

The background is a dark blue gradient. It features several white line-art gears of various sizes. In the center, there is a faint, semi-transparent image of a person's head in profile, looking downwards. The overall theme is technology and industry.

Gears of the future

Adriano Pereira da Silva
(Organizador)

 **Atena**
Editora
Ano 2022

The background is a dark grey with a complex pattern of gears and a faint silhouette of a person's head. The gears are of various sizes and some contain icons like a power line, a factory, and a group of people. The person's head is shown in profile, looking towards the right. The title 'Gears of the future' is written in a white, sans-serif font, with 'Gears' on the top line and 'of the future' on the bottom line, separated by a thin white horizontal line.

Gears of the future

Adriano Pereira da Silva
(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

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



Diagramação: Daphynny Pamplona
Correção: Yaidy Paola Martinez
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizador: Adriano Pereira da Silva

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

G292 Gears of the future / Organizador Adriano Pereira da Silva. –
Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-868-4

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.684220402>

1. Gears of the future. I. Silva, Adriano Pereira da
(Organizador). II. Título.

CDD 303.49

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.



APRESENTAÇÃO

A coleção “Organização Gears of the future” versa a pluralidade científica e acadêmica, permeando as singularidades das várias obras que compõem os seus capítulos. O volume apresentará trabalhos, pesquisas, relatos que promovem as diversas formas da aplicação da engenharia de produção, de modo interdisciplinar e contextualizada, em sua gama de conteúdo iterativo.

O principal objetivo é expor, de forma categórica e clara, as pesquisas realizadas nas diversas instituições de ensino e pesquisa nacionais e internacionais, cujos trabalhos contemplam diretrizes relacionadas à automação, cromatografia, estilos de aprendizagem, identificação de sistemas, impressão 3d, melhoramento de solo, métodos numéricos, reconhecimento de padrões e áreas correlatas.

Portanto, os tópicos discutidos em sociedade, empresariado e academia, são trazidos para um âmbito crítico e estruturado, estabelecendo uma base de conhecimento para acadêmicos, professores e todos aqueles que estão interessados na engenharia de produção e/ou industrial. Assim, salienta-se a importância das temáticas abordadas nesta coleção, visto pela evolução das diferentes ferramentas, métodos e processos que a indústria 4.0 desenvolveu ao longo do tempo e sendo capaz de solucionar problemas atuais e vindouros.

Deste modo, esta obra propõe uma teoria a partir dos resultados práticos obtidos por diversos professores e estudiosos que trabalharam intensamente no desenvolvimento de seus trabalhos, que será apresentada de forma concisa e pedagógica. Sabemos da importância da divulgação científica, por isso também destacamos a estrutura da Atena Editora para fornecer a esses entusiastas da pesquisa científica uma plataforma integrada e confiável para a exibição e divulgação de seus resultados.

Adriano Pereira da Silva

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

RETROSPECTIVA DE LA FORMACIÓN DEL INGENIERO FORESTAL ANTE LA CRISIS AMBIENTAL DEL PLANETA


Zazil Ha Mucui Kac García Trujillo

Alicia Avitia Deras

Jorge Antonio Torres Pérez

Martha Alicia Cazares Moran


Víctor Manuel Interian Ku

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6842204021>

CAPÍTULO 2..... 14

COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE PROJETO DE TÚNEIS EM MACIÇOS FRATURADOS

Frederico Veiga Ribeiro Gonçalves


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6842204022>

CAPÍTULO 3..... 30

CONTROLE ADAPTATIVO USADO EM DOIS ELOS DE UM ROBÔ ELETROMECAÂNICO DE CINCO GRAUS DE LIBERDADE

José Antonio Riul

Paulo Henrique de Miranda Montenegro


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6842204023>

CAPÍTULO 4..... 42

DESENVOLVIMENTO DE UM KIT DIDÁTICO COM SENSOR DE TEMPERATURA E BARRA DE LEDS UTILIZANDO UM MICROCONTROLADOR COM NÚCLEO 8051

Eduardo Batista dos Santos

Salvador Pinillos Gimenez

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6842204024>

CAPÍTULO 5..... 59

DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DE LIGAÇÕES CRUZADAS EM BORRACHA NATURAL PARA DIFERENTES SISTEMAS DE VULCANIZAÇÃO

Arthur Pimentel de Carvalho

Harison França do Santos

Carlos Toshiyuki Hiranobe

Eduardo Roque Budemberg

Gabriel Deltrejo Ribeiro

Giovanni Barrera Torres

Jose Francisco Resende

Leonardo Lataro Paim

Leandra Oliveira Salmazo

Miguel Ángel Rodríguez Pérez

Renivaldo José dos Santos


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6842204025>

CAPÍTULO 6..... 73

BIOMATERIALS FOR THE STUDY OF CANCER

Nicolas Lara

Maria Inês Basso Bernardi

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6842204026>

CAPÍTULO 7..... 90

INFLUENCIA DEL CLIMA EN EL CRECIMIENTO RADIAL EN UNA PLANTACIÓN DE *Pinus greggii* EN SANTIAGO DE ANAYA HIDALGO, MÉXICO

Pedro Antonio Domínguez-Calleros


Rodrigo Rodríguez-Laguna

José Rodolfo Goché Télles

Norberto Domínguez-Amaya

Héctor Manuel Loera-Gallegos

Jesús Alejandro Soto-Cervantes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6842204027>

CAPÍTULO 8..... 102


INVESTIGAÇÃO HIDROLÓGICA DA MICRO BACIA DO CÓRREGO DO AFLUENTE DO VEADO, NO MUNICÍPIO DE PRESIDENTE PRUDENTE – SP

Karen Caroline Rodrigues Ferreira

Alexandre Teixeira De Souza

Gabriel Itada Tamagno

Elson Mendonça Felici

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6842204028>


CAPÍTULO 9..... 112

MELHORAMENTO DE SOLO UTILIZANDO MARTELO VIBRATÓRIO: UM ESTUDO DE CASO

Fábio Lopes Soares

Guilherme Ogliari Oliveria

Rhuan Francisco Antunes de Vasconcelos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.6842204029>

CAPÍTULO 10..... 124

RENDIMENTO E ÁCIDOS GRAXOS DOS FRUTOS DE *Calophyllum brasiliensis* CAMBESS NO SUL DO TOCANTINS

Maria Cristina Bueno Coelho

Bonfim Alves Souza

Max Vinícios Reis de Sousa

Wádilla Morais Rodrigues

Yandro Santa Brigida Ataide

Mathaus Messias Coimbra Limeira


Mauro Luiz Erpen

Maurilio Antonio Varavallo

Juliana Barilli

Marcos Giongo


Damiana Beatriz da Silva
André Ferreira dos Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.68422040210>

CAPÍTULO 11..... 137

DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DE OPERAÇÃO DA EXTRAÇÃO LÍQUIDO –
LÍQUIDO EM REGIME CONTÍNUO DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS SAMÁRIO E
EURÓPIO


Ysrael Marrero Vera
Gabriel Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.68422040211>

CAPÍTULO 12..... 141

EVOLUTION METHODOLOGY OF BIOABSORBABLE POLYMERIC STRUCTURES IN
THE APPLICATION OF STENTING AORTIC COARCTATION IN NEONATES


Rosana Nunes Santos
Aron José Pazin Andrade
Tiago Senra Garcia Santos
Gustavo Caravita Andrade
Carlos Augusto Cardoso Pedra
Flávio José dos Santos
Bruno Agostinho Hernandez
Edson Antonio Capello Sousa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.68422040212>

CAPÍTULO 13..... 155

LA WEBQUEST COMO PROPUESTA DE ESTRATEGIA DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE
PARA ALUMNOS DE INGENIERÍAS

Carlos David Zapata y Sánchez
Guadalupe López Molina

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.68422040213>

CAPÍTULO 14..... 168

O USO DE GEOTÊXTIL PARA O CONTROLE DE DRENAGEM DE ÁGUA DE SUPERFÍCIE
- A SOLUÇÃO UTILIZADA PARA FECHAMENTO ADEQUADO DE UMA PILHA ESTÉRIL


Christ Jesus Barriga Paria
Hernani Mota de Lima

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.68422040214>

CAPÍTULO 15..... 180

OTIMIZAÇÃO DO TRATAMENTO DE EFLUENTES DA INDÚSTRIA CURTIDORA DE
PELES EM PRESIDENTE PRUDENTE – SP


Karen Caroline Rodrigues Ferreira
Alexandre Teixeira De Souza

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.68422040215>

CAPÍTULO 16..... 189

TÓPICOS DE ENERGIA LIMPA E MAPAS COGNITIVOS FUZZY APLICADOS EM ANÁLISE DE SATISFAÇÃO NA INSTALAÇÃO DE SOLAR FOTOVOLTAICO


Márcio Mendonça
Marta Rúbia Pereira dos Santos
Célia Cristina Faria
Fábio Rodrigo Milanez
Francisco de Assis Scannavino Junior
Wagner Fontes Godoy
Rodrigo Henrique Cunha Palácios
Marco Antônio Ferreira Finocchio
Carlos Alberto Paschoalino
Gustavo Henrique Bazan
Ricardo Breganon
Uiliam Nelson Lenzion Tomaz Alves
Marcos Antônio de Matos Laia

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.68422040216>

CAPÍTULO 17..... 203

RECONHECIMENTO DE PADRÕES EM SINAIS EMG COM REDE NEURAL PARA IMPLEMENTAÇÃO EM BRAÇO ROBÓTICO


Evelyne Lopes Ferreira
Maury Meirelles Gouvêa Jr.

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.68422040217>

CAPÍTULO 18..... 212

SEPARAÇÃO DE TÉRPIO E DISPRÓSIO A PARTIR DA TÉCNICA DE EXTRAÇÃO POR SOLVENTES


Ysrael Marrero Vera
Izabel Nunes Ivancko
João Marcos Batista do Nascimento

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.68422040218>

CAPÍTULO 19..... 221

VIVER A CIDADE: UMA ANÁLISE A PARTIR DA APROPRIAÇÃO DO ESPAÇO PÚBLICO URBANO


Anicoli Romanini



 <https://doi.org/10.22533/at.ed.68422040219>

CAPÍTULO 20..... 233

SimP - BANCADA VIRTUAL PARA LABORATÓRIOS DE AUTOMAÇÃO PNEUMÁTICA, HIDRÁULICA, ACIONAMENTO DE MOTORES E CONTROLADORES DE PROCESSO – UM CASO EM EVOLUÇÃO

Sergio Adalberto Pavani
Cesar Tadeu Pozzer
Paulo Roberto Colusso

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.68422040220>

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| CAPÍTULO 21 | 243 |
| AVALIAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DE FALTAS EM LINHAS DE TRANSMISSÃO UTILIZANDO UM SIMULADOR EM TEMPO REAL | |
| William Pinheiro Silva | |
| Damásio Fernandes Júnior | |
|  https://doi.org/10.22533/at.ed.68422040221 | |
| CAPÍTULO 22 | 257 |
| von MISES TAPERING: A NEW CIRCULAR WINDOWING | |
| Hélio Magalhães de Oliveira | |
|  https://doi.org/10.22533/at.ed.68422040222 | |
| SOBRE O ORGANIZADOR | 272 |
| ÍNDICE REMISSIVO | 273 |

COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE PROJETO DE TÚNEIS EM MACIÇOS FRATURADOS

Data de aceite: 01/01/2022

Data de submissão: 28/09/2021

Frederico Veiga Ribeiro Gonçalves

Faculdade de Tecnologia (FT) - Universidade
de Brasília
Brasília - DF, Brasil.

<http://lattes.cnpq.br/8290066979184292>

RESUMO: A exploração do espaço subterrâneo está se tornando uma solução cada vez mais viável para uma ampla gama de problemas, como: superar obstáculos topográficos, renovação de centros urbanos e mineração. Baseado em investigações preliminares de um projeto para um par de túneis paralelos em um maciço fraturado na região de Florianópolis (SC) serão obtidos parâmetros seguindo as recomendações vigentes de modo a dimensionar um sistema de suporte visando segurança e economia, através de dois métodos. O índice Q, método empírico, e através de métodos numéricos usando *softwares* considerados o estado da prática na mecânica das rochas. Além disso serão realizadas análises variando parâmetros de difícil determinação, a persistência das descontinuidades e o estado de tensões *in situ*, para determinar a influência dos mesmos no comportamento do maciço. Foi clara a influência das dimensões das descontinuidades, as variações de tensões *in situ* geraram alterações sensíveis no modelo numérico. O sistema de suporte estimado pelo método numérico foi mais conservador do que o

estimado através do método numérico.

PALAVRAS-CHAVE: Escavações Subterrâneas, Investigações de Campo e Laboratório, Modelagem Computacional, Classificação Geomecânica, Túnel Rodoviário, Maciço Fraturado.

COMPARISON BETWEEN METHODS OF TUNNEL DESIGN IN A FRACTURED ROCK MASS

ABSTRACT: Exploring underground space has gradually become a viable solution to a wide range of problems, such as: overcoming topographical obstacles, urban renewal and mining. Based on preliminary investigations for a pair of parallel tunnels in a fractured rock mass in the outskirts of Florianópolis, Brazil, parameters will be obtained following the current recommendations to evaluate the permanent support system required, while aiming for safety and economy, through two methods. The Q system, an empirical method, and through numerical methods using software considered the state of the practice in rock mechanics. In addition, the analysis of parameters that are difficult to determine, such as joint persistence and *in situ* stresses, will be performed to determine the influence on the rock mass behaviour. The support system estimated by the numerical method was more conservative than estimated by the empirical method. The influence of joint persistence was clear while the variations of tensions *in situ* generated sensible alterations in the numerical model.

KEYWORDS: Highway Tunnel, Fractured Rock Mass, Field and Laboratory Investigations,

1 | INTRODUÇÃO

Na mecânica das rochas os métodos empíricos ainda são utilizados frequentemente. Principalmente pelo fato do material possuir uma história geológica complexa, conferindo características diferentes daquelas obtidas em laboratório, além das limitações na obtenção de dados, inerentes a obras subterrâneas, ensaios e observações que só podem ser obtidos através de afloramentos rochosos, furos de sondagem ou túneis de prospecção. Segundo Goodman (1989), escavações subterrâneas possuem muitos modos de falha, portanto, a resistência do material necessita tanto de dados como de julgamento de engenharia.

Durante o estudo de viabilidade e princípio do projeto, em situações que existem poucas informações sobre o maciço em questão, o uso de classificações geomecânicas pode ser de grande utilidade. No mínimo, fornecem uma lista de informações que devem ser consideradas e podem ainda antever, usando correlações com base em observações empíricas, as características de resistência, comportamento (deformação) do maciço conforme a escavação avança e as intervenções necessárias (suporte) para a estabilidade do túnel, caverna, talude, etc, Bieniawski (1989).

Classificações geomecânicas foram desenvolvidas para criar alguma ordem do caos dos procedimentos de investigações de campo e fornece ferramentas de projeto. As classificações não substituem estudos analíticos, observações de campo, medidas ou julgamento de engenharia nem fornecem a solução final aos problemas enfrentados no processo de construção em rocha, apenas um passo em direção a ela.

Bieniawski (1989) define os principais objetivos de uma classificação geomecânicas:

- (i) Identificar os parâmetros mais significantes que influenciam o comportamento do maciço rochoso;
- (ii) Dividir um maciço qualquer em grupos de comportamento similar, ou seja, classes que variam com a qualidade do maciço;
- (iii) Gerar uma base para compreender as características de cada classe de maciço;
- (iv) Facilitar a comunicação entre as pessoas envolvidas em um projeto, assim como relatar as condições e experiências obtidas a outros;
- (v) Fornecer dados quantitativos e estimativas para o projeto;
- (vi) Prover uma base comum para a comunicação entre engenheiros e geólogos.

Se os objetivos acima forem alcançados, o autor aponta três principais finalidades das classificações geomecânicas:

- (i) Aumenta a qualidade das investigações de campo pois define a quantidade de informações necessárias, melhorando a eficiência dessa fase;
- (ii) Gera informação quantitativa para a fase de projeto;
- (iii) Permite melhor julgamento de engenharia e facilita a comunicação entre os

membros do projeto.

O maciço rochoso pode ser discretizado, de forma macroscópica, como blocos de rocha intacta limitados pelas descontinuidades. A partir dessa discretização o maciço deve ser analisado de duas maneiras. Primeiramente são verificados os mecanismos de falha através das descontinuidades como deslizamento, queda e rotação dos blocos. Para tal, são necessárias investigações que descrevam a geometria do fraturamento (Orientação, espaçamento e persistência) e características de resistência ao cisalhamento (rugosidade e aspereza, competência das paredes, abertura e preenchimento). O segundo mecanismo que pode levar ao colapso é a falha através da rocha intacta.

Hoek & Brown (1980) dividem os modos de falha em quatro categorias:

- i) Instabilidade devido à geologia estrutural desfavorável em rochas competentes;
- ii) Instabilidade devido a elevadas tensões *in-situ* em rocha competente que pode ocorrer em escavações a grande profundidade, mais comum em mineração;
- iii) Instabilidade em maciços intemperizados ou rochas expansivas, geralmente ocorre em rochas brandas;
- iv) Instabilidade devido à pressão hidráulica ou fluxo de água excessivo através do maciço, mais danosa quando associada a uma das instabilidades anteriormente citadas.

O método empírico aqui utilizado, o Sistema Q (Barton et al. 1974) considera três dos quatro modos de falha considerados citados por Hoek & Brown (1980). Como os autores do sistema Q não levaram em consideração as propriedades da rocha intacta, o método deve ser utilizado com cautela em rochas brandas.

Obras civis, como túneis rodoviários, metrô e fundações em rocha, ocorrem a uma profundidade menor do que 500 m. Nessas condições as descontinuidades são mais frequentes, o material é mais intemperizado e o maciço está submetido a um estado de tensão de menor magnitude. Devido à presença acentuada de fraturas e baixo estado de tensões, o comportamento do maciço costuma ser regido pela estrutura geológica.

2 | MÉTODOS

2.1 Método Empírico

Baseado na análise de mais de 200 casos de túneis na região da Escandinávia, Barton *et al.* (1974), do Instituto Norueguês de Geotecnia, propuseram o Sistema Q, um índice numérico para a determinação da qualidade do maciço rochoso e o suporte necessário para túneis. O valor de Q varia de acordo com a Equação 1 entre 0,001 até 1000. O sistema é função de seis parâmetros (RQD, Número de famílias de descontinuidades (j_n), Rugosidade das faces dos blocos (j_r), Alteração da face das descontinuidades (j_a), condições de água (j_w) e o estado de tensões (SRF).

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{j_r}{j_a} \times \frac{j_w}{SRF} \quad (1)$$

Os seis parâmetros são agrupados em três quocientes. O primeiro quociente (RQD/) representa a estrutura geológica existente e fornece uma estimativa do tamanho dos blocos constituintes do maciço.

O quociente (j_r / j_a) representa as características de atrito entre os blocos que formam o maciço. O valor da $\text{cotg}(j_r / j_a)$ é uma aproximação razoável do ângulo de atrito encontrado no maciço. O parâmetro j_r é a descrição da superfície das descontinuidades, se é rugosa, lisa, ondulada ou plana. Porém, o preenchimento, se houver, pode governar a resistência ao cisalhamento dos blocos, dependendo da espessura e resistência do mesmo. O parâmetro j_a corresponde à influência do preenchimento e da alteração nas paredes das descontinuidades.

O último quociente (j_w / SRF) consiste na análise dos esforços atuantes no maciço. O parâmetro j_w é a medida da pressão ou fluxo de água presente no maciço. A presença de água prejudica a resistência do maciço por dois principais mecanismos: i) Reduz a tensão efetiva devido à poropressão e ii) Altera o preenchimento das descontinuidades, reduzindo a compacidade do material “lavando” a descontinuidade, por processos de carreamento. Vale ainda citar que a presença de água acelera os processos de intemperismo, alterando a rocha adjacente às descontinuidades, entre outros efeitos. De forma geral, o parâmetro SRF descreve a relação entre tensões e resistência da rocha nas proximidades da escavação.

Baseado em casos documentados, Barton et al. (1974) criaram uma relação entre o valor de Q e o suporte permanente necessário. Os autores desenvolveram um ábaco para fornecer uma estimativa do tipo, quantidade e dimensões do suporte necessário, relacionando a dimensão efetiva, diâmetro do túnel dividido por um fator de segurança que varia com a função da escavação, com o valor de Q.

2.2 Método Numérico

Segundo Jing (2003), as dificuldades na modelagem numérica de maciços rochosos se encontram no fato de que a rocha é um material geológico e natural, logo, as propriedades físicas e mecânicas devem ser estabelecidas e não definidas através de um processo industrial. De acordo com Harrison & Hudson (2000), o maciço é majoritariamente descontínuo, anisotrópico, não-homogêneo e não elástico (meio DIANE). O material é sujeito a tensões e devido ao fraturamento e porosidade pode haver, dentro do maciço, fluidos, como: ar, gás natural, óleo e água. Esses efeitos aliados com a temperatura geram condições complexas de tensões *in situ* que em conjunto com a longa história geológica dificultam a representação matemática através de modelos numéricos.

Goodman (1989) argumenta que os processos de falha no maciço rochoso são ainda mais complicados, quando comparado com a rocha intacta, devido à presença de descontinuidades como fraturas, falhas e zonas de cisalhamento. Descontinuidades

reduzem a resistência do material além de introduzir não-linearidades e anisotropia no comportamento tensão-deformação.

Além da carência de dados obtidos em campo, a aplicação de modelagem numérica em mecânica das rochas deve levar em consideração os fatores citados acima, a degradação progressiva do material durante o processo de deformação e a influência de descontinuidades já existentes.

Contudo, os métodos de meio contínuo tradicionais têm dificuldade de identificar a formação de novas fraturas, e quando conseguem, devem considerá-las com espessura zero para manter a continuidade do meio. A solução mais usada para considerar a presença de descontinuidades na aplicação da abordagem contínua é a homogeneização, que consiste em reduzir, dentro de um modelo elasto-plástico convencional, o módulo de deformação da rocha e seus parâmetros de resistência para incluir o efeito degradante introduzido pela geologia em questão. O sistema GSI (Hoek, 1999) trata o maciço dessa forma. Outras técnicas que podem representar explicitamente a propriedade das descontinuidades requerem grande poder computacional (Jing, 2003).

Para avaliar a estabilidade da escavação foi usado o *Software RS²* da *RocScience*. O programa, utilizando o método dos elementos finitos, permite avaliar em duas dimensões diversos fatores como deformações, estado de tensões, fator de segurança da escavação, existência e tipos de falhas e soluções de suporte. Porém, devido a limitações do método dos elementos finitos, foi necessário avaliar a possibilidade do deslizamento, queda ou rotação de blocos com o *Software UnWedge*. Essa ferramenta permite calcular a estabilidade dos maiores blocos formados pela interseção entre a escavação e as descontinuidades, possibilitando avaliar diferentes tipos e arranjos de suportes. Para a definição do tipo, quantidade e arranjo do suporte em uma escavação deve ser feita uma compatibilização entre as soluções encontradas nos dois tipos de análises.

3 | ESTUDO DE CASO

Para aplicar os conhecimentos dissertados neste trabalho, foi escolhido um par de túneis rodoviários paralelos, com cerca de 800 m de comprimento e a pouca profundidade, em fase de projeto na região de Florianópolis, SC. A seção escolhida possui uma camada de solo próxima à superfície. A rocha é Migmatito de cor cinza com estrutura migmática e textura nematoblástica. Vale ressaltar que esse estudo é apenas teórico e não questiona a qualidade ou as decisões de projeto.

3.1 Análise de ensaios

A partir de ensaios e observações de campo disponíveis, apresentados de acordo com as orientações da Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas, ISRM (1978), foi possível estimar os parâmetros para as análises propostas, de forma direta ou através de

dados e correlações presentes na literatura.

Os ensaios utilizados na obtenção de parâmetros foram sondagens mistas que apresentam a descrição dos materiais, coerência, grau de alteração, preenchimento das descontinuidades e nível d'água. A permeabilidade do maciço foi obtida por ensaios de perda d'água sob pressão. Para descrever com maior precisão a orientação e a profundidade das descontinuidades foi utilizado um método geofísico de imageamento acústico.

Porém, as propriedades da rocha intacta não são estabelecidas nos ensaios, apenas características mineralógicas, coerência e grau de alteração. A resistência mecânica da rocha foi determinada com os valores existentes em Lama & Vutukuri (1978) e com o *Software RocData* desenvolvido pela *RocScience* que permite determinar a envoltória de ruptura de Hoek & Brown.

3.2 Parâmetros Utilizados no Sistema Q

3.2.1 Quociente (RQD/j_n)

Deere et al. (1967) propôs uma classificação quantitativa do maciço de fácil obtenção, uma vez que, o uso de sondagens rotativas é uma prática altamente difundida. Apesar de problemas inerentes ao método, como a influência da orientação da perfuração de sondagem, o método é usado nos principais sistemas de classificação geomecânica. O valor de RQD na seção estudada é de 97%.

Para identificar as famílias de descontinuidades presentes interpretando os dados obtidos no imageamento acústico foi utilizado o *Software DIPS*. Os resultados são apresentados na Figura 1.

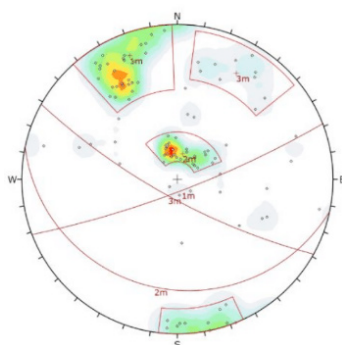


Figura 1 – Agrupamento de descontinuidades em famílias.

Foram encontradas três famílias de descontinuidades e algumas descontinuidades aleatórias. O valor de j_n , de acordo com NGI (2015), é 12.

3.2.2 Quociente (j_r/j_a)

Os valores de foram obtidos através da descrição da rugosidade presente no relatório de sondagens mistas, para o parâmetro foi analisado o grau de alteração e a descrição do preenchimento relatado no mesmo documento.

Os valores dos dois parâmetros foram agrupados de acordo com a famílias encontradas no Item anterior. Os resultados estão dispostos na Tabela 1.

| Família | 1 | 2 | 3 |
|-----------|-----|-----|-----|
| j_r | 2,4 | 2,6 | 3,0 |
| j_a | 6 | 3 | 2,6 |
| j_r/j_a | 0,4 | 0,9 | 1,2 |

Tabela 1 – Divisão dos parâmetros de resistência ao cisalhamento do Sistema Q entre as famílias de descontinuidade.

3.2.3 Quociente (j_w/SRF)

O valor do parâmetro j_w foi definido com 0,66, indicando fluxo médio com gotejamento dentro do túnel.

Devido à pouca profundidade da escavação e ao baixo nível de tensões atuantes, o valor do parâmetro SRF foi tomado como 2.

3.2.4 Dimensão Efetiva

Na determinação desse parâmetro primeiramente foi definido o valor de ESR (*Excavation Support Ratio* – Relação de Suporte da Escavação), ou seja, um quociente de segurança que varia de acordo com a finalidade do empreendimento. Túneis temporários de mineração possuem ESR entre 3 e 5, estações nucleares subterrâneas tem ESR de 0,8. No caso de túneis rodoviários o valor de ESR recomendado em NGI (2015) é de 1,3.

A dimensão efetiva é a razão entre a maior dimensão da escavação, aproximadamente 16,5m, e ESR. Logo o túnel tem uma dimensão efetiva de 12,7m.

3.3 Parâmetros Utilizados na Modelagem Numérica

3.3.1 Descrição das Descontinuidades

Como foi visto anteriormente, as descontinuidades foram agrupadas em três famílias e a orientação média das famílias foi determinada. A partir das medidas de profundidade existentes nos resultados do ensaio de imageamento acústico, foi possível calcular o espaçamento verdadeiro para cada família.

A persistência das descontinuidades é de difícil determinação, especialmente a partir de furos de sondagem, porém é um dos parâmetros mais importantes na determinação das dimensões dos blocos que formam o maciço. O procedimento utilizado

para contornar esse problema é considerar a persistência como infinita, uma vez que essa seria a situação mais crítica. Contudo, isso fornece um resultado muito conservador e não é compatível com os princípios de otimização atuais. Vakili et al. (2014) estudando Redes Discretas de Fraturas (DFN – *Discrete Fracture Network*) se depararam com esse problema e desenvolveram uma relação entre a frequência de fraturas, o parâmetro j_v (fraturas/m³) e a persistência de acordo com a Equação 2. Os autores ressaltam que essa relação só deve ser aplicada em descontinuidades com orientações similares, logo, todos os parâmetros foram calculados individualmente para cada família.

$$Persistência = 1,68 \frac{Frequência^{0,515}}{j_v^{0,518}} \quad (2)$$

Através de uma relação entre RQD e desenvolvida por Palmstron (2005), Equação 3, foi possível estimar o parâmetro J_v .

$$RQD = 110 - 2,5 * J_v \quad (4 \leq J_v \leq 44) \quad (3)$$

Para estimar a resistência das descontinuidades do maciço foi escolhido o método desenvolvido por Barton & Choubey (1977) e as modificações descritas em Barton & Bandis (1990), pela facilidade e confiabilidade na obtenção de parâmetros a partir dos dados disponíveis. O método estima a resistência ao cisalhamento (τ) através da Equação 4.

$$\tau = \sigma_n \text{tg}[JRC * \log\left(\frac{JCS}{\sigma_n}\right) + \varphi_r] \quad (4)$$

Onde σ_n é a tensão normal à descontinuidade, φ_r é o ângulo de atrito residual, JRC é o Coeficiente de Rugosidade das Descontinuidades e JCS é Resistência à Compressão Uniaxial das Paredes das Descontinuidades.

O parâmetro σ_n é o fator externo que mais influência na resistência ao cisalhamento entre blocos, dependendo do estado de tensões *in situ* e presença de água no maciço.

O parâmetro φ_r pode ser estimado a partir do parâmetro j_a , do Sistema Q.

O Coeficiente de Rugosidade das Descontinuidades aumenta com o aumento da rugosidade, variando entre 0 (planar e lisa) até 20 (ondulada e rugosa). Este coeficiente foi estimado comparando os resultados dos ensaios de campo com os resultados de Barton & Choubey (1977).

A resistência à compressão uniaxial do material adjacente às descontinuidades, JCS, é estimada como uma fração do valor da resistência da rocha intacta, dependendo do grau de alteração e intemperismo do maciço. Barton & Choubey (1977) estimam um valor de $[\sigma_c/JCS] = 4$ como um limite inferior conservador. Os valores de JCS foram atribuídos de acordo com o grau de alteração do maciço. O relatório de sondagens mistas divide o grau de alteração em quatro classes. Para a classe menos alterada foi utilizado $[\sigma_c/JCS] = 1,5$. Foram atribuídos valores de 2, 3 e 4 para as outras classes.

Na Tabela 2 estão dispostos os parâmetros de descontinuidades utilizados na modelagem numérica.

| Família | 1 | 2 | 3 |
|-------------------------|-------|-------|-------|
| Mergulho (°) | 82 | 19 | 76 |
| Azimute (°) | 159 | 192 | 209 |
| Espaçamento (m) | 0,429 | 2,158 | 1,438 |
| Frequência (Fraturas/m) | 0,6 | 0,45 | 0,15 |
| Persistência (m) | 0,56 | 0,54 | 0,27 |
| J_r | 2,4 | 2,6 | 3,0 |
| J_a | 6 | 3 | 3 |
| Φ_r (°) | 19 | 25 | 27,5 |
| JCS (MPa) | 47 | 50 | 56 |
| JRC | 13 | 14 | 14 |
| RQD | 97% | 100% | 97% |

Tabela 2 - Divisão dos parâmetros utilizados na modelagem numérica entre as famílias de descontinuidade.

3.3.2 Propriedades Rocha Intacta

Para descrever as propriedades do material rochoso foi escolhido o critério de ruptura Hoek & Brown (1980). Na escala de rocha intacta devem ser estimados dois parâmetros: o primeiro é a resistência à compressão uniaxial da rocha intacta. Os relatórios disponíveis não possuíam ensaios que analisam as propriedades mecânicas do material, portanto, o valor desse parâmetro foi definido segundo os valores presentes em Lama & Vutukuri (1978).

O segundo Parâmetro, m_p , idealmente deve ser determinado em laboratório, porém, na falta de ensaios, o *Software RocData* fornece valores para diversos tipos de rocha.

Aumentando a escala para o nível do maciço rochoso é necessária a utilização de um terceiro parâmetro, o GSI (*Geological Strength Index*) que avalia o grau de liberdade do maciço. Inicialmente o valor de GSI era calculado a partir de classificações geomecânicas já existentes. GSI foi estimado a partir dos parâmetros J_r , J_a e RQD do Sistema Q.

3.3.3 Esforços Atuantes no Maciço

Na determinação das tensões *in situ* foi feita a suposição de que a escavação se encontra suficientemente no interior do maciço para que as direções das tensões principais sejam verticais e horizontais. Hoek & Brown (1980) expõem que a tensão vertical (σ_z) pode ser considerada como a sobrecarga das camadas adjacentes de acordo com a Equação 5.

$$\sigma_z = \sum_{i=1}^n \rho_i \cdot g \cdot z_i \quad (5)$$

Onde, n é o número de camadas, g é a aceleração da gravidade, ρ_i é a densidade da camada i e z_i é a espessura da camada i .

Os autores, analisando tensões *in situ* em diversas profundidades, concluíram que obras subterrâneas a pouca profundidade, $z < 500$ m, os valores de k , Equação 6, são maiores que a unidade.

$$k = \frac{\text{Tensão horizontal média}}{\text{Tensão vertical } \sigma_z} \quad (6)$$

4 | RESULTADOS

4.1 Sistema Q

O valor de Q foi inicialmente calculado com a média dos parâmetros de cada família. Porém de acordo com NGI (2015) Q não é um valor fixo e sim um intervalo. Variando o quociente (j_r/j_a) entre 0,4 e 1,2 (valores da família 1 e 3 respectivamente), o parâmetro SRF entre 1 e 5, NGI (2015) expõe que maciços com pequenas magnitudes de tensão podem ter instabilidade devido à dilatação e o parâmetro j_w entre 0,5 e 1, uma vez que o fluxo de água no maciço pode variar com a precipitação no local, é possível estimar valores para Q de 0,32 a 9,70.

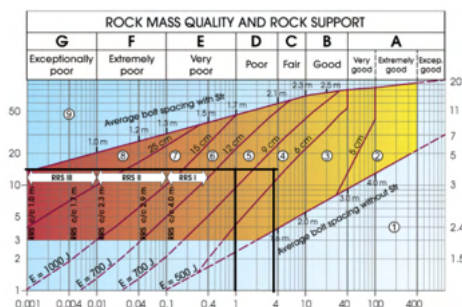


Figura 2 – Ábaco de suporte do Sistema Q, com o intervalo de valores calculado (NGI, 2015 – Modificado).

A dimensão efetiva da escavação é 12,7. Utilizando o ábaco da Figura 2 é possível encaixar o maciço nas classes de suporte 3, 4, 5 e 6, descritas em NGI (2015).

O sistema de suporte para as classes abrangidas pelo intervalo de valores do sistema Q são:

Classe 3 – Concreto projetado reforçado com fibras, com espessura de 5 a 6 cm, e tirantes com espaçamento de 2,2 m e 4 m de comprimento;

Classe 4 - Concreto projetado reforçado com fibras, com espessura de 6 a 9 cm, e tirantes com espaçamento de 2 m e 4 m de comprimento;

Classe 5 - Concreto projetado reforçado com fibras, com espessura de 9 a 12 cm, e tirantes com espaçamento de 1,8 m e 4 m de comprimento;

Classe 6 - Concreto projetado reforçado com fibras, com espessura de 9 a 12 cm, tirantes com espaçamento de 1,5 m e 4 m de comprimento e arcos reforçados de concreto projetado (duas camadas com seis vergalhões, 40 cm de espessura de concreto projetado e dois tirantes com diâmetro de 16 a 20 mm).

4.2 Métodos Numéricos

4.2.1 Variação das Persistências

Devido às incertezas no cálculo da persistência das descontinuidades, os modelos foram elaborados de três maneiras. O efeito da dimensão das descontinuidades foi primeiramente avaliado no Software UnWedge.

A primeira simulação foi feita com as persistências calculadas pela Equação 2, Figura 3 (a esquerda), para a segunda simulação as persistências utilizadas foram três vezes maiores do que as anteriores, Figura 3 (à direita). Para os dois primeiros casos não há necessidade de suporte uma vez que o bloco mais desfavorável tem Fator de Segurança igual a 64, ou seja, as forças de intertravamento dos blocos são suficientes para evitar o deslocamento dos blocos.

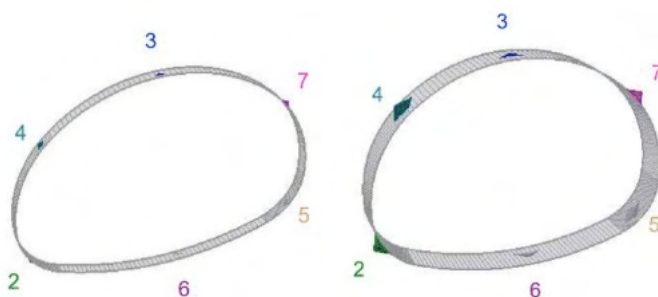


Figura 3 – Dimensão dos blocos em relação ao túnel com a variação das persistências.

Posteriormente, as descontinuidades foram tomadas como infinitas, Figura 4. Nesse caso, três blocos na parte superior da escavação tem um FS menor do que 1, indicando deslocamento. Para a estimativa do suporte foi colocada uma camada de 5cm de concreto projetado que foi o suficiente. Os resultados podem ser encontrados na Tabela 3.

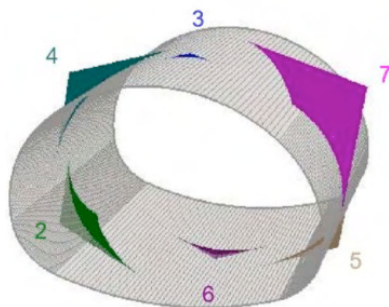


Figura 4 - Maiores blocos formados pela interseção das descontinuidades, persistência infinita, e a escavação.

| Bloco | FS (Sem suporte) | FS (5cm de concreto projetado) |
|-------|------------------|--------------------------------|
| 2 | 31,416 | 325,335 |
| 3 | 0,685 | 356,565 |
| 4 | 0,386 | 10,657 |
| 5 | 18,134 | 469,931 |
| 6 | Estável | Estável |
| 7 | 0,818 | 11,229 |

Tabela 3 – Fator de Segurança dos blocos sem e com suporte.

4.2.2 Variação das Tensões *in situ*

Em razão da falta de ensaios para estabelecer o estado de tensões *in situ* e as direções principais além das incertezas inerentes à estimativa destes, foram realizadas simulações que variam os valores e as direções das tensões principais.

Foram realizadas modelagens com três variações do estado de tensões:

- i) $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_z$, $k=1$, Figura 6;
- ii) $\sigma_1 = 2\sigma_3$, $\sigma_3 = \sigma_2$, $k=3$ e σ_1 é horizontal e está contido no plano, Figura 7;
- iii) $\sigma_1 = 2\sigma_3$, $\sigma_3 = \sigma_2$, $k=3$ e σ_1 é horizontal e normal ao plano, Figura 8.

As persistências utilizadas na modelagem são três vezes aquelas obtidas na Equação 2.

Os resultados da modelagem numérica estão em termos de fator de segurança, de acordo com a Figura 5, onde se encontra a legenda para os modelos representados nas imagens de 6 a 9.

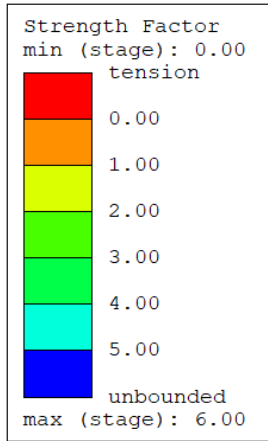


Figura 5 – Fator de Segurança.

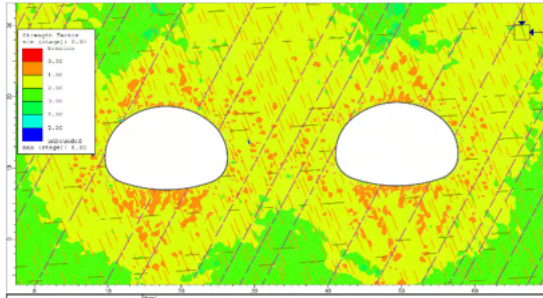


Figura 6 – Fator de Segurança da variação i.

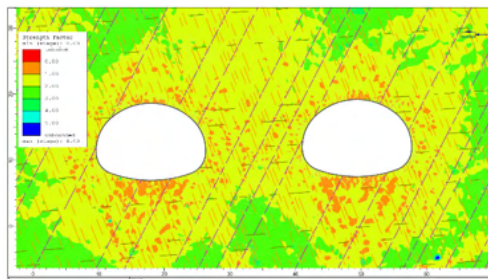


Figura 7 – Fator de Segurança da variação ii.

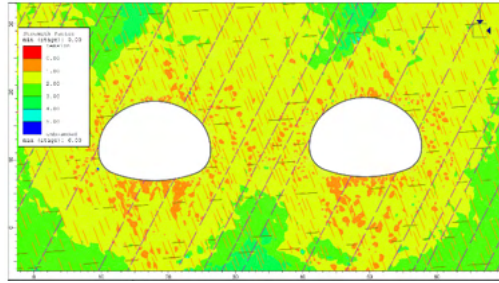


Figura 8 – Fator de Segurança da variação iii.

Para escolher a solução de suporte mais econômica o aumento da espessura do concreto projetado e o arranjo e comprimento dos tirantes foi aumentado gradativamente.

A estimativa final de suporte, Figura 8, realizada na variação iii, utiliza 45 cm de concreto projetado e tirantes de 6 m de comprimento com espaçamento de 1 m.

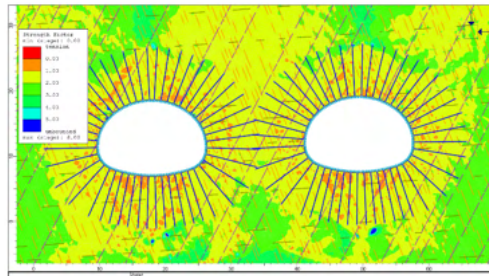


Figura 9 – Arranjo do sistema de suporte.

5 | CONCLUSÕES

Primeiramente, foi possível observar que de fato a classificação geomecânica Q possibilitou organizar os ensaios e identificar os parâmetros mais importantes para as modelagens numéricas.

Foi clara a influência das dimensões das persistências no Software UnWedge, afirmando a importância de determinar este parâmetro de forma a reduzir a quantidade de suporte, otimizando a execução do projeto.

O efeito da mudança das direções principais das tensões *in situ* causaram variações bem sensíveis. Isso se deve à pouca profundidade do túnel, resultando em um baixo valor de σ_3 , que mesmo com $k=3$, a magnitude das tensões é pequena quando comparada com a resistência da rocha intacta.

O sistema de suporte encontrado nos dois métodos foi bastante discrepante. A modelagem numérica permite analisa parâmetros de tensão – deformação como a plastificação dos suportes, descontinuidades ou da rocha intacta. Para conter esses

efeitos o modelo necessita de mais suporte do que o estimado através da classificação geomecânica, demonstrando que apesar da agilidade e facilidade do uso, o Sistema Q não deve ser a única ferramenta para determinar o sistema de suporte de um túnel.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer ao colega Leandro Lima Rasmussem pelas recomendações de artigos, conversas e observações que elevaram o nível deste trabalho.

Aos professores André Pacheco de Assis e Márcio Muniz de Farias pelas orientações e por fornecer as ferramentas necessárias para a realização das simulações numéricas.

REFERÊNCIAS

- Barton, N.R. & Bandis, S. (1990). **Review of predictive capabilities of JRC-JCS model in engineering practice.** In *Rock joints, proc. int. symp. on rock joints, Loen, Norway*, (eds N. Barton and O. Stephansson), 603-610. Rotterdam: Balkema.
- Barton, N.R. & Choubey, V. (1977). **The shear strength of rock joints in theory and practice.** *Rock Mech.* 10(1-2), 1-54.
- Barton, N.R., Lien, R. & Lunde, J. 1974. **Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support.** *Rock Mech.* 6(4), 189-239
- Bieniawski, Z.T. 1989. **Engineering rock mass classifications.** New York: Wiley.
- Deere, D.U., Hendron, A.J., Patton, F.D. & Cording, E.J. 1967. **Design of surface and near surface construction in rock.** In *Failure and breakage of rock, proc. 8th U.S. symp. rock mech.*, (ed. C. Fairhurst), 237-302. New York: Soc. Min. Engrs, Am. Inst. Min. Metall. Petrolm Engrs.
- Goodman, R. E. **Introduction to Rock Mechanics.** 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1989.
- Harrison, J.P. & Hudson, J.A. **Engineering rock mechanics. Part 2: illustrative workable examples.** In: S.arkk.a P, Eloranta P, editors. Oxford: Pergamon, 2000.
- Hoek, E. **Putting numbers to geology--an engineer's viewpoint.** *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, v. 32, n. 1, p. 1-19, 1999.
- Hoek, E. & Brown, E. T. **Underground excavations in rock.** London: *The Institution of Mining and Metallurgy*, 1980.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics) (1978) **Suggested Methods for the Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses.** *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 15, 319-368.
- Jing, L. **A review of techniques, advances and outstanding issues in numerical modelling for rock mechanics and rock engineering.** *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, v. 40, n. 3, p. 283-353, 2003.

Lama, R.D. & Vutukuri, V.S. (1978) **Handbook on Mechanical Properties of Rocks**. 2nd Edition, Trans Tech Publications, Switzerland.

NGI (2015). Norwegian Geotechnical Institute. Using the Q-system. Rock mass classification and support design, Oslo, 54p.

Palmstrom, A. (2005). **Measurements of and Correlations between Block Size and Rock Quality Designation (RQD)**. *Tunnels and Underground Space Technology* 20(4): pp. 362-377.

Vakili, A.; Teet, R.; Woo, K.; Veth, A & Penney, A. (2014). **Understanding Critical Parameters in Stochastic Discrete Fracture Networks**.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Automação 2, 6, 43, 233, 241, 242

B

Barra de leds 3, 42, 43, 44, 51, 52, 55, 58

Borracha natural vulcanizada 60, 61, 70

Braço robótico 6, 203, 204, 207, 209, 210, 211

C

Capacidade de suporte 112, 113, 118

Cerrado 125, 128, 136

Circuito integrado 42, 45

Classificação geomecânica 14, 19, 27, 28

Coagulantes 180, 181, 186, 187

Coarctação da aorta 141, 142, 143, 144, 145, 148, 153

Compostos de borracha 60

Construccionismo 155, 157

Controle adaptativo 3, 30, 31

Crecimiento en pinos, biomasa 90

Cromatografia 2, 125, 130, 131

Curtume 180, 181, 183

D

Degradação 18, 61, 179, 180, 184

Densidade de ligações 3, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69

Drenagem 5, 102, 104, 105, 107, 110, 168, 172, 173, 174, 176, 178, 179

E

Educación en ingeniería 155

Elementos terras 5, 137, 140, 212, 213

Escavações subterrâneas 14, 15

Estabilidade 15, 18, 60, 61, 69, 134, 168

Estilos de aprendizaje 2, 155, 156, 157, 158, 160, 162, 166, 167

Extração líquido 5, 137, 138, 140, 213

G

Geotêxtil 5, 168, 177, 178, 179

Guanandi 125, 135, 136

H

Hidráulica 6, 16, 102, 103, 112, 130, 233, 235, 240, 241

Hidrología 179

I

Identificação de sistemas 2, 30

Impressão 3D 2, 141, 142

Incremento corriente anual 90, 92, 97

Incremento medio anual 90, 92, 97

Investigações de campo 15

L

Laboratório 14, 15, 22, 130, 187, 233, 234, 235, 236

Laboratório virtual 233

Landi 125

M

Maciço fraturado 14

Manejo forestal 1, 8, 10, 11, 100

Martelo vibratório 4, 112, 116

Melhoramento de solo 2, 4, 112

Métodos numéricos 2, 14, 24, 155, 156, 161, 163, 165, 166

México 4, 1, 2, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 90, 91, 98, 99, 100, 101, 155

Microcontrolador 3, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 49, 50, 51, 53, 57, 58, 204, 206, 207

Microestrutura 60, 61, 67

Modelagem computacional 14

Mooney-rilvin 60, 62

P

Pilhas de estéril 168

Plantaciones forestales 3, 90, 91, 100

Pneumática 6, 233, 235, 236, 240, 241

Propriedades macroscópicas 60

R

Reconhecimento de padrões 2, 6, 203, 204

Recursos forestales 1, 2, 4, 5, 6, 7, 10, 12

Rede neural artificial 203, 204, 206, 207

Robótica 30, 210

S

Sinal eletromiográfico 203, 204, 206

Standard penetration test 112, 113

Stents bioabsorvíveis 142, 147, 151, 154

T

Tomografia computadorizada 141, 142, 148, 153

Transdutor de temperatura 42, 43, 46

Túnel rodoviário 14

W


Webquest 5, 155, 163, 167



Gears of the future

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 


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

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

Gears of the future

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

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

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 