO MÉTODO AHP PARA AUXÍLIO À TOMADA DE DECISÃO DO MELHOR TRATAMENTO PARA A BORRA OLEOSA GERADA NA INDÚSTRIA PETROQUÍMICA**

Wanderbeg Correia de Araujo

Haron Calegari Fanticelli

Jose Oduque Nascimento de Jesus

Artur Saturnino Rodrigues

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3592318014>**CAPÍTULO 557****ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLIED IN DIFFERENT AREAS OF ROBOTICS**

Márcio Mendonça

Rodrigo Henrique Cunha Palácios

João P. S. Bertocini

Ivan R. Chrun

Wagner Fontes Godoy

José Augusto Fabri

Francisco de Assis Scannavino Junior

Lucas Botoni de Souza

Emanuel Ignacio Garcia

Marta Rúbia Pereira dos Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3592318015>

CAPÍTULO 677

AVALIAÇÃO DA PROBABILIDADE DE FALHA DE PÓRTICO PLANO DE AÇO SUJEITO A CARREGAMENTO GRAVITACIONAL E COM FLEXÃO EM TORNO DO EIXO DE MENOR INÉRCIA

Danilo Luiz Santana Mapa
Marcilio Sousa da Rocha Freitas

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3592318016>

CAPÍTULO 786

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO ESPAÇO FÍSICO EM ACADEMIAS DE GINÁSTICA E MUSCULAÇÃO NA CIDADE DO RECIFE/PE

Emanoel Silva de Amorim
Kássia Benevides Martins Gomes
Girilândia de Moraes Sampaio
Paula dos Santos Cunha Boumann
Diogo Cavalcanti Oliveira
José Allef Ferreira Dantas
Ana Maria Batista Farias
Hugo Leonardo França Silva
Thiago Araújo de Menezes
Arthur Henrique Neves Baptista

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3592318017>

CAPÍTULO 897

COMPARAÇÃO DO FATOR DE SEGURANÇA UTILIZANDO ENVOLTÓRIAS DE RUPTURA LINEAR E CURVA. CASO DE ESTUDO MEDELLÍN – COLÔMBIA

Eduardo Montoya Botero
George Fernandes Azevedo
Hernán Eduardo Martinez Carvajal
Edwin Fabian Garcia Aristizabal
Newton Moreira de Souza

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3592318018>

CAPÍTULO 9 107

EFEITO DA ADIÇÃO DE DIFERENTES PROPORÇÕES DE FIBRAS DE COCO A GESSO DE FUNDIÇÃO

Karina Paula Barbosa de Andrade Lima
Deborah Grasielly Cipriano da Silva
Ana Luíza Xavier Cunha
Kyriale Vasconcelos Morant Cavalcanti
Felipe Bezerra de Lima
Jackson José dos Santos
Eyshila Paloma Costa de Brito
Lucas Ítalo Santos Gomes
Francisco das Chagas da Costa Filho

Fernanda Wanderley Corrêa de Araújo
 José Dantas Neto
 Romildo Morant de Holanda
 Yêda Vieira Póvoas

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3592318019>

CAPÍTULO 10.....121

EFEITO DO TRATAMENTO TÉRMICO NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E NA ESTRUTURA DO AÇO TENAX 300IM

Carlos Triveño Rios
 Giselle Primo Samogin
 Debora Christina Ramos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.35923180110>

CAPÍTULO 11 132

EFEITO DO ULTRASSOM NA EXTRAÇÃO DE COMPOSTOS BIOATIVOS EM CHÁS: UMA REVISÃO

Camila Araújo Costa Lira
 Kamila de Lima Barbosa
 Tereza Raquel Pereira Tavares
 Anayza Teles Ferreira
 Antonia Ingrid da Silva Monteiro
 Maria Rayane Matos de Sousa Procópio
 Marcelo Henrique Raulino Soares Nunes
 Amanda Caúla Fontenele
 Izabel Cristina de Almeida Silva
 Francisca Andressa Rabelo da Silva França
 Andreson Charles de Freitas Silva
 José Diogo da Rocha Viana

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.35923180111>

CAPÍTULO 12.....141

OS DESAFIOS DO GESTOR DE PRODUÇÃO: UM ESTUDO EM UMA INDÚSTRIA DE PEQUENO PORTE

Alessandro Dias
 Maykon Aurélio Alves
 Natanael Oliveira
 Mayara dos Santos Amarante

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.35923180112>

CAPÍTULO 13.....161

POTENCIAL DE APLICAÇÃO DO RESÍDUO DE CINZA DE CASCA DE ARROZ

Marcela Trojahn Nunes
 Fabiele Schaefer Rodrigues
 Jocenir Boita

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.35923180113>

CAPÍTULO 14..... 169

REPLACEMENT OF CONVENTIONAL VEHICLES WITH ELECTRIC ONES ON
THE MACROMETRÓPOLE PAULISTA: ENERGETIC AND ENVIRONMENTAL
IMPACTS FOR THE HORIZON OF 2030

Guilherme Pedroso
João Marcos Pavanelli
Raiana Schimer Soares
Célio Bermann

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.35923180114>

CAPÍTULO 15.....203

UMA REFLEXÃO SOBRE A IMPORTÂNCIA DA GEOMECÂNICA PARA A
ENGENHARIA DE PETRÓLEO

Elias Enes de Oliveira
Melissa Alves Fernandes
Geraldo de Souza Ferreira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.35923180115>

CAPÍTULO 16..... 215

FISSURAÇÃO NO CONCRETO ARMADO: POSSÍVEIS CAUSAS E TÉCNICAS
DE RESOLUÇÃO

Amanda Fernandes Pereira da Silva
Diego Silva Ferreira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.35923180116>

SOBRE A ORGANIZADORA225**ÍNDICE REMISSIVO.....226**

COMPARAÇÃO DO FATOR DE SEGURANÇA UTILIZANDO ENVOLTÓRIAS DE RUPTURA LINEAR E CURVA. CASO DE ESTUDO MEDELLÍN – COLÔMBIA

Data de submissão: 08/12/2022

Data de aceite: 02/01/2023

Eduardo Montoya Botero

Universidade de Brasília
Brasília, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/0827459726575474>

George Fernandes Azevedo

Universidade Federal do Maranhão
Brasília, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3259343585706307>

Hernán Eduardo Martínez Carvajal

Universidad Nacional de Colombia
Medellin, Colombia
<http://lattes.cnpq.br/2409917419986324>

Edwin Fabian Garcia Aristizabal

Universidad de Antioquia
Medellin, Colombia
<https://orcid.org/0000-0002-4837-8518>

Newton Moreira de Souza

Universidade de Brasília
Brasília, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/8863234872460861>

com que o esmagamento se torne o principal modo de deformação. Assim, a taxa de aumento na força de cisalhamento diminui com o aumento das tensões normais, fazendo com que a envoltória de tensão de cisalhamento seja curva. Escorregamentos superficiais acontecem em profundidades de 0,5 m a 3 m. Nessas profundidades, a tensão normal efetiva é da ordem de 5 a 20 kPa. Esse intervalo está abaixo do intervalo de tensões nas quais os corpos de prova são comumente testados para projetos de estabilidade de encostas. Parâmetros de resistência são usualmente obtidos com um valor mínimo de tensão efetiva normal, de aproximadamente 50 kPa. O resultado do ensaio de cisalhamento direto, interpretado segundo o critério de ruptura de Mohr-Coulomb, não é apropriado para o estudo de estabilidade superficial de encostas, porque o intervalo de tensões efetivas normais, na prática, não é usado em ensaios laboratoriais. O presente trabalho tem como objetivo principal comparar os resultados do fator de segurança, utilizando uma equação de talude infinito, com as envoltórias de Mohr-Coulomb e com uma envoltória curva, para uma encosta na cidade de Medellín, Colômbia. Para tanto, a metodologia prevista valeu-se de técnicas

RESUMO: A resistência ao cisalhamento dos solos está relacionada à porção granular e à porção de argila presente no solo. Em tensões muito elevadas, a resistência de atrito entre as partículas impede o deslizamento entre elas, fazendo

de geoprocessamento. A declividade foi obtida a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) das curvas de nível, os parâmetros de resistência foram estabelecidos mediante ensaios laboratoriais e a poropressão foi calculada usando elementos finitos. Como resultado, pode-se verificar em cada pixel o cálculo do fator de segurança com ambas as envoltórias.

PALAVRAS-CHAVE: Escorregamentos, Envoltória curva, Chuvas, Fator de Segurança.

COMPARISON OF FACTOR OF SAFETY USING LINEAR AND CURVED RUPTURE ENVELOPES. CASE STUDY MEDELLÍN – COLOMBIA

ABSTRACT: The shear strength of soils is related to the granular portion and the clay portion present in the soil. At very high stresses, the frictional resistance between particles prevents sliding between them, causing crushing to become the main mode of deformation. Thus, the rate of increase in shear force decreases with increasing normal stresses, causing the shear stress envelope to be curved. Shallow landslides occur at depths ranging from 0.5 m to 3 m. At these depths, the effective normal stress is of the order of 5 to 20 kPa. This range is below the range of stresses at which specimens are commonly tested for slope stability designs. Strength parameters are usually obtained with a minimum normal effective stress value of approximately 50 kPa. The result of the direct shear test, interpreted according to the Mohr-Coulomb failure criterion, is not appropriate for the study of the surface stability of slopes because the range of normal effective stresses, in practice, is not used in laboratory tests. The present work has as its main objective to compare the results of the safety factor, using an infinite slope equation, to the Mohr-Coulomb envelopes and to a curved envelope for a slope in the city of Medellín, Colombia. Therefore, the proposed methodology uses geoprocessing techniques. The slope was obtained from the digital elevation model (DEM) of the contour lines, the resistance parameters were established through laboratory tests, and the pore pressure was calculated using finite elements. As a result, the factor of safety calculation for both envelopes can be verified in each pixel.

KEYWORDS: Landslides, Rupture Envelope, Rains, Safety Factor.

1 | INTRODUÇÃO

Movimentos de massa são uma das causas mais frequentes de perdas humanas e econômicas em todo o mundo e, por isso, a determinação da ameaça associada a movimentos de massa, bem como a capacidade de prever esses eventos têm sido um assunto de grande interesse para a comunidade científica (Aleotti & Chowdhury 1999; Chacón et al 2006).

Para ambientes tropicais, caracterizados pelos perfis de intemperismo profundos e alto índice de chuvas, um número importante de pesquisadores estão concentrados na compreensão da chuva como um fator chave para a ocorrência de tais eventos (Crosta 1998; Terlien 1998; Polemio e Petrucci 2000; Iverson 2000 ; Larsen 2008).

No caso do Vale do Aburrá (Medellín - Colômbia), com um total de 3,4 milhões de habitantes, os movimentos de massa correspondem a 3 de cada 10 desastres que ocorrem na região e correspondem a 75% do total de vítimas por ano. Apenas os movimentos

de massa foram responsáveis por 1390 mortes e perdas econômicas superiores a US\$ 10 milhões no período de 1880-2007 (Aristizábal e Gómez 2007). Na Colômbia, foram registrados, durante o último século, 36 desastres gerados por movimentos de massa de magnitude considerável, sendo que o mais catastrófico foi desastre de Villatina, em Medellín, que ocorreu em 27 de setembro de 1987, com um número estimado de 640 mortes (Aristizabal et al., 2010).

Escorregamentos superficiais acontecem em profundidades de 0,5 m a 3 m. Nessas profundidades, a tensão normal efetiva é da ordem de 5 a 20 kPa. O resultado do ensaio de cisalhamento direto, interpretado em termos do critério de ruptura de Mohr-Coulomb, não é apropriado para o estudo de estabilidade superficial de encostas, porque o intervalo de tensões efetivas normais, na prática, não é usado em ensaios laboratoriais.

O critério de ruptura de Mohr-Coulomb com parâmetros de resistência c' e ϕ' para ensaios convencionais, superestima a resistência da tensão cisalhante para baixas tensões normais, no intervalo de tensões que é importante para análises de falhas superficiais. O resultado do ensaio de cisalhamento direto, interpretado em termos do critério de ruptura de Mohr-Coulomb, não é apropriado para o estudo de estabilidade superficial de encostas, porque o intervalo de tensões efetivas normais, na prática, não é usado em ensaios laboratoriais.

Tendo os parâmetros de resistência da envoltória de Mohr-Coulomb, é possível transformá-los para uma envoltória de ruptura curva sem coesão efetiva, como proposto por Lade (2010).

Neste sentido, o presente trabalho tem como objetivo principal comparar os resultados do fator de segurança (FS) utilizando uma equação de talude infinito e as envoltórias de Mohr-Coulomb e de Lade (2010), para uma encosta na cidade de Medellín - Colômbia a qual foi previamente dividida em pixels quadrados. Para tanto, a metodologia prevista valeu-se de técnicas de geoprocessamento pelo uso de uma plataforma baseada em sistemas de informação geográfica, aplicadas a um conjunto de insumos do terreno.

A declividade foi obtida a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) das curvas de nível; os parâmetros de resistência foram estabelecidos mediante ensaios laboratoriais e, a poropressão foi calculada usando elementos finitos, com base na ação de uma chuva considerada extrema na região de estudo. Todos os cálculos são feitos para uma profundidade de solo proposta por Azevedo et al. (2015) para a zona de estudo. Como resultado, podem se comparar em cada pixel o cálculo do fator de segurança com ambas as envoltórias.

2 | METODOLOGIA

Uma área de 1,5 km² foi escolhida para o estudo. Esta área está situada na costa noroeste da cidade de Medellín (Figura 1), localizando-se no Vale de Aburrá, no qual há

cinco outras cidades, além de Medellín, que formam a chamada Área Metropolitana de Medellín.

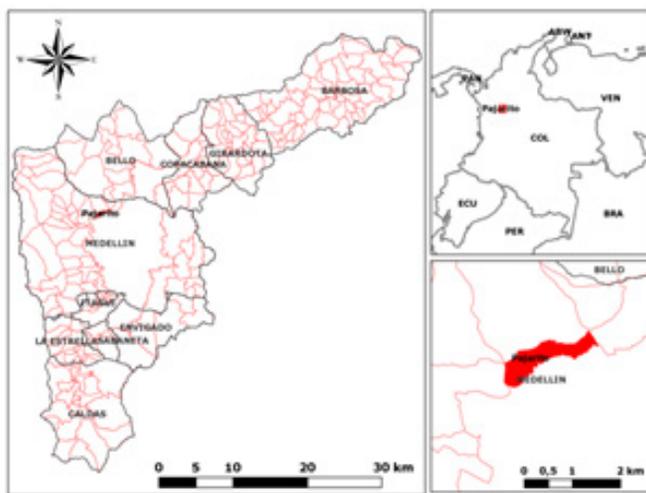


Figura 1. Localização da região de estudo.

Usando a topografia da área de estudo, um modelo digital de elevação (MDT) foi preparado com um tamanho de pixel quadrado de 10 m de lado. Considerando-se a classificação de susceptibilidade de escorregamentos em encostas feitas por García (2004), em que é apresentada a relação entre a ocorrência de deslizamentos de terra e o valor de inclinação do terreno, decidiu-se criar um histograma com nove tipos de declividades que, de acordo com García (2004), fornecem os maiores níveis de susceptibilidade.

Uma vez que os intervalos foram fixados, as declividades foram escolhidas, para as quais a análise numérica de infiltração foi processada. As inclinações das vertentes escolhidas corresponderam ao limite superior de cada classe do histograma.

Foi empregado, nos cálculos, o mapa de espessura de solo da região proposto por Azevedo et. al (2015) o qual tem a mesma resolução de pixel.

A partir da curva de Intensidade-Duração-Frequência (IDF) da estação pluviométrica San Cristóbal (INTEGRAL, 2011), foi estabelecida uma chuva extrema cujo período de recorrência (T_r) foi de 100 anos, Intensidade (I) 48 mm/h e duração (D) 100 minutos.

A caracterização geotécnica feita por Lôbo (2012) e INTEGRAL (2011) foi usada, da qual foram obtidos os parâmetros da curva de retenção de água e ensaio de cisalhamento, sendo que esses resultados são apresentados nas Tabelas 1 e 2. O peso específico do solo foi considerado em 20 kN/m³.

α (1/kPa)	n'	m	k (m/s)
------------------	------	-----	-----------

0,035	1,26	0,206	3×10^{-5}
-------	------	-------	--------------------

Tabela 1. Parâmetros da curva característica do solo.

Nº do teste	Resistência ao cisalhamento S (kPa)	Tensão efetiva σ' (kPa)
1	42,31	50
2	64,82	100
3	109,83	200

Tabela 2. Ensaios de cisalhamento.

Depois disso, uma análise numérica da infiltração foi realizada, a partir da qual se obteve a pressão dos poros (U) nos taludes escolhidos, caracterizados pela inclinação (β), para o fim da chuva. Para este fim, o código de elemento finito preparado no laboratório de geomecânica da Universidade de Kyoto, apresentado por Garcia (2010), foi usado.

De posse do perfil de poropressão em função da profundidade para as nove declividades do histograma, gerado pela chuva em estudo, foi elaborada uma carta de poropressão fazendo a interpolação do perfil desta variável nas nove declividades do histograma com o valor de inclinação em cada pixel, baseando-se na Tabela 3:

Inclinação pixel (%)	Perfil (%) pressão de poros associada
≤ 20.5	16
20.50 - 27.25	25
27.25 - 30.50	29
30.50 - 34.00	32
34.00 - 41.50	36
41.50- 52.50	47
52.50 - 64.00	58
64.00 - 85.00	70
> 85.00	100

Tabela 3. Associação entre declividades e poropressões.

A partir da análise numérica de infiltração e da interpolação anteriormente descrita, a variação da pressão nos poros é obtida em cada um dos taludes no fim de cada precipitação obtida da curva IDF.

Considerando-se a geometria dos nove taludes, caracterizados pela inclinação advinda do histograma sugerido por García (2004), juntamente com os parâmetros de resistência, também foi possível calcular a relação entre as tensões atuantes (τ) e as tensões de cisalhamento (s) para cada um dos cenários de combinações entre declividade

e chuva, o que resulta em um coeficiente de segurança, como mostrado na equação 1, proposta por Lade (2010).

$$FS = \frac{s}{\tau} = \frac{a.Pa.\left(\frac{\sigma'}{Pa}\right)^b}{\tau} \quad (1)$$

onde a e b são elementos adimensionais, σ' é tensão efetiva e Pa corresponde a pressão atmosférica na mesma unidade de s e σ' .

Lade (2010) propõe uma envoltória de ruptura sem coesão efetiva, que pode ser modelada por uma função potência da mesma forma da equação 2:

$$\left(\frac{s}{Pa}\right) = a \left(\frac{\sigma'}{Pa}\right)^b \quad (2)$$

A fim de calcular os valores de a e b, o logaritmo em ambos os lados foi empregado na equação 2 e uma expressão que representa uma função linear na escala logarítmica foram produzidos como representado na equação 3.

$$\log\left(\frac{s}{Pa}\right) = \log(a) + b.\log\left(\frac{\sigma'}{Pa}\right) \quad (3)$$

Criando uma relação entre s e τ , a equação que determina o fator de segurança de um talude infinito é mostrada na equação 4:

$$FS = \frac{a.Pa\left[\frac{\gamma_{sat}.h.(cos\alpha)^2 - U}{Pa}\right]^b}{\gamma_{sat}.h.cos\alpha.sin\alpha} \quad (4)$$

onde γ_{sat} é peso específico saturado do solo, h é profundidade da camada, α refere-se à declividade da encosta e U corresponde a poropressão;

3 | RESULTADOS

Nesta seção, serão mostrados os principais resultados alcançados na pesquisa, bem como a explanação das análises estabelecidas.

Do mapa de declividades presente na Figura 2 se conclui que o local de estudo apresenta uma distribuição que tende a se concentrar ao redor do intervalo 10 - 25%, mas sem descartar declividades menores do que 10% e muito maiores que 25%.

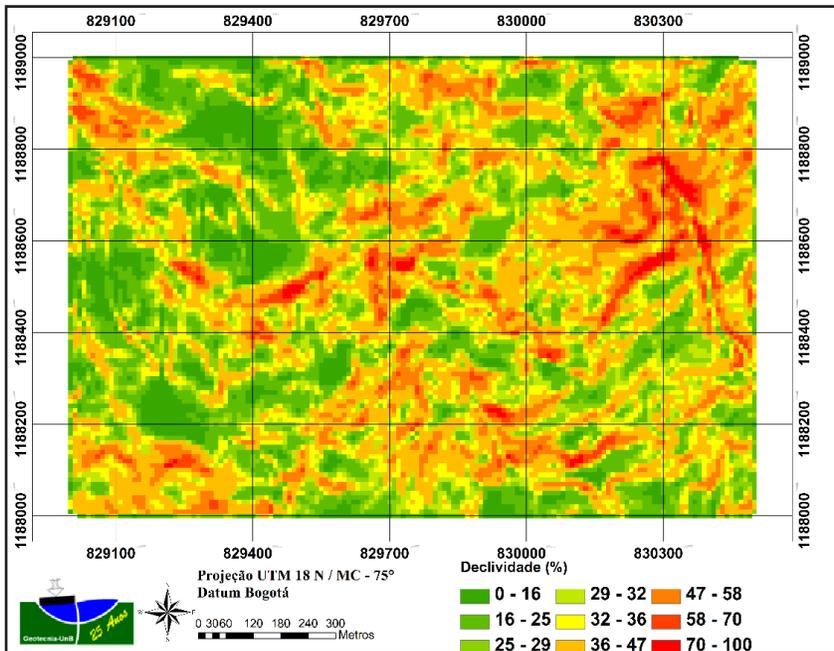


Figura 2. Mapa de declividades.

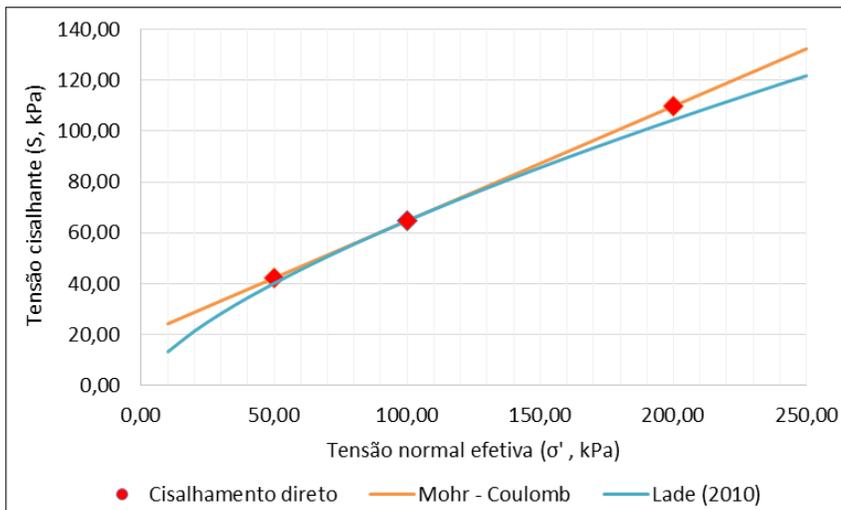


Figura 3. Resultados dos ensaios de cisalhamento direto e as respectivas envoltórias.

Observa-se no gráfico da Figura 3 como os três pontos do ensaio ajustam-se mais à previsão de Mohr Coulomb, mas o ensaio de cisalhamento direto feito por INTEGRAL (2011) não utilizou tensões normais baixas segundo o sugerido em Lade (2010). Mesmo assim, não se descartou a previsão pelo ajuste parabólico (Lade, 2010), uma vez que são notórias as diferenças na previsão da resistência ao cisalhamento para baixas tensões na Figura 3.

Com os dados contidos na Figura 3 podemos extrair os parâmetros de ruptura do critério Mohr-Coulomb como sendo $c' = 19$ kPa e $\phi' = 24^\circ$ e os parâmetros do critério Lade (2010) $a = 0,65$ e $b = 0,69$.

Nas Figuras 4 e 5, encontram-se, respectivamente, os mapas relacionados aos fatores de segurança obtidos pelas envoltórias de Mohr-Coulomb e pela envoltória curva.

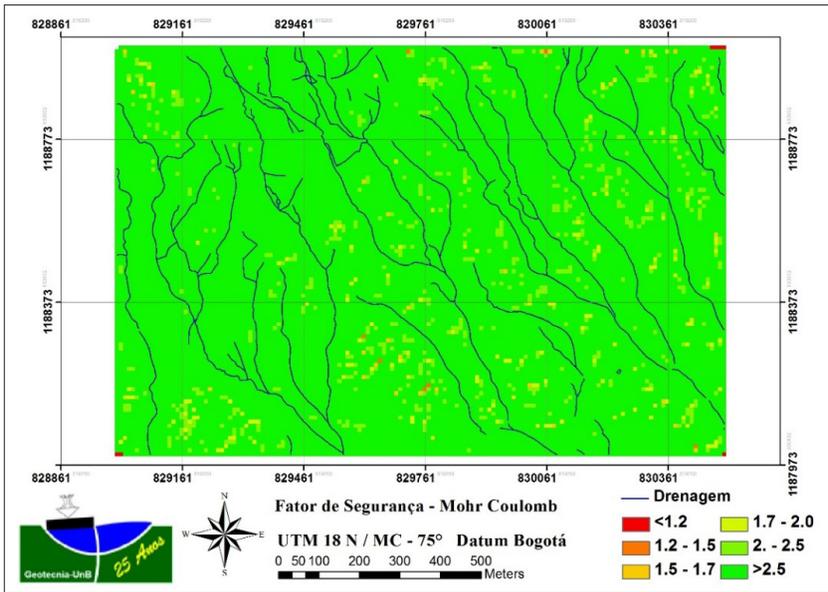


Figura 4. Mapa de fatores de segurança por Mohr-Coulomb.

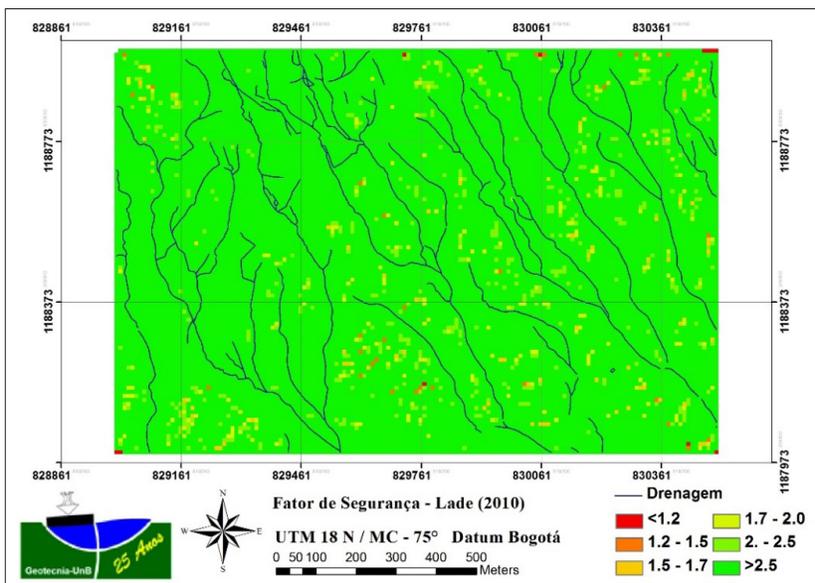


Figura 5. Mapa de fatores de segurança obtidos pela envoltória curva de Lade (2010).

Visualmente, a distribuição espacial entre as classes de valores de FS conseguidas com as diferentes envoltórias de ruptura apresentam grande similaridade. A maior parcela da região em estudo encontra-se classificada com FS superiores a 2,5. No outro extremo, a menor quantidade encontrada corresponde aos pixels com fatores de segurança que representam a faixa com menor estabilidade (FS inferiores a 1,2).

Há uma relação direta entre os menores fatores de segurança calculados e as regiões com maiores declividades, o que demonstra os preceitos presentes no modelo de estabilidade de taludes utilizado.

Pode-se também fazer uma análise quantitativa em relação à comparação entre os dois mapas. De forma geral, observa-se uma grande concordância entre as duas abordagens quando se trata dos valores de fator de segurança superiores a 2,5.

Uma melhor compreensão das diferenças entre as duas envoltórias de ruptura utilizadas pode ser averiguada a partir dos dados presentes na Tabela 4, a qual traz a distribuição dos pixels pelas classes dos fatores de segurança em números absolutos e em porcentagem.

4 | CONCLUSÕES

Ressaltam-se aqui as principais conclusões estabelecidas pelo presente trabalho.

O resultado do ensaio de cisalhamento direto, interpretado em termos do critério de ruptura de Mohr-Coulomb, não é apropriado para o estudo de estabilidade superficial de encostas, porque o intervalo de tensões efetivas normais, na prática, não é usado em ensaios laboratoriais.

Comprovou-se que o critério de ruptura de Mohr-Coulomb com parâmetros de resistência c' e ϕ' para ensaios convencionais, superestima a resistência da tensão cisalhante para baixas tensões normais, no intervalo de tensões que é importante para análises de falhas superficiais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio financeiro concedido pela Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior (CAPES) e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) para realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

Aleotti P. e Chowdhury R. (1999). Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, Vol. 58, p. 21-44.

Aristizábal, E. e Gómez, J. (2007). Inventario de emergencias y desastres en el Valle de Aburrá: originados por fenómenos naturales y antrópicos en el periodo 1880-2007, *Revista Gestión y Ambiente*, Vol. 10, p. 17-30.

Aristizábal, E., Martínez, H. e Gómez, J. (2010). Una breve revisión sobre el estudio de movimientos em masa detonados por lluvias, *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, físicas y Naturales*, Vol. 34 (131), p. 209-227.

Azevedo, G.F., Montoya, B.E., Carvajal, H.E.M., Moreira, N.M. e Garcia E.F. (2015). Estimativa da profundidade do solo pelo uso de técnicas de geoprocessamento, estudo de caso: Setor Pajarito, Colômbia, XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, INPE, João Pessoa, PB, Brasil, INPE, Vol. 1, p. 4551-4558.

Chacón, J., Irigaray, C., Fernandez, T. e El Hamdouni, R. (2006). Engineering geology maps: landslides and geographical information systems, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, Vol. 65 (1), p. 341-411.

Crosta, G. (1998). Regionalization of rainfall threshold: an aid for landslide susceptibility zonation, *Environmental Geology*, Vol. 35(2-3), p. 131-145.

Garcia, E. (2010). Numerical Analysis of the Rainfall Infiltration Problem in Unsaturated Soil, Ph.D. Thesis, Kyoto University. 170p.

Garcia, H.A.G. (2004). Avaliação da Susceptibilidade aos Movimentos de Massa Usando Sistemas de Informação Geográfica e Redes Neurais Artificiais. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, 140 p.

INTEGRAL (2011), Elaboración de estudios geológicos geotécnicos, hidrogeotécnicos, análisis de la vulnerabilidad estructural, y diseños de obras en las zonas de riesgo de la ciudad de Medellín, *Relatorio de Consultoria* 178 p.

Iverson, R. (2000). Landslide triggering by rain infiltration, *Water Resources Research*, Vol. 36(7), p. 1897-1910.

Lade, P.V. (2010). The mechanics of surficial failure in soil slopes, *Engineering Geology*, Vol. 114, p. 57-64.

Larsen, M.C. (2008). Rainfall-triggered landslides, anthropogenic hazards, and mitigation strategies, *Advances in Geosciences*, Vol. 14, p. 147-153.

Lôbo, B.R.H. (2012). Efeito do avanço da frente de umidade na redução da sucção e da resistência ao cisalhamento de um perfil de solo coluviar em Medellín-Colômbia. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, 110 p.

Polemio, M. e Petrucci, O. (2000). Rainfall as a Landslide Triggering Factor: An Overview of Recent International Research. *Landslides in research, theory and practice. Proceedings of the 8th International Symposium on Landslides*, Carraiff, London, England, Vol. 3, p. 1219-1226.

A

Acessibilidade arquitetônica 87

Aço ferramenta 121, 124, 128, 129

Análise avançada 77, 84, 85

Artificial intelligence 57, 58, 59, 60, 65, 66, 68, 73, 74, 76

Autonomous vehicle 58, 59

Avaliação pós ocupação 87

B

Borra oleosa 39, 40, 41, 42, 46, 47, 53

C

Chuvas 98

Cinza de casca de arroz 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168

CO₂ emissions 169, 172, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 183, 185, 188, 189, 190, 191, 194, 195, 196, 197

Competitividade 2, 141, 142, 150, 198

Cristobalita 161, 165, 167

D

Desafios 38, 141, 142, 143, 146, 147, 148, 151, 156, 158, 159, 204, 205

Desenvolvimento 2, 6, 7, 20, 30, 31, 37, 39, 43, 54, 87, 88, 95, 105, 120, 141, 142, 145, 147, 148, 159, 167, 198, 205, 206, 213

E

Eixo de menor inércia 77, 79, 81, 83, 84, 85

Electric vehicle 169, 171, 179, 200, 201

Empresa 1, 2, 39, 41, 46, 47, 48, 52, 53, 109, 123, 141, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 201

Energy consumption 169, 170, 174, 181, 182, 185, 188, 189, 190, 191, 192, 195

Engenharia 6, 8, 9, 12, 13, 20, 21, 22, 24, 29, 30, 31, 38, 54, 57, 85, 86, 87, 96, 106, 118, 119, 120, 121, 130, 132, 141, 142, 143, 144, 146, 157, 164, 168, 203, 204, 205, 208, 209, 210, 212, 213, 214, 215, 219, 224, 225

Engenharia de Petróleo 203, 204, 205, 209, 210, 212, 213, 214

Ensino em engenharia 30

Envoltória curva 97, 98, 104

Equações diferenciais ordinárias 30

Ergonomia 87, 88, 90, 91, 93, 95, 96

Escorregamentos 97, 98, 99, 100

Extração de fitoquímicos 133

F

Fator de segurança 12, 97, 98, 99, 102, 105

Fibra natural 108, 110

Fissuras 215, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224

G

Geomecânica 101, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214

Gesso de fundição 107, 108, 110, 113, 115, 117

Gestão 1, 2, 3, 4, 38, 86, 119, 120, 141, 144, 146, 147, 148, 151, 152, 155, 156, 157, 158, 159

I

Impacto 14, 15, 17, 49, 121, 122, 123, 127, 128, 129, 141, 142, 150

Índice de confiabilidade 5, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 26, 27, 79, 80, 84

Interdisciplinaridade 30, 37, 38

M

Macrometrópole Paulista 169, 172, 176, 197, 199

Matriz curricular 203, 209, 210

Mecânica das rochas 203, 204, 206, 208, 209, 210, 211

Método AHP 39, 41, 43, 44, 45, 46, 47, 53, 54

Método Monte Carlo 5, 10

Modos de falha 5, 8, 18

P

Patologias 215, 216, 217, 218, 219, 223, 224

Polifenóis 133, 134, 136, 138, 139

Pórtico de aço 77

Precision agriculture 58, 65

Probabilidade de falha 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 77, 79, 80, 83, 84

Processos empresariais 1

Q

Qualidade 1, 2, 3, 4, 86, 87, 88, 89, 93, 95, 96, 122, 133, 134, 139, 144, 146, 148, 152, 154, 161, 162, 167, 218

R

Resíduos sólidos 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 53, 54, 55, 120

Resistência dos materiais 8, 9, 30, 31, 38

Resistência mecânica 108, 116, 117

S

SiO₂ 161, 165, 166, 167

Superfície de estado limite 5, 7

T

Tecnologias para o tratamento de borra oleosa 39

Tenacidade 121, 122, 128, 130

TENAX 300IM 121, 122, 123, 124, 125, 126, 128, 129

U

Unmanned aerial vehicle 58

Urban transport 169, 170, 198

ENGENHARIA- RIAS:

Pesquisa, desenvolvimento
e inovação 3



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

ENGENHA- RIAS:

Pesquisa, desenvolvimento
e inovação 3



 www.atenaeditora.com.br

 contato@atenaeditora.com.br

 @atenaeditora

 www.facebook.com/atenaeditora.com.br