



**4º CONGRESSO BRASILEIRO  
DE TÚNEIS E ESTRUTURAS  
SUBTERRÂNEAS  
SEMINÁRIO INTERNACIONAL  
"LATIN AMERICAN TUNNELLING  
SEMINAR - LAT 2017"**

*03 a 05 de abril de 2017 / São Paulo - SP*



**LIVRO DE  
RESUMOS**

***BOOK OF ABSTRACTS***

# SUMÁRIO

## SUMMARY

A DIMENSÃO TRIDIMENSIONAL DO ESPAÇO URBANO - PROPOSTA PARA IMPLANTAÇÃO DE UM PROGRAMA DE GERENCIAMENTO DOS TÚNEIS VIÁRIOS DOS MUNICÍPIOS A PARTIR DE UMA POLÍTICA DE OCUPAÇÃO PLANEJADA, OTIMIZADA E PERMANENTE DO SUBSOLO .....	4
A EXTENSÃO DA LINHA 5 DO METRÔ DE SÃO PAULO: RESUMO DAS PRINCIPAIS LIÇÕES APRENDIDAS NA CONCLUSÃO DO PROJETO E DO ACOMPANHAMENTO TÉCNICO DA OBRA .....	4
ABERTURAS EM POÇOS DE GRANDE DIÂMETRO.....	4
ACOMPANHAMENTO TÉCNICO DE TUNELADORA EPB - AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS OPERACIONAIS DA MÁQUINA .....	5
ACTUALIDAD DE LAS OBRAS SUBTERRÂNEAS EN EL ÁMBITO METROPOLITANO DE LA CIUDAD DE BUENOS AIRES .....	5
ANÁLISE 2D DOS EFEITOS DO MELHORAMENTO DAS CONDIÇÕES DE MACIÇOS NO COMPORTAMENTO DE TÚNEIS .....	6
ANÁLISE DA INSTRUMENTAÇÃO DURANTE A ESCAVAÇÃO DE TÚNEL DE BAIXA COBERTURA EM SOLO SOB UMA RODOVIA EM OPERAÇÃO .....	6
ANÁLISE DE CASOS PRÁTICOS DA ADOÇÃO DO PROCESSO BIM EM EMPREENDIMENTOS DE INFRAESTRUTURA .....	6
ANÁLISE DE RISCO DE TÚNEIS EM ROCHA .....	7
ANÁLISE PROBABILÍSTICA DE COMPORTAMENTO DE TÚNEIS EM ROCHAS .....	7
APLICAÇÃO DE SHAPE ACCEL ARRAYS (SAA'S) EM OBRAS SUBTERRÂNEAS .....	8
APLICAÇÕES GEOTÉCNICAS PARA REDUÇÃO DA DILUIÇÃO OPERACIONAL NA LAVRA SUBTERRÂNEA: ESTUDO DE CASO MINERAÇÃO SERRA GRANDE .....	8
ASPECTOS GEOTÉCNICOS DOS MACIÇOS AO LONGO DO TRECHO ENTRE VILA SONIA E TABOÃO DA LINHA 4-AMARELA, DO METRÔ DE SÃO PAULO .....	8
BIM GEOTÉCNICO - SOLUÇÃO PARA A QUALIDADE DAS INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS .....	9
BIM IN TUNNELLING - CONSIDERATIONS REGARDING FURTHER DEVELOPMENT REQUIREMENTS .....	9
CONCEITO BIM APLICADO A ESTAÇÕES DE METRÔ .....	10
CUSTOMIZED PROTECTIVE LININGS - PROJECT INSIGHTS ON DESIGN AND CONSTRUCTION .....	10
DEEP HARD ROCK MINING AND ROCK MECHANICS CHALLENGES .....	10
DEFORMATION ANALYSIS FOR LARGE UNDERGROUND CAVERNS IN A MODERATELY JOINTED ROCK MASS .....	11
DESAFIOS E SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS APLICADAS NA ESCAVAÇÃO DE UM TÚNEL EM SAPRÓLITO E SOLO RESIDUAL DE GNAISSE DA LINHA 5 - LILÁS DO METRO DE SÃO PAULO .....	11
DETERMINAÇÃO DE FATOR DE CORRELAÇÃO A PARTIR DOS MÉTODOS DE CARACTERIZAÇÃO DO MACIÇO ROCHOSO - MINA CUIABÁ - SABARÁ (MG) .....	12
DEVELOPMENT STEPS OF MULTI-MODE MACHINES TO SUIT ACTUAL GROUND CONDITIONS .....	12
ENGENHARIA DE TÚNEIS NO BRASIL: DESAFIOS E TENDÊNCIAS .....	12
ENSAIOS DE ABRASIVIDADE EM ROCHA COMO SUPORTE PARA PREVISÃO DO CONSUMO DAS FERRAMENTAS DE PERFURAÇÃO - REVISÃO DO MÉTODO CERCHAR E CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	13
ESTAÇÃO CAMPO BELO DA LINHA 5 DO METRO DE SÃO PAULO - ESTUDO DO COMPORTAMENTO .....	13
ESTUDO PARAMÉTRICO DA CONVERGÊNCIA DE TÚNEIS PROFUNDOS: APRESENTAÇÃO DE ÁBACOS PARA PRÉ-DIMENSIONAMENTO .....	14
EXECUÇÃO DE TÚNEL VIÁRIO SOB RIO, EM ZONA URBANIZADA, EM LIMA, PERÚ .....	14
FAIR CONTRACTS FOR UNDERGROUND CONSTRUCTIONS - THE AUSTRIAN PRACTICE .....	14
HIGH QUALITY REBUILDS FOR ENSURING RESOURCE AND ECOLOGICAL EFFICIENCY IN TUNNELING .....	15
IMPACTO NA SAÚDE PÚBLICA PELA NÃO EXPANSÃO DAS REDES SUBTERRÂNEAS DE METRO NA CIDADE DE SÃO PAULO .....	15

IMPERMEABILIZAÇÃO EM ESTRUTURAS SUBTERRÂNEAS (TÚNEIS E ESTAÇÕES) COM MEMBRANAS SINTÉTICAS: O SISTEMA DE VÁCUO, TESTÁVEL E REPARÁVEL .....	15
IMPLANTAÇÃO DE UM EDIFÍCIO ACIMA DE UM TÚNEL EM SOLO JÁ EXISTENTE .....	16
INOVAÇÃO E USO DE TECNOLOGIA EM MINERAÇÃO SUBTERRÂNEA .....	16
INTERAÇÃO DE TUNELADORAS COM FACE MISTA TRANSICIONAL .....	16
INTERLIGAÇÃO DA NOVA ESTAÇÃO SANTA CRUZ DA LINHA 5 COM A ESTAÇÃO SANTA CRUZ DA LINHA 1 DO METRO DE SÃO PAULO .....	17
INTERPRETAÇÃO DO OVERBREAK DA RAMPA FONTE GRANDE SUL (MINA CUIABÁ) E SUA INTERAÇÃO COM O SISTEMA DE SUPORTE .....	17
LIMA METRO - LINE2: GEOTECHNICAL ASPECT AND CONSTRUCTION METHODS .....	18
MEDIDAS COMPENSATÓRIAS NA VENTILAÇÃO E PROTEÇÃO PASSIVA PELO USO DE FFFS EM TÚNEIS .....	18
METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DE ESTABILIDADE DE ESCAVAÇÕES EM MEIOS DESCONTÍNUOS, A PARTIR DE TESTEMUNHOS DE SONDAGEM SEMI-ORIENTADOS .....	19
MÉTODOS ESTATÍSTICOS APLICADOS EM MACIÇOS ROCHOSOS FRATURADOS PARA A ANÁLISE DE TÚNEIS .....	19
MÉTODOS NUMÉRICOS DE INTERAÇÃO MACIÇO-SUPORTE PARA POÇOS DE GRANDE DIÂMETRO .....	19
METRÔ - RJ: UM AMBIENTE DESFIADOR PARA CONSTRUÇÕES SUBTERRÂNEAS - O CASO DA ESTAÇÃO JARDIM DE ALAH .....	20
MINA DE VAZANTE - DESENVOLVIMENTO DE GALERIAS EM AMBIENTE CÁRSTICO COM GRANDES AFLUXOS D'ÁGUA .....	20
MITIGAÇÃO DE RISCOS NOS TÚNEIS DA TRANSOLÍMPICA, NO TRECHO DE INTERFERÊNCIA COM ADUTORA DO GUANDÚ .....	20
O IMPACTO DA CONSTRUÇÃO DE REDES DE ESGOTOS E O PLANEJAMENTO URBANO E USO DO ESPAÇO SUBTERRÂNEO .....	21
O USO DO MODELO DE WINKLER NÃO LINEAR NO PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE PAREDES DE POÇOS DE GRANDE DIÂMETRO .....	21
PANORAMA OF UNDERGROUND WORKS IN MEXICO .....	22
PARÂMETROS DE CICLO DE VIDA DE SISTEMAS DE SEGURANÇA E OPERAÇÃO DE TÚNEIS RODOVIÁRIOS .....	22
POÇO DE VENTILAÇÃO E SAÍDA DE EMERGÊNCIA TIETÊ (VSE TIETÊ) DA LINHA 6 DO METRÔ DE SÃO PAULO .....	22
RESISTÊNCIA DA ESTRUTURA DE TÚNEIS RODOVIÁRIOS AOS DANOS CAUSADOS POR INCÊNDIOS .....	23
ROAD TUNNEL SAFETY DEVELOPMENT IN BRAZIL: NOVA SUBIDA DA SERRA TUNNEL, A CASE HISTORY .....	23
SOLUÇÕES PARA MONITORAMENTO DE TÚNEIS FERROVIÁRIOS NA FCA .....	24
STATISTICAL-BASED GENERATION OF JOINT SYSTEMS FOR STABILITY ANALYSIS OF TUNNELS IN DISCONTINUOUS ROCKS MASS .....	24
SUDDEN CONVERGENCE AT THE LOWER PART OF THE WALLS OF THE ITUANGO HYDROELECTRIC ACCESS ROAD TUNNEL .....	24
TBM APPLICATIONS FOR SHORT TUNNELS .....	25
TEOR DE QUARTZO-EQUIVALENTE (EQC) OU GRAU DE ALTERAÇÃO? QUAL DESTES PARÂMETROS É MAIS IMPORTANTE NOS ESTUDOS DE ABRASIVIDADE EM REGIÕES TROPICAIS? .....	25
TOWARDS AN URBAN UNDERGROUND FUTURE: THE FUTURE OF OUR CITIES .....	25
TRATAMENTO DE UMA CAMADA DE TURFA SOB DUAS GALERIAS DE DRENAGEM COM RECOBRIMENTO DE 4,5M PARA PASSAGEM DE SHIELD EPB DE 10,5M - METRO SÃO PAULO - LINHA 5 .....	26
TÚNEIS 4A E 4B DA LIGAÇÃO LOBATO-PIRAJÁ - SALVADOR - BA PROJETO E ACOMPANHAMENTO DA OBRA .....	26
TÚNEL DE ADUÇÃO EM ROCHA METASSEDIMENTAR - PCH PIRAPORA, RIO TIETÊ/SP .....	26
TÚNEL EM AREIAS PURAS ESCAVADO COM TECNOLOGIA DE SHIELD EPB HÍBRIDO DE GRANDE DIÂMETRO NA LINHA 4 DO METRÔ DO RIO DE JANEIRO - (CONSÓRCIO LINHA 4 SUL) .....	26
TÚNELES COMO SOLUCION A SECTORES CRITICOS DE LA CARRETERA INTEROCEÁNICA .....	27
USO DE CÉLULAS TIPO STT-FURNAS NA DETERMINAÇÃO DE TENSÕES IN SITU NA MINA CUIABÁ - SABARÁ/MG .....	28
USO DE TBM EM TÚNEIS DE ADUÇÃO DE PCHS NOS RIOS VERMELHO E NATAL, SC .....	28
USO DO Q-SYSTEM NO DIMENSIONAMENTO DOS SUPORTES NO TÚNEL DE ADUÇÃO DA PCH RONDINHA, PROJETO E CONSTRUÇÃO .....	28

## A DIMENSÃO TRIDIMENSIONAL DO ESPAÇO URBANO - PROPOSTA PARA IMPLANTAÇÃO DE UM PROGRAMA DE GERENCIAMENTO DOS TÚNEIS VIÁRIOS DOS MUNICÍPIOS A PARTIR DE UMA POLÍTICA DE OCUPAÇÃO PLANEJADA, OTIMIZADA E PERMANENTE DO SUBSOLO

João Marcos de Siqueira

**Resumo / Abstract:** A perspectiva de continuidade pós-olímpica, associada a um conjunto de grandes obras subterrâneas conjugadas ao sistema viário, metroviário e de estacionamento do Rio de Janeiro, bem como a cada vez mais intensa utilização do espaço subterrâneo urbano do município e região metropolitana, exhibe um cenário alentador. Implicam em obras de infraestrutura, implantação, ampliação e modernização de equipamentos urbanos e de serviços públicos, constituindo os fundamentos determinantes que estabeleceram as principais diretrizes deste trabalho.

Este artigo apresenta uma primeira abordagem sobre o assunto, estabelecendo diretrizes e critérios básicos das atividades relacionadas tanto às condições atuais dos túneis viários existentes, como àqueles que poderão ser implantados a curto e médio prazo, integrando o espaço subterrâneo na ambiência urbanística. Seu enfoque está calcado em dispositivos legais estabelecendo que, independentemente da esfera de administração pública na qual esteja vinculado o empreendimento, cabe ao governo municipal o ordenamento, gerenciamento e controle do seu espaço subterrâneo urbano. Estes princípios estabelecem o fio condutor do presente trabalho. Objetivam a implantação de uma política, de administração municipal, voltada para o efetivo gerenciamento dos túneis, seja em projeto, execução ou em operação.

Conclusão: Com adequada sistematização destes trabalhos obter-se-á uma radiografia fiel das atuais condições dos distintos túneis do município. Os dados de análise comparativa das variáveis físicas relacionadas aos maciços já escavados, o conhecimento da história, tipologia, e condicionantes dos problemas encontrados e as soluções técnicas adotadas oferecem uma oportunidade única e extremamente valiosa para subsidiar técnica e economicamente a viabilidade dos futuros projetos deste tipo de obra, no município.

Destaca-se a possibilidade de se ampliar o atual grau de conhecimento das principais condições geológico-geotécnicas que caracterizam o solo e maciços da cidade, em função dos mapeamentos, vistorias e análise dos processos geológicos e das obras subterrâneas já executadas dentro da área metropolitana.

## A EXTENSÃO DA LINHA 5 DO METRÔ DE SÃO PAULO: RESUMO DAS PRINCIPAIS LIÇÕES APRENDIDAS NA CONCLUSÃO DO PROJETO

Marco Gerace; Leandro Filgueiras; Piergiorgio Grasso; Danton Soares Junior

**Resumo / Abstract:** After 5 years from the beginning, the project of the extension of Line 5 of Sao Paulo Metro is going to the conclusion. The Consortium Geodata followed the whole project as the designer of all the 7 lots of the extension of the Line 5, that includes about 11km of line, 10 stations, 10 shafts with purposes of ventilation and evacuation, 1 shaft for the parking of the trains, 2 technical shafts, one for the launching of the 2 TBMs that excavate the part of the line twin-tube single track, and another for the arrival of the 2 TBMs and for the launching of the third TBM that excavates the part of the line single tube-double track, a depot for the trains with an area of 176,000 m<sup>2</sup>.

## ABERTURAS EM POÇOS DE GRANDE DIÂMETRO

T. Galçoni; P. T. Cortizo; C.C Staudohar; C. M. Heraclio; P. T. França; J. C. O. Andrade Jr.; C. A. Campanhã

**Resumo / Abstract:** No presente artigo são apresentadas diferentes concepções de projeto para viabilizar aberturas para emboques de túneis em poços de grande diâmetro. Os poços de grande diâmetro possuem como aplicação o ataque de obras de sistema de transporte urbano de passageiros, ventilação e saídas de emergência, acesso e também como corpo principal de estações de metrô, entre outras obras de engenharia. Na etapa de obra, tratando-se de emboque de túneis a partir de poços de grande diâmetro, há várias soluções de reforço estrutural desses para absorver ao acréscimo de esforços, alguns tipos e aspectos de projeto desses serão tratados neste artigo. Durante a fase de escavação dos poços de grande diâmetro, os esforços que neles surgem são preponde-

rantemente de compressão, o que possibilita que eles sejam concebidos como estrutura de casca fina. Quando se realiza emboque de túnel a partir de poço de grande diâmetro, surgem esforços de flexão, cortante e deformações em que a casca concebida para o poço fechado, geralmente não tem condições de absorver. Para fazer frente a tais esforços, concebem-se reforços na região da abertura, dos quais alguns são aqui tratados: Túnel falso, lamela reforçada, quadro de reforço executado no revestimento primário (e suas variações), quadro de reforço executado no revestimento secundário, entre outros. Abordam-se neste artigo algumas soluções e aspectos de projeto de reforços para abertura de poços de grande diâmetro, os aspectos relevantes de projeto e construção e metodologia executiva. São citados os casos dos seguintes poços: Mackenzie, Belas Artes, VSE Tietê, STEP Pumping Station e Tamanaco.

## ACOMPANHAMENTO TÉCNICO DE TUNELADORA EPB - AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS OPERACIONAIS DA MÁQUINA

G. Aguiar; M. A. A. P. Silva; L. T. Katayama; H. C. Rocha

**Resumo / Abstract:** Nos últimos anos, vem se intensificando o uso de máquinas tuneladoras do tipo EPB (Earth Pressure Balance) no Brasil. O uso mais frequente desta tecnologia trás a necessidade de ampliação em âmbito nacional de estudos e pesquisas sobre o tema, para capacitar profissionais brasileiros no processo de operação da máquina e acompanhamento das escavações. Este trabalho tem o intuito de compartilhar e divulgar algumas lições aprendidas durante a operação e o acompanhamento técnico das tuneladoras utilizadas na Linha 5 - Lilás do Metrô de São Paulo. Diferentemente de túneis convencionais, onde a visualização e o mapeamento da frente da escavação são essenciais, em escavações mecanizadas é necessário um conhecimento sobre a operação da máquina e o controle em tempo real dos principais parâmetros operacionais. São abordados temas como princípio de funcionamento e operação de uma tuneladora EPB; modos de operação; condicionamento do material escavado, destacando as definições dos principais parâmetros (FIR, FER, CF), além de problemas decorrentes de dificuldades de condicionamento, como clogging na cabeça de corte. São destacadas algumas informações geológico-geotécnicas importantes de se ter conhecimento, além dos principais parâmetros de controle que devem ser observados durante a operação. Por fim, apresenta-se alguns exemplos práticos de situações em que o acompanhamento técnico e ajuste dos parâmetros da máquina foi importante para garantir o sucesso da escavação.

## ACTUALIDAD DE LAS OBRAS SUBTERRÁNEAS EN EL ÁMBITO METROPOLITANO DE LA CIUDAD DE BUENOS AIRES

Ezequiel Zielonka

**Resumo / Abstract:** La Argentina tiene en la actualidad importantes atrasos en materia de infraestructura tanto desde el punto de vista hidráulico como en transporte. En particular, en el área metropolitana de la Ciudad de Buenos Aires, el actual gobierno nacional en línea con el gobierno de la provincia de Buenos Aires y el de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, está impulsado una serie de obras subterráneas de gran envergadura con muy pocos precedentes en la historia argentina. En materia hidráulica, actualmente se encuentra en construcción entre otros proyectos los nuevos túneles hidráulicos de drenaje del colector margen izquierda del Riachuelo, los túneles aliviadores de crecidas del nuevo entubamiento del Arroyo Vega y están prontas a comenzar las obras del Río Subterráneo sur para transporte de agua potable a cargo de la empresa estatal AYSA. Desde el punto de vista de infraestructura para el Transporte, actualmente se encuentran en construcción obras de gran envergadura como el Soterramiento del FFCC Sarmiento, y algunos tramos de ampliación de la red del metro de Buenos Aires. Asimismo se encuentran en fase de proyecto y licitación los primeros tramos del ambicioso proyecto del RER (Red de Expresos Regionales) el cual interconectará en forma subterránea gran parte del sistema ferroviario que confluye en la Ciudad de Buenos Aires. Las obras mencionadas totalizan en su conjunto más de 80 km de túneles que demandarán durante los próximos 10 años una gran cantidad de recursos humanos y técnicos altamente calificados en materia de obras subterráneas. Durante la exposición se presentarán los distintos proyectos de túneles y obras subterráneas que se encuentran actualmente en ejecución como así también los proyectos que se encuentran en fase de estudio o licitación aportando una visión general del estado actual de las obras y proyectos de túneles en el ámbito metropolitano de la Ciudad de Buenos Aires.

## ANÁLISE 2D DOS EFEITOS DO MELHORAMENTO DAS CONDIÇÕES DE MACIÇOS NO COMPORTAMENTO DE TÚNEIS

M. G. T. Barbosa ; A.P. Assis

**Resumo / Abstract:** Obras geotécnicas necessitam de elevado grau de acurácia na previsão do comportamento mecânico. A partir dessa correta antecipação de cenários de comportamentos, especialmente em obras subterrâneas, decisões corretas frente a situações adversas podem ser tomadas, com a escolha de melhorias das condições de maciços. Para isso, o estudo prévio aprofundado das características geomecânicas do maciço de túneis se faz necessário complementarmente à previsão de deslocamentos. Combinados, torna-se possível simulações numéricas com acurácia suficiente e com resultados realistas das condições de campo. Neste artigo a análise do comportamento de um túnel já executado será realizada por meio do software PLAXIS, com modelo constitutivo de Mohr-Coulomb. Nestas simulações bidimensionais, além de se comparar os deslocamentos observados após a construção do túnel com os obtidos pelo software, idealizou-se soluções hipotéticas de forma a entender como cada uma afetaria o comportamento do túnel analisado, com a posterior comparação entre as soluções hipotéticas e as reais, tanto em esforços como em deslocamentos.

## ANÁLISE DA INSTRUMENTAÇÃO DURANTE A ESCAVAÇÃO DE TÚNEL DE BAIXA COBERTURA EM SOLO SOB UMA RODOVIA EM OPERAÇÃO

R. A. A. Melo; P. J. R. Albuquerque; J. R. Garcia

**Resumo / Abstract:** O sucesso na execução do projeto de um túnel depende de um rigoroso planejamento durante a concepção do plano de instrumentação que tem como objetivo utilizar as informações obtidas na adequação dos métodos construtivos, acompanhando a movimentação do maciço e conseqüentemente ajustando os níveis de deslocamento para próximo do previsto no projeto. O principal objetivo para a realização do monitoramento do maciço é identificar os deslocamentos enquanto eles são controláveis e modificar os procedimentos de construção em tempo hábil, antes que os movimentos possam aumentar o suficiente para constituir um problema real, afetando desta forma, a evolução das escavações e a continuidade das atividades. Desta forma, este trabalho visa analisar a instrumentação de um túnel raso executado em solo sob uma rodovia em operação, demonstrando as medidas adotadas para mitigar e controlar as deformações do maciço.

## ANÁLISE DE CASOS PRÁTICOS DA ADOÇÃO DO PROCESSO BIM EM EMPREENDIMENTOS DE INFRAESTRUTURA

Jairo Pascoal Júnior; Aline Valverde Arrotéia; Anderson Assunção; Eduardo Toledo Santos; Silvio Burrattino Melhado

**Resumo / Abstract:** Este trabalho analisa e comenta o estágio atual de aplicação dos processos da Modelagem da Informação da Construção (BIM) para empreendimentos de infraestrutura com ênfase em estruturas subterrâneas a partir dos conceitos já difundidos para os empreendimentos de edificações.

Como relatado por Bradley et al. (2015), internacionalmente, o incremento na aplicação e pesquisa dos processos BIM ligados à infraestrutura foi exponencial nos últimos 10 anos, ultrapassando 70 artigos em 2014. Neste período, o esquema aberto de estrutura de dados BIM que define a geometria dos componentes e as propriedades físicas dos objetos modelados - IFC (Industry Foundation Classes) - também evoluiu possibilitando a modelagem de novos tipos de objetos aplicados em empreendimentos de infraestrutura. Assim, foi possível observar também o incremento de publicações relacionadas aos processos BIM aplicados a empreendimentos com estruturas subterrâneas, replicando o incremento exponencial nesta área específica.

Os casos relacionados a aplicação de BIM em empreendimentos de infraestrutura subterrânea mostraram que as soluções de modelagem ainda demandam várias adaptações e integrações entre diferentes programas computacionais e rotinas de trabalho, além de demandar uma nova mentalidade na organização e estruturação do desenvolvimento dos trabalhos de engenharia de projeto. Internacionalmente, os processos BIM vêm sendo aplicados e adaptados à realidade disponível atualmente. No Brasil inicia-se a aplicação dos processos BIM para os empreendimentos de infraestrutura.



A aplicação do BIM para os projetos de infraestrutura já resulta em projetos melhores com resultados que vão desde maior precisão nas quantidades, soluções factíveis de serem construídas, reutilização de componentes, maior qualidade na informação a ser utilizada na fase de operação, melhor planejamento e menores prazos e custos de execução do empreendimento dentre outros.

A evolução do IFC contemplando objetos aplicados em empreendimentos de infraestrutura é fundamental para a disseminação dos processos BIM. Os programas computacionais BIM também devem evoluir para apoiarem os trabalhos de projeto nessa área. Os proprietários dos empreendimentos de infraestrutura devem demandar a aplicação do BIM em seus empreendimentos e desenvolver a cultura de utilização dos produtos BIM na etapa de operação. Estes fatores são fundamentais para a disseminação da aplicação do BIM para infraestrutura.

## ANÁLISE DE RISCO DE TÚNEIS EM ROCHA

Soares. R.M.

**Resumo / Abstract:** A quantidade de acidentes em túneis nas últimas décadas tem despertado a atenção dos envolvidos direta e indiretamente com esta atividade. Boa parte destes acidentes se deve a fatores denominados como condições geológico-geotécnicas adversas, tais como a presença de zonas do maciço com menor resistência, parâmetros de resistência e deformabilidade abaixo do esperado, etc. O dimensionamento do suporte de um túnel em rocha pode ser tratado como um problema de otimização sujeito a restrições, considerando os custos associados à construção bem como o custo esperado de falha.

Neste trabalho foi elaborada uma análise quantitativa do risco, associado à queda de blocos de um túnel pertencente ao conjunto de túneis da estrada de ferro Vitória-Minas. As propriedades do maciço rochoso e do sistema de suporte foram consideradas como variáveis aleatórias sendo determinada a probabilidade da queda de blocos, ora denominada de probabilidade de falha, por meio da simulação de Monte Carlo. Foram avaliados três tipos de suporte, calculando o risco, o custo de construção e o custo total de cada um.

Determinou-se o risco de cada alternativa considerando três diferentes cenários para o custo esperado de falha. Para cada cenário foi determinado o sistema de suporte ótimo, menor custo total associado, permitindo confirmar que a solução ótima do projeto de revestimento de um túnel necessita incorporar o risco associado bem como o custo total de cada uma destas, sendo uma abordagem atrativa e eficiente para o projeto de túneis.

## ANÁLISE PROBABILÍSTICA DE COMPORTAMENTO DE TÚNEIS EM ROCHAS

L. T. G. Mendes; A. P. Assis.

**Resumo / Abstract:** O uso de obras subterrâneas vem crescendo significativamente nas últimas décadas, pois estas são cada vez mais a solução encontrada para questões de quando o uso das opções de superfície é insuficiente, seja pela crescente saturação do espaço urbano ou por motivos geológicos ou topográficos. Paralelo a este crescimento, depara-se também com o aumento do número de acidentes, exigindo que os projetos sejam cada vez mais seguros. A avaliação de segurança em obras subterrâneas ainda é feita de forma determinista, onde os parâmetros e carregamentos são assumidos constantes e o resultado calculado é único. Contudo, lida-se com materiais geológicos que possuem uma variabilidade natural de seus parâmetros e que requerem uma abordagem probabilística. Neste sentido, este trabalho buscou definir, a partir do comportamento de túneis em rochas, indicadores de desempenho que possam ser utilizados para o cálculo da probabilidade de falha. A metodologia proposta engloba as seguintes etapas: definição dos dados de entrada; execução dos cálculos determinísticos através do PLAXIS 2D, extração dos indicadores de desempenho fator de segurança, área plástica e convergência a partir dos dados de saída e a definição dos indicadores de falha; abordagem probabilística onde aplicou-se o método dos pontos de estimativas (Rosenblueth), considerando a variabilidade dos parâmetros coeficiente de empuxo no repouso ( $k_0$ ), coesão ( $c$ ) e ângulo de atrito ( $\phi$ ) para obter a probabilidade de falha para cada um dos indicadores. As análises elaboradas comprovaram a aplicabilidade dos métodos probabilísticos frente aos tradicionais métodos determinísticos na avaliação da segurança em túneis em rochas.

## APLICAÇÃO DE SHAPE ACCEL ARRAYS (SAA'S) EM OBRAS SUBTERRÂNEAS

A.Silva

**Resumo / Abstract:** A entrada de novas tecnologias nas rotinas da engenharia geotécnica tem registrado desenvolvimentos notórios nas áreas de software e equipamentos de monitoramento geotécnico proporcionando ganhos significativos na produtividade e na qualidade dos resultados finais. São recorrentes as discussões entre vantagens e desvantagens da automatização de determinados instrumentos, onde os inclinômetros e medidores de convergência são especialmente citados devido à sua utilização recorrente e importância em obras subterrâneas. Neste capítulo, na última década, a tecnologia Shape Accel Array (Measurand Geotechnical) tem desempenhado um papel interessante em ambas as situações.

O Shape Accel Array (SAA) é um sistema composto por uma sequência de segmentos rígidos intercalados por juntas rotulares que tornam possível a movimento em qualquer direção sem eixo preferencial. Cada segmento tem três sensores de inclinação MEMS ortogonais que possibilitam leituras tridimensionais, logo o SAA pode ser montado verticalmente, horizontalmente ou até na circunferência de um túnel para medição de convergências. Tudo dependente da finalidade para a qual ele for instalado e da configuração indicada no software durante a instalação do equipamento.

Este artigo focar-se-á nas vantagens e desvantagens da utilização deste tipo de equipamento em obras subterrâneas perante os equipamentos convencionalmente utilizados, analisando a partir de uma perspectiva técnica e operacional. Para além disso, serão igualmente abordados os desafios e as potencialidades associados à implementação desta tecnologia nas obras subterrâneas brasileiras.

## APLICAÇÕES GEOTÉCNICAS PARA REDUÇÃO DA DILUIÇÃO OPERACIONAL NA LAVRA SUBTERRÂNEA: ESTUDO DE CASO MINERAÇÃO SERRA GRANDE

G.A.P. Batista; M.P. Campos

**Resumo / Abstract:** A definição de um projeto assertivo depende da avaliação de inúmeros fatores de natureza multidisciplinar. A Mineração Serra Grande - AngloGold Ashanti no primeiro semestre de 2014 apresentava altos índices de diluição no método de lavra subterrâneo sublevel open stope, refletindo a instabilidade dos realces medida pela diluição operacional, ou seja, pela presença de material estéril proveniente de deslocamentos ou rupturas nos contornos do realce junto ao minério desmontado. A definição do projeto de redução da diluição operacional para o fechamento do ano envolveu eventos estatísticos, caracterização do maciço, compartimentação das informações, propostas técnicas e melhorias operacionais. No âmbito geotécnico, a definição do projeto ocorreu a partir da setorização das áreas por quantificação da diluição; classificação do maciço; identificação das descontinuidades regionais; retroanálise das condições de estabilidade dos vãos livres nos realces de lavra; eficácia do sistema de cabeamento; identificação dos processos de instabilidade e proposta das melhorias de layout e suporte. As implantações das propostas de melhoria de suporte estabelecidas no projeto geraram bons resultados. Com acumulado em junho de 2014 em 16.6% e meta de 15% de diluição operacional, foi inserido o sistema de estabilização por cabos duplos - dois cabos de aço perfurado em bit 64mm para sustentação do teto dos realces. No mês seguinte, a utilização dos cabos modificados - porca inserida no centro do cabo para melhorar aderência a tração, resultou no fechamento de 2014 diluição acumulada de 13.7%. Conclui-se que o sistema de contenção proposto confere estabilidade do realce durante a lavra minimizando os impactos da diluição com redução de 36% da diluição no segundo semestre de 2014.

## ASPECTOS GEOTÉCNICOS DOS MACIÇOS AO LONGO DO TRECHO ENTRE VILA SONIA E TABOÃO DA LINHA 4-AMARELA, DO METRÔ DE SÃO PAULO

D.G.G. de Oliveira; M.D. Monteiro & H.C. Rocha; C. C. Dias

**Resumo / Abstract:** Este artigo apresenta um resumo da caracterização e definição do modelo geológico geotécnico, assim como os principais parâmetros geotécnicos aplicados no projeto básico da Fase 3 da Linha 4-Amarela, do Metrô de São Paulo. O trecho, compreendido entre a Estação Vila Sônia, em construção e o município do Taboão da Serra, incluirá duas novas estações, com um acréscimo de aproximadamente 2.4 Km de linha.



O traçado está situado ao longo da borda sudoeste da Bacia Sedimentar de São Paulo, cruzando quase que exclusivamente rochas do embasamento pertencentes ao Complexo Embu. Resumidamente, do topo para a base, ocorrem depósitos tecnogênicos, lentes restritas pertencentes a solo sedimentares da Formação São Paulo e, finalmente, em sua grande maioria, solos residuais maduros, jovens, saprólitos e a sua rocha-mãe, caracterizada por um gnaisse biotítico com porções migmatizadas. Uma detalhada campanha de sondagens foi executada, assim como ensaios de laboratório e in situ. Uma síntese destes resultados é aqui apresentada com destaque para os solos residuais do embasamento e para as rochas em seus distintos graus de alteração. Vários aspectos são exibidos e discutidos, fornecendo uma caracterização do terreno investigado e sua importância para o projeto futuro.

## BIM GEOTÉCNICO - SOLUÇÃO PARA A QUALIDADE DAS INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS

De Mio. G ; Coppedê. A, Junior; Silva. A

**Resumo / Abstract:** Os conceitos básicos do BIM quando aplicados a área de investigações geotécnicas requerem adequações para as especificidades e incertezas que envolvem as características e comportamentos de diferentes tipos de solos e de rochas frente a implantação de obras civis; proporcionam ganhos e contribuem com o aumento da qualidade das informações geotécnicas, definindo o BIM Geotécnico. O dado geotécnico incorporado ao modelo do BIM Geotécnico requer controle de qualidade e decisões de projeto são tomadas com base nestes dados e nas suas interpretações. São propostos três níveis de detalhamento do modelo do BIM Geotécnico com grau crescente de interpretação e detalhamento aplicado a modelagem: (1) modelos com dados factuais, representações tridimensionais de resultados de ensaios sem interpretação ou interpolação entre pontos de investigação ou de seções geofísicas; (2) modelos com superfícies de transição de materiais, falhas e feições geológicas importantes e condicionantes de comportamentos geotécnicos, quando são requeridas interpretações entre as sondagens e integração dos resultados de diferentes ensaios; e (3) modelos de sólidos consistente com Modelo Geológico Conceitual, delimitação tridimensional das unidades de interesse e avaliação estatística e probabilística das propriedades geotécnicas. O processo de detalhamento da interpretação deve necessariamente ser desenvolvido com base em fortes indícios de ensaios e ser coerente com o modelo geológico. Não são recomendadas representações de interpretações geológicas muito detalhadas, onde a complexidade é alta ou a quantidade de informações é muito reduzida. A influência da variabilidade geológica natural dos solos e rochas e a consistência do programa de investigações influenciam no resultado da campanha; um mesmo esforço de interpretação e modelagem aplicado a diferentes locais leva a diferentes níveis de confiabilidade do modelo geotécnico.

A implantação do BIM Geotécnico na cadeia de valor da geotecnia possibilita alocar fiscalização adequadamente orientada, na garantia da qualidade na geração dos dados, induzindo a mudança de práticas nas empresas de serviços geotécnicos, em um processo vantajoso para todos os intervenientes no processo.

## BIM IN TUNNELLING - CONSIDERATIONS REGARDING FURTHER DEVELOPMENT REQUIREMENTS

Gerhard Harer

**Resumo / Abstract:** Building Information Modeling (BIM) as a process is based on a shared 3D model and aims to integrate all relevant information for a project. BIM is already widely used in building design and construction. For linear infrastructure in general and tunnels in particular only first attempts are done and no comprehensive solutions are available up to now. However, comprehensive information management is essential in modern tunnelling projects and is a core requirement for efficiency, transparency and safety in tunnelling.

BIM in tunnelling shall provide a toolset for better and faster processes over all phases of a project - development, design, construction, infrastructure management and deconstruction. For instance, BIM contains support tools for the visualisation of certain parts of the model, which allow a three-dimensional understanding of complex structures. These visualisations provide fundamental information for decision support and public participation processes.

Geoconsult ZT and GEORESEARCH are facing these challenges within the research project BIMunderground. The main goal of the project is the development of adaptation strategies for BIM for underground constructions considering international BIM frameworks and needs. Challenges are e.g. alignment - building referencing, the

integration of geological, hydrogeological or geotechnical data. Besides the difficult integration of geological models into the building model in general, difficulties in relation to geometrical aspects such as their extent, their irregularly curved shapes, as well as further influencing factors, such as the terrain and the interfaces between different disciplines are to be solved.

The presentation will provide a critical discussion with the state of the regarded technology and will present the main fields to step up efforts.

## CONCEITO BIM APLICADO A ESTAÇÕES DE METRÔ

M.R.P. Kanashiro; A.T. Tanikawa; M. Azevedo; D.D. Di Carlo; A. Scovoli

**Resumo / Abstract:** O BIM (Build Information Modeling ou Modelagem da Informação da Construção) é um novo conceito na concepção de projetos civis. Embora seja um conceito, o BIM muitas vezes é confundido como sendo uma maquete eletrônica, ou até mesmo um software, quando na verdade é um modelo que abrange toda a vida útil de uma construção, melhorando o entendimento geral dos projetos, minimizando custos, prazos, incompatibilidades entre diferentes especialidades (civil, arquitetura e sistemas), entre tantos outros benefícios.

O BIM traz novos desafios para os escritórios brasileiros, pois não são apenas as ferramentas que mudam, mas a concepção de projetos, os processos internos e a visão de todos os envolvidos no dia-a-dia da elaboração de projetos. Dessa forma, as empresas começam a se adaptar internamente para a implantação do BIM, pois não basta apenas a capacitação dos funcionários em novos softwares, mas processos mais amplos como a extração de cronogramas físico-financeiros e diferentes processos de medição por desenvolvimento de trabalhos e não apenas por envio de documentos.

O presente artigo tem como objetivo ilustrar os benefícios da implantação do BIM numa empresa de engenharia de projetos, e a experiência de implantação do conceito numa obra de alta complexidade como uma estação de metrô subterrânea.

## CUSTOMIZED PROTECTIVE LININGS - PROJECT INSIGHTS ON DESIGN AND CONSTRUCTION

S. Medel

**Resumo / Abstract:** Tunneling for the sewer project Twinning of the West Trunk Sewer Tunnel, Contract 2, in the City of Mississauga currently proceeds. A design life requirement of 100 years is specified for the segmental lined tunnel with a length of approximately 3,800m (12,500ft) and an internal diameter of 3.0m (10ft). Prior and after to a manhole with internal sewage drop shaft, thermoplastic membranes have been specified which have to be pre-installed in the pre-cast segments in order to provide a continuous and homogeneous concrete protective lining. In order to realize both compliance with durability demands and an accelerated tunnel construction in a single pass, an alternative protective lining system has been designed, tailored to needs of contractor Technicore Underground Company. This paper discusses specified design life requirements and the design and manufacturing of an appropriate protective lining. Functionalities and material characteristics are compared as well as insights given on quality control and project advancement.

## DEEP HARD ROCK MINING AND ROCK MECHANICS CHALLENGES

Erling Nordlund

**Resumo / Abstract:** Mining of deep seated deposits is associated with stress magnitudes which exceed the strength of the intact rock, geological structures and the rock mass resulting in an increased frequency of instability as well as new kinds of phenomena which are not experienced at shallower depths. Extensive squeezing and seismic events are . Vital for the stability and for successful design of underground openings is the understanding of the failure process and the interaction between the rock mass and the rock support. Deep mining is related to two different extreme geomechanical conditions: Hard rock and seismic problems and altered weak ore contact zones resulting in squeezing conditions. The objective of two ongoing research programs at LTU, is to increase the understanding

of the interaction between underground openings and seismic waves and the response of the opening to seismic waves and to clarify the relation between plastic flow/yielding and development of failure and fallout. This will create a basis for more advanced analyses concerning the rock mass response, the rock support system performance and the interaction between the rock support systems and the rock mass under squeezing conditions, the interaction between the rock support systems and the rock mass under rock burst loading. The programs have been divided into two sub-projects: (i) mining-induced seismicity and (ii) large deformations and squeezing conditions, respectively and the main activities are numerical analyses and field studies. Numerical analyses have been carried out for squeezing as well as dynamic loading conditions. The work to date has comprised (i) Field monitoring has been carried out in three mines – using cut and fill mining, rill mining and sub-level caving. Seismic loading of rock support has been emulated by blasting experiments in the Kiirunavaara mine. Numerical analyses of different phenomena and failure mechanisms have started. The presentation will give examples of activities and result from these two projects. The findings from these projects are general and can be used wherever hard rock mining is carried out.

## DEFORMATION ANALYSIS FOR LARGE UNDERGROUND CAVERNS IN A MODERATELY JOINTED ROCK MASS

J. L. Murcia; J. D. Herrera

**Resumo / Abstract:** Stability and prediction of deformations in rock masses are of significance in geotechnical engineering, applied to the analysis of Underground Caverns in both design and construction stages. The Ituango Hydroelectrical Project, which is located to the north of Medellin, in the region of Antioquia - Colombia, has a Powerhouse Complex composed of one main powerhouse, one transformer chamber and two surge chambers, placed in a geological environment characterized for the presence mainly of gneiss, that shows some influence of shear zones associated to the foliation and some minor faults. Estimation of the level of deformations is complex as a result of the geological parameters spatial variability (such as in situ stress, the joint network configuration, and the joint mechanical properties), the close interaction between caverns and tunnels that leads to a complex stress distribution in the rockmass during the opening phase, the excavation sequence and geometric configuration of the powerhouse complex, the drilling and blasting control and the presence of two principal faults Mellizo and Tocayo. To improve our understanding of the underground cavern deformations, monitoring of the arch and sidewalls throughout Multi-Point Borehole Extensometers (MPBX's) was carried out, pursuing the relationship between the measured data and the obtained of 2D and 3D numerical simulation analysis. In addition, for the 2D model, variable structural geological conditions are taking into account using a joint network to study the impact of the joint spacing, dip angle and orientation on the deformation behavior. The numerical simulations demonstrate that the joint conditioned model can capture the cavern behavior better than the continuous models, which coincides with the results obtained from monitoring. Therefore, aspects related with the monitoring system, the excavation of multiples caverns and tunnels, the support condition and behavior and the numerical analysis in design and construction phases are discussed in this paper.

## DESAFIOS E SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS APLICADAS NA ESCAVAÇÃO DE UM TÚNEL EM SAPRÓLITO E SOLO RESIDUAL DE GNAISSE DA LINHA 5 - LILÁS DO METRO DE SÃO PAULO

M. A. A. P. Silva; G. Aguiar; I. F. Teixeira; A. A. Ferreira

**Resumo / Abstract:** O presente trabalho tem por objetivo apresentar uma visão crítica sobre o desempenho das escavações do túnel de via Roque Petrela da Linha 5 - Lilás do Metrô de São Paulo. Este túnel foi escavado em maciço pré-cambriano, mais precisamente rochas gnáissicas alteradas, saprólitos e solos residuais. Diante das grandes dimensões do túnel, as escavações foram parcializadas em galerias laterais, calota e rebaixo. Neste trabalho são discutidos aspectos de concepção de projeto, aspectos geológicos e geotécnicos, e como tais questões conjuntamente ou individualmente impactaram no desempenho das escavações. O artigo mostra como a elevada heterogeneidade do maciço e os comportamentos geomecânicos desses materiais em situação de desconfinamento foram determinantes para a ocorrência de significativas quantidades de instabilidades, por vezes de grande volume.

Este artigo também relaciona os recalques observados com as características de adensamento desses materiais, mostrando o quão os mesmos são sensíveis aos efeitos de controle do nível d'água. São também apresentadas relações indiretas entre perdas de solo e instabilidade de frente por meio dos dados de instrumentação, confirmando as dificuldades de propiciar condições estáveis para as frentes de escavação. São apresentadas e discutidas soluções de condicionamento e controle do nível d'água, além das adequações necessárias nas soluções de condicionamento diante das respostas do maciço às escavações.

## DETERMINAÇÃO DE FATOR DE CORRELAÇÃO A PARTIR DOS MÉTODOS DE CARACTERIZAÇÃO DO MACIÇO ROCHOSO - MINA CUIABÁ - SABARÁ (MG)

Rodrigo César Padula; Rodrigo Peluci de Figueiredo

**Resumo / Abstract:** O levantamento dos dados geotécnicos que definem a qualidade do maciço rochoso pode ser feito pelo seu mapeamento in loco e/ou a partir da descrição geotécnica de testemunhos de sondagem. Na mina subterrânea Cuiabá (Sabará/MG), são utilizados ambos os métodos de caracterização e classificação do maciço rochoso. A descrição geotécnica é realizada com auxílio do software DH-Logger, cujo sistema de registro é definido a partir de parâmetros que permitem a caracterização geomecânica das rochas que compõem os testemunhos de sondagem. Já na análise in situ, feita após a abertura das escavações, é realizado o mapeamento geomecânico das galerias, pontualmente, com produção e confecção de mapas indicando a classificação geomecânica do maciço, tornando-se possível dimensionar as galerias da mina Cuiabá, bem como realizar as devidas recomendações geotécnicas/geomecânicas no que diz respeito ao tipo de contenção utilizada e espaçamento da malha entre os reforços.

Estudos recentes mostram que o comportamento da rocha em aberturas subterrâneas profundas pode ser diferente quando comparado ao analisado antecipadamente (Kaiser, 2006). Uma das razões para este desvio é a degradação do maciço rochoso, como resultado dos processos de danos causados pela tensão e detonação, que não foram devidamente tidos em conta na redução da qualidade do maciço rochoso próximo à fronteira escavação em rocha.

Este trabalho foca na comparação entre as caracterizações do maciço, baseada no Geological Strength Index (GSI - Marinos & Hoek, 2000), antes da escavação subterrânea e depois da abertura da galeria e determinado um fator percentual de correlação para mesma litologia observa em ambos métodos de caracterização.

## DEVELOPMENT STEPS OF MULTI-MODE MACHINES TO SUIT ACTUAL GROUND CONDITIONS

K. Bäßler; W. Burger

**Resumo / Abstract:** The development of multi-mode machines started back in the 1980s for a tunnel project that was realized in variable geology. Standard technologies for shielded TBMs were optimized to cope with a wide range of specific ground conditions such as stable to soft rock conditions, water bearing soils and mixed face conditions that belong to the most demanding requirements in tunnelling. Projects may reach their technical and commercial limits if the subsurface conditions become too variable. Flexible TBM concepts are then needed because they can offer the best possible system for each individual section along the alignment. Herrenknecht developed so called multi-mode machines to suit actual ground conditions. These machine incorporate the possibility to adapt the excavation technology in the tunnel and to operate the TBM in different modes. The paper highlights the crucial development steps from the first application to the latest state of technology of these specific machines.

## ENGENHARIA DE TÚNEIS NO BRASIL: DESAFIOS E TENDÊNCIAS

André Pacheco De Assis

**Resumo / Abstract:** A palestra vai trazer um resumo da evolução da engenharia de túneis no Brasil nas últimas décadas, tanto em termos de projeto quanto de métodos construtivos, bem como de suas principais aplicações. Também serão discutidos as tecnologias futuras, tendências e desafios relacionados à engenharia em si, mas também aos aspectos contratuais e de gestão, incluindo gestão de risco. Ênfase será dada aos desvios nos processos de

engenharia ocorridos nos últimos tempos, dominados por aspectos de sobrepreço, baixa qualidade e corrupção, e uma reflexão de como vencer o desafio de retornar a uma engenharia que promova o bem-estar da sociedade, com qualidade e preços justos.

## ENSAIOS DE ABRASIVIDADE EM ROCHA COMO SUPORTE PARA PREVISÃO DO CONSUMO DAS FERRAMENTAS DE PERFURAÇÃO - REVISÃO DO MÉTODO CERCHAR E CONSIDERAÇÕES INICIAIS

G. R. Piazzetta; I. F. R. Figueira; D. Munch; B. E. Ribeiro; E. G. Figueira; Leonardo Evangelista Lagoeiro; Melina A. Gonçalves

**Resumo / Abstract:** A fase do projeto de investigação geológico-geotécnica é essencial para a determinação dos parâmetros para execução de perfurações de túneis e dutos. A abrasividade da rocha é um dos índices determinantes nos cálculos destas perfurações, pois possui influência direta sobre a estimativa de consumo das ferramentas e consequentemente sobre custos e cronograma do projeto. O teste de abrasividade Cerchar é um dos principais métodos para a determinação da abrasividade de rochas. Embora seja internacionalmente aceito, este método é pouco conhecido e divulgado no Brasil, ainda que haja uma demanda crescente, porém restrita, em projetos de grande porte no país. O teste Cerchar consiste em riscar a superfície de uma amostra de rocha com uma ponteira de aço por uma distância de 10 mm, com uma tensão vertical de 70N. O resultado do teste é a medida em milímetros microscópica da superfície desgastada da ponteira, convertida na unidade adimensional denominada Cerchar Abrasiveness Index (CAI). O desgaste das brocas ocorre em escala microscópica, portanto a caracterização das rochas nesta escala é substancial para a determinação e quantificação dos índices que possuem maior influência à abrasão. Com foco na quantificação da influência de ensaios laboratoriais de resistência à compressão uniaxial, teor de quartzo, tamanho dos grãos e grau de alteração em relação ao CAI produz-se um subsídio sólido para a previsão do desgaste das ferramentas de perfuração, evitando problemas como o baixo desempenho de escavação e alto consumo da broca. Este trabalho apresenta os resultados preliminares de um projeto desenvolvido para estudar a abrasividade de rochas, o que inclui uma ampla revisão do método Cerchar e dados iniciais.

## ESTAÇÃO CAMPO BELO DA LINHA 5 DO METRO DE SÃO PAULO - ESTUDO DO COMPORTAMENTO

B. Q. Galvão; L. F. Rocha; L. Konishi; P. T. França; C.A. Campanhã; P. M. R. Avesani; A. A. Ferreira; G. B. Robbe H. C. Rocha

**Resumo / Abstract:** No presente artigo são apresentados estudos desenvolvidos buscando identificar possíveis causas de deslocamentos não previstos inicialmente, ocorridos durante as obras da Estação Campo Belo, pertencente à Linha 5 do Metrô de São Paulo.

A Estação Campo Belo é composta por cinco poços de grande diâmetro, aproximadamente 36 m, secantes, conjugados e executados em etapas alternadas. A estação está inserida essencialmente em maciço misto de gnaisses graníticos alterados, saprólitos e solos residuais jovens e maduros, com ocorrência na porção superior de solos da Formação São Paulo.

O suporte para escavação dos poços, no projeto executivo, consistiu de paredes diafragma moldadas in loco, escavadas com Clamshell, de 1,00m de espessura, na zona de ocorrência de solos (aproximadamente 25m iniciais) e em concreto projetado com espessura variando de 0,20m a 0,40m na zona de ocorrência de saprólito e rocha (aproximadamente 5m finais).

Durante as escavações, o monitoramento dos poços indicou a ocorrência de deslocamentos expressivos na instrumentação interna e externa, levando à adoção de medidas adicionais não previstas pelo projeto original.

São apresentadas considerações sobre os principais aspectos da obra, incluindo geologia, sequência executiva, sistema de suporte e eventos significativos, como a passagem das tuneladoras e a escavação na zona de transição entre a parede diafragma e o concreto projetado. Foram realizadas análises numéricas para retroanalisar o comportamento observado e avaliar a segurança da escavação. As análises desenvolvidas foram capazes de reproduzir a diferença de comportamento entre cada um dos poços e a diferença de comportamento entre a zona do poço com parede diafragma e com concreto projetado.

## ESTUDO PARAMÉTRICO DA CONVERGÊNCIA DE TÚNEIS PROFUNDOS: APRESENTAÇÃO DE ÁBACOS PARA PRÉ-DIMENSIONAMENTO

A. N. La Flor; F. P. M. Quevedo; D. Bernaud Maghous

**Resumo / Abstract:** O objetivo desse artigo é apresentar ábacos obtidos de um estudo paramétrico de túneis profundos utilizando um modelo numérico em elementos finitos. Esse modelo foi implementado no software GEOMEQ91 e trata-se de um modelo bidimensional axissimétrico que considera o avanço da escavação e colocação do revestimento através do recurso de ativação e desativação dos elementos. É adotado um passo de escavação constante de 1/3 do raio com velocidade de avanço, espessura do revestimento e seção circular constantes ao longo do eixo do túnel. É utilizada para o maciço uma lei constitutiva viscoplástica com critério de viscoplasticidade de Von-Mises sem endurecimento cuja taxa de deformação ao longo do tempo é dada pelo modelo de Bingham. Já o revestimento utiliza uma lei constitutiva elástica linear. Ao todo foram 84 análises reunidas em 3 ábacos que mostram o valor da convergência final (Ueq) em função da velocidade de escavação e da rigidez do revestimento. Os parâmetros alterados foram a velocidade do avanço do túnel, a rigidez do revestimento e a distância de colocação do revestimento à face de escavação.

## EXECUÇÃO DE TÚNEL VIÁRIO SOB RIO, EM ZONA URBANIZADA, EM LIMA, PERÚ

R. Araújo, M.Sc. ; R. Kochen Prof. Dr. ; I. Bastos, M.Sc.; H. Jarrouge; T. Henrique

**Resumo / Abstract:** Apresenta-se aqui alguns dos principais desafios técnicos no desenvolvimento de escavações, contenções e execução de um túnel tipo "cut and cover" sob o rio Rimac, no centro da cidade de Lima-Perú. Trata-se de um túnel viário com 3 vias em cada sentido. Os desafios foram desde a escavação e contenção de taludes a prumo, atirantados ou por meio de contenções em solo grampeado, de 18m de profundidade, em solo pedregulhoso envolto em matriz arenosa, até a execução de um túnel, com estrutura moldada in loco e pré moldada, no leito seco de um rio, desviado para um canal provisório, por meio de diques especiais de contenção. As vazões descritas podem chegar a 200m<sup>3</sup>/s de água.

## FAIR CONTRACTS FOR UNDERGROUND CONSTRUCTIONS - THE AUSTRIAN PRACTICE

Robert Galler

**Resumo / Abstract:** Tunnelling contracts should be based on a detailed scope of work which is broken down into unit price items. The aim is to have a flexible contractual system which provides payment regulations for changing ground conditions. Considering the tendering procedure emphasis is put on fair competition amongst bidders and the comparability of bids.

The classification system should take into account the excavation round length, the subdivision of the face into partial cross-sections, the support measures installed, and the sequence of the excavation. These key-factors determine advance rates and cost and are summarised in the tunnelling (excavation and support) class matrix. The payment for excavation is based on the tunnelling class actually executed. The payment for support is based on the support measures actually installed.

The construction time is the basis for the payment of all time dependent costs. Generally the time required for excavation and support, as well as the additional time required due to imponderabilities, is variable. To establish a baseline for payment and for calculation of contractual construction time, the contractor must guarantee advance rates for each tunnelling class and reduced advance rates resulting from imponderabilities.

The allocation of risk should be well balanced. The risks for ground conditions and design are carried by the owner while risks associated with means and methods of construction should be with the contractor's responsibility.



## HIGH QUALITY REBUILDS FOR ENSURING RESOURCE AND ECOLOGICAL EFFICIENCY IN TUNNELING

O. Kortz

**Resumo / Abstract:** Project-specific optimized tunnel boring machines represent the spearhead of technological progress in tunneling because with their use, very long-lasting, high quality tunnel structures in almost any geology, depth and topography can be produced with a high degree of automation. The mechanized excavation of tunnel structures ensures the greatest possible environmental protection not only during tunneling itself.

Environmental aspects and the saving of resources in tunneling are gaining rapidly in importance. It is expected that in the future, these issues will play a more and more important role. Not only during execution but also in the tender phase when construction companies are selected and best environmental concepts are a decisive factor.

Professional, systematic and high-quality rebuilds and reuse of already proven equipment also ensures maximum efficiency in the use of materials and energy resources. It offers an enormous potential for a highly optimized environmental balance. Here, the manufacturers of tunnel boring machines and their users in particular have a duty to ensure transparent, high quality and binding standards in the entire rebuild cycle and in the refurbishment management of innovative tunneling technology.

This paper deals with the comprehensive processes related to rebuild levels of tunnel boring machines and highlights some exemplarily implemented projects.

## IMPACTO NA SAÚDE PÚBLICA PELA NÃO EXPANSÃO DAS REDES SUBTERRÂNEAS DE METRO NA CIDADE DE SÃO PAULO

Fernando Carvalho de Oliveira Abreu; Jairo Pascoal Júnior; Marina Estela Martins; Tarcísio Barreto Celestino

**Resumo / Abstract:** Este artigo tem o objetivo de apresentar resultados de análises de correlações entre congestionamentos na cidade de São Paulo, oferta de transporte por METRO na cidade de São Paulo e o nível de concentração de material particulado como marcador de poluição atmosférica e discutir o custo social da não expansão da rede metroriária na cidade de São Paulo e seus reflexos na qualidade de vida da população.

O custo social incorrido é suficiente para a construção de dezenas de quilômetros de redes de metro por ano, demonstrando a viabilidade econômica deste investimento que reverte em melhoria de qualidade de vida da população e maior atração de investimento na cidade de São Paulo.

## IMPERMEABILIZAÇÃO EM ESTRUTURAS SUBTERRÂNEAS (TÚNEIS E ESTAÇÕES) COM MEMBRANAS SINTÉTICAS: O SISTEMA DE VÁCUO, TESTÁVEL E REPARÁVEL

I. M. Zotti ; C. Aranda G.

**Resumo / Abstract:** As construções subterrâneas são projetadas para ter uma expectativa de vida de mais de 100 anos. Isso significa que os produtos utilizados nesse tipo de construção, são de alta performance.

Qualidade e durabilidade dos sistemas de impermeabilização são particularmente importantes e tem a finalidade de proteger estruturas, impedindo assim, o enfraquecimento do concreto armado.

Para túneis, fundações ou aplicações subterrâneas em geral, exigem sistemas de impermeabilização projetados de acordo com as condições hidrogeológicas de cada local.

Os custos dos materiais e das instalações são baixos quando comparados aos custos globais da obra e, seus benefícios são consideráveis.

Novos sistemas de impermeabilização facilitam a inspeção e, em alguns casos, possibilitam o reparo, tanto durante quanto depois da construção. Quando concebidos com membranas sintéticas contêm vários materiais que simultaneamente atuam para selagem, drenagem e proteção.

Sistemas de impermeabilização podem ser projetados com camadas simples e até com os mais avançados sistemas de "Vácuo". Esse último, permite controlar as tensões da água e realizar reparos de forma rápida e fácil sem a necessidade de escavações complexas.

Este documento oferece uma introdução a estes sistemas e destaca os benefícios em termos de custo.

A engenharia do subterrâneo, conta com 50 anos de experiências no domínio de sistemas de impermeabilização com membranas sintéticas de TPO e PVC/FPO (TPO, Olefina termoplástica; PVC, polivinil cloruro; FPO, Poliolefina flexível). Hoje proporciona uma vasta gama de soluções de impermeabilização de acordo com cada tipo de solo e as suas condições hidrogeológicas.

## IMPLANTAÇÃO DE UM EDIFÍCIO ACIMA DE UM TÚNEL EM SOLO JÁ EXISTENTE

B. M. G. Scodeler; C. E. M. Maffei; F. R. Stucchi

**Resumo / Abstract:** Neste trabalho é apresentado um estudo de caso envolvendo a implantação de um edifício logo acima de túneis de salas técnicas e equipamentos do METRO de São Paulo na região da Avenida Paulista. São utilizadas análises numéricas em elementos finitos para previsão dos deslocamentos dos túneis. Alguns dos resultados da instrumentação são apresentados e comparados com os valores previstos.

## INOVAÇÃO E USO DE TECNOLOGIA EM MINERAÇÃO SUBTERRÂNEA

Ruy Lacourt Rodrigues

**Resumo / Abstract:** Panorama sobre a aplicação de tecnologia em mineração subterrânea nas últimas décadas, levando a uma reflexão sobre as tendências para o futuro. Exploração de casos com desdobramentos em relação às técnicas e equipamentos para escavação subterrânea e o uso sistemas inteligentes em mineração.

## INTERAÇÃO DE TUNELADORAS COM FACE MISTA TRANSICIONAL

D.G.G. de Oliveira; M.S. Diederichs; M.A.A. Peixoto da Silva

**Resumo / Abstract:** Condições de faces mistas em túneis escavados por tuneladoras são bastante conhecidas por apresentarem desafios, sendo extremamente exigentes tanto para os tuneleiros como para as respectivas máquinas (Thewes 2004).

Estas condições surgem quando dois materiais de comportamento distintos estão presentes em uma mesma face frente ao túnel. Alguns exemplos são o contato entre um calcário competente e um xisto, ou uma camada de solo sobre uma superfície rochosa. A camada competente pode apresentar paleo-relevo, tornando extremamente desafiante a previsão do modelo geológico. Neste caso, contudo, a transição entre os dois materiais geralmente está bem definida.

Uma variante dessas condições é a face transicional, ou mais especificamente, a face mista transicional, onde há uma zona composta de solo/rocha, com componentes de força e integridade variáveis, porém de mesma origem geológica. Tal ambiente seria uma interface de solo residual, saprolito e rocha, onde nem sempre a transição está bem definida. Estas condições são tipicamente encontradas em ambientes de clima tropical, onde há intenso intemperismo físico e químico das formações rochosas.

Ambas as condições representam obstáculos e comportamentos específicos, tanto conhecidos assim como inesperados, frente às escavações mecanizadas. Uma falha em antecipar estas adversidades em um projeto, pode resultar em atrasos em sua execução, ou mesmo, aumento de custos. Problemas comuns incluem: perda de solo; recalques; instabilidades; baixas taxas de avanço das máquinas; desgaste e danos de ferramentas; intervenções frequentes e longas; entupimentos; blow-outs. Estes desafios serão aqui discutidos, abordando várias questões relacionadas a operação das tuneladoras e mecanismos de perda de solo, assim como outros pontos e soluções potenciais.

## INTERLIGAÇÃO DA NOVA ESTAÇÃO SANTA CRUZ DA LINHA 5 COM A ESTAÇÃO SANTA CRUZ DA LINHA 1 DO METRO DE SÃO PAULO

P. T. Cortizo; C. C. Staudohar; L. H. Konishi; I. J. G. Mazella; L. A. Batista; P. T. França; J. C. O. Andrade Jr.; C. A. Campanhã A. S. Silva; W. D. Calabrez; G. Bonsanto

**Resumo / Abstract:** No presente artigo são apresentados a metodologia construtiva e os estudos desenvolvidos para viabilizar a interligação da nova Estação Santa Cruz, pertencente à Linha 5 da Companhia do Metropolitano de São Paulo com a Estação Santa Cruz já existente e em operação, pertencente à Linha 1. A Estação Santa Cruz, da Linha 1, foi inaugurada em meados de 1974, cujo projeto foi concebido na década de 60. Trata-se de uma estação executada pelo método de trincheira, comumente utilizado para execução das obras do Metrô da Linha 1, na época. Atualmente a Estação Santa Cruz vem sofrendo expansão e intervenções para que seja interligada à nova Linha 5 - Lilás. Para tanto, prevê-se nova passagem subterrânea com extensão de aproximadamente 31,5m, tendo como objetivo o acesso de passageiros de uma linha à outra. Nesse projeto, previu-se abertura de 12,12m da laje de fundo e 11,81m da laje da plataforma da estação existente, com a linha em operação. Tais interferências são estudadas com o objetivo de avaliar impacto na operação da via, e da estrutura propriamente dita. Para que se pudesse verificar a estação existente, recorreram-se às análises tridimensionais da estação. Simulou-se a escavação sequencial dessa com auxílio do programa FLAC e toda a estrutura com o auxílio do programa SAP2000. Do ponto de vista estrutural, a estação foi concebida como pórtico plano, e, como as novas aberturas levam a impactos essencialmente tridimensionais, simulou-se armadura da estação nas análises estruturais, por meio de análises elastoplásticas, com o objetivo de representar de maneira verossímil a rigidez da estação. Verificou-se estruturalmente toda a estação, ao estado limite último e ao estado limite de serviço. Concluiu-se que as aberturas na estação existente não levam a impactos significativos em toda a estrutura, fruto da metodologia executiva ter sido idealizada de maneira a gerar menor impacto na estação existente e melhor distribuição de esforços durante a escavação, bem como a representação da metodologia executiva via análises numéricas avançadas, tanto com enfoque do maciço quanto estrutural, que permitiram analisar o problema de forma segura e econômica.

## INTERPRETAÇÃO DO OVERBREAK DA RAMPA FONTE GRANDE SUL (MINA CUIABÁ) E SUA INTERAÇÃO COM O SISTEMA DE SUPORTE

F. B. Pereira; R. P. Figueiredo

**Resumo / Abstract:** O estudo dos mecanismos de ruptura e suas respectivas interações com o sistema de suporte - reforço na presente dissertação foi possível a partir de diversos levantamentos de campo realizados ao longo da rampa Fonte Grande Sul, entre as profundidades de 681,5 metros e 1134,5 metros na mina Cuiabá, localizada na região norte do Quadrilátero Ferrífero próximo a cidade de Sabará. Após a revisão teórica do modelo de ruptura identificado no maciço anisotrópico em estudo, a segunda e a terceira etapa do trabalho compreenderam o mapeamento geológico de algumas estruturas, a caracterização geotécnica e o levantamento topográfico pela utilização de escaneamento digital. Avaliações qualitativas e quantitativas foram consideradas em prol de justificar as evidências do mecanismo de tração na flexão (buckling) ao longo de toda a rampa. Evidências quantitativas por meio da determinação do overbreak dos setores da rampa, permitem, somadas aos aspectos qualitativos, observar um nível baixo de correlação entre os dados, representando assim evidência de que outros fatores se complementam aos fatores teóricos. Detalharam-se diversos parâmetros e suas influências na ocorrência de buckling ou overbreak para todas as porções da rampa como a diferença angular entre foliação e eixo do túnel, presença da estrutura clivagem de crenulação (S3) e outras. O histórico do desenvolvimento da rampa, escavada sem a instalação de suportes de superfície, somada a exposição contínua de mudança do estado de tensão induzida, provocam alterações na sua estabilidade com a abertura contínua de trincas e aparecimento de blocos instáveis. Por questões de segurança operacional, direciona-se os equipamentos de saneamento mecanizado (scaler) que atuam nos riscos descritos e geram consequentemente, danos no maciço de maneira progressiva a cada intervenção realizada e aumento excessivo das dimensões da escavação. Todas as informações foram interpretadas e validadas para consolidar o conhecimento do modelo de ruptura da rampa Fonte Grande Sul e suas possíveis implicações caso se utilize sistema de suporte e reforço eficientes frente as mudanças que as escavações de mineração estão expostas com o tempo.

## LIMA METRO - LINE2: GEOTECHNICAL ASPECT AND CONSTRUCTION METHODS

Fernando Diez Rubio

**Resumo / Abstract:** Peru's Ministry of Transport and Communications awarded the concession of line 2 and the line 4 Avenida Faucett to Avenida Gambetta branch of the Lima basic metro network to the concessionaire Metro de Lima Línea 2.

The construction and operation concession runs on public-private funding and comprises two lines: line 2, which runs west to east, starts at Puerto Callao station, at the entrance to the Port of Callao, and ends at Ate station, near the mountains. The line is 27 km long and comprises 27 stations and 27 ventilation shafts.

Line 4, which runs approximately north to south, starts at Gambetta station, at the roundabout of the same name, and ends at Carmen de la Legua station, an interchange with Line 2. It is 7.7 km long and comprises 8 stations and 8 ventilation shafts.

All 32.7 km run underground. Both the stretch of line that runs through a tunnel (Austrian method or tunnel boring machine) and the stations (generally on two levels: hall and platforms) will be built using the cut-and-cover method, within continuous retaining walls made from reinforced concrete.

The soil on which the lines run is composed of somewhat sandy gravel (sometimes the size of a round stone), low in fines, classified as GP (poorly graded gravel). It is of varying compactness, loose in submerged areas (near the coast) and dense to very dense in the absence of a groundwater level. Areas with water contain considerably large lenticular bodies of silt sand (SM) and low plasticity clay/silt (CL/ML), larger in line 2 than in line 4.

The groundwater level varies. At the start of line 2, near the coast, it is at ground level. 5 km from the coast, it is beneath tunnel level and the maximum excavation level of the stations. In line 4, water is present nearly throughout at tunnel level. This makes building the stations more difficult.

The whole of the concession project has been divided into two stages: 1 and 2, based on precedence. Stage 1A (section Evitamiento- Mercado de Santa Anita, about 5 km long) must be the first to become operational.

## MEDIDAS COMPENSATÓRIAS NA VENTILAÇÃO E PROTEÇÃO PASSIVA PELO USO DE FFFS EM TÚNEIS

Eng. Barcellos, Phellipe

**Resumo / Abstract:** Este trabalho discute a eficiência e possibilidades de compensação dos requisitos de proteção passiva e, especialmente parâmetros relacionados aos sistemas de ventilação de incêndio, pela implementação do sistema fixo de combate a incêndios (FFFS, do inglês "Fixed Fire Fighting Systems") com névoa de água em combinação com outras medidas de segurança em túneis rodoviários. Isto é feito referindo-se aos dados experimentais de testes de incêndio em escala real do projeto SOLIT<sup>2</sup> (Safety Of Life In Tunnels). O projeto SOLIT<sup>2</sup> foi realizado entre 2009 e 2012, e representa o maior programa de ensaios de incêndio já executado voltado para a validação da utilização de FFFS em túneis e suas consequências sobre o nível global de segurança destes ambientes.

Os resultados apresentados no trabalho demonstram que, alicerçados nos resultados do SOLIT<sup>2</sup> Engineering guideline, do relatório PIARC (2016) e nas diretrizes de compensação especificadas na NFPA 502 (2015), os sistemas de ventilação podem ser compensados para enfrentar cargas de incêndio maiores que as previstas em projeto. Seja na reforma de túneis existentes ou especificações de túneis novos, a carga de fogo efetiva pode ser significativamente reduzida quando instalado o FFFS.

Os resultados dos testes de comparação das taxas de liberação de calor (HRR) de fogos de classe B com 30 MW e 100 MW sob ventilação semi-transversal são usados para demonstrar o efeito do FFFS nos critérios do projeto de ventilação. Os resultados experimentais mostram que um sistema de ventilação projetado para HRR de 30 MW sem FFFS pode controlar até mesmo um incêndio de 100 MW quando implementado com o FFFS.

## METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DE ESTABILIDADE DE ESCAVAÇÕES EM MEIOS DESCONTÍNUOS, A PARTIR DE TESTEMUNHOS DE SONDAGEM SEMI-ORIENTADOS

L.T. Figueiredo

**Resumo / Abstract:** Atualmente, a maior parte dos estudos de estabilidade de escavações subterrâneas são compostos por análises do comportamento elasto-plástico dos maciços rochosos, e/ou análise cinemática das possíveis cunhas e blocos formados na parede da escavação, sendo que as duas análises são feitas separadamente. Este trabalho apresenta uma metodologia de estudos de estabilidade de escavações subterrâneas projetadas em meios descontínuos, por meio de testemunhos de sondagem, ensaios de laboratório e dados levantados in-situ. A metodologia tem como foco o estudo de estabilidade em galerias, realces de lavra ou quaisquer outros tipos de escavações subterrânea feita em meios descontínuos, onde os eventos de rupturas ocasionados pela presença de descontinuidades geológicas são comuns. A primeira etapa da metodologia consiste no levantamento das orientações espaciais, através de camadas guia, ou seja, descontinuidades cujas a direção de mergulho e inclinação são conhecidas e pouco variáveis. Essa técnica de obtenção aproximada das orientações espaciais é denominada “semi-orientação”. Em seguida, são obtidas as características geotécnicas das descontinuidades, por correlação com o grau de rugosidade, além da natureza e grau de alteração do material de preenchimento das mesmas. A partir daí, são elaborados os modelos geológico-geotécnicos com a determinação das famílias de descontinuidade e suas respectivas resistências. Os estudos de estabilidade são feitos por meio de análises cinemáticas de cunhas e análises por elementos finitos com a discretização das descontinuidades e, posteriormente, sugerido um sistema de contenção adequado.

## MÉTODOS ESTATÍSTICOS APLICADOS EM MACIÇOS ROCHOSOS FRATURADOS PARA A ANÁLISE DE TÚNEIS

L. L. Rasmussen ; A. P. Assis

**Resumo / Abstract:** Na engenharia geotécnica, a mecânica das rochas é uma área onde os métodos empíricos ainda são frequentes. A principal razão está em que, na natureza, as rochas sempre se encontram envolvidas por estruturas geológicas, as quais lhes imputam características díspares daquelas do material intacto. Assim, o primeiro passo na racionalização dos métodos de análise de maciços rochosos deve ser a busca por formas de caracterizar as suas estruturas geológicas. Neste trabalho, será mostrado como que ferramentas da estatística podem ser aplicadas na gênese de um sistema de descontinuidades estocástico tridimensional de um maciço rochoso. Servindo um propósito instrutivo, o maciço rochoso estudado trata-se de um caso hipotético, com as distribuições estatísticas de propriedades como orientação das descontinuidades, intensidade de fraturamento e persistência das descontinuidades já conhecidas a priori. Para este estudo, o mapeamento do afloramento da superfície do maciço servirá como dado de entrada para a aplicação da metodologia apresentada. Ao final, a distribuição estatística dos volumes dos blocos no teto de um túnel a ser concebido por este maciço será analisado, servindo como um exemplo de resultado possível de ser produzido pela metodologia. Será visto também como que os sistemas de descontinuidades tridimensionais elaborados pelas ferramentas estatísticas apresentadas podem servir análises de estabilidade de blocos em túneis mais robustas quando comparadas com a forma tradicional de se considerar os maiores blocos possíveis de serem formados.

## MÉTODOS NUMÉRICOS DE INTERAÇÃO MACIÇO-SUPORTE PARA POÇOS DE GRANDE DIÂMETRO

V. O. S. Vizini; M. M. Futai

**Resumo / Abstract:** Diferentes métodos de modelagem numérica têm sido desenvolvidos para simular a interação maciço-suporte em obra subterrânea e a céu aberto. O objetivo deste estudo é fazer uma breve comparação de três métodos destinados a poços de grande diâmetro, através do programa Abaqus 6.12, a fim de se verificar a influência do modo de ativação do suporte e da interação de contato maciço-suporte, no comportamento mecânico do poço. Os métodos são validados com a solução analítica de Schwartz e Einstein (1980) e os resultados são avaliados em termos de tensão, deslocamento e esforço. Conclui-se que os resultados dependem do método adotado, ou seja, a solução não é única, havendo influência do modo de ativação do suporte e da interação de contato maciço-suporte no comportamento mecânico de poços de grande diâmetro.

## METRÔ - RJ: UM AMBIENTE DESFIADOR PARA CONSTRUÇÕES SUBTERRÂNEAS - O CASO DA ESTAÇÃO JARDIM DE ALAH.

S. S. Da Silveira S.; T. C. Dos Santos Freitas ; J. A. Penteado; E. A. Souza Neto

**Resumo / Abstract:** Um perfil geológico-geotécnico variado associado a um cronograma restrito em uma área muito urbanizada. Estas condições singulares foram enfrentadas na construção da estação Jardim de Alah com fundações rasas das edificações vizinhas em uma rua estreita que cercavam a vala com 20,4m de largura e 22m de profundidade. Foi adotado o método VCA invertido com paredes-diafragma apoiadas em duas lajes principais e uma estronca de JG no fundo minimizando recalques. Para enfrentar estes grandes volumes de escavação próximos das fundações, técnicas consagradas de construção subterrânea foram utilizadas com objetivos diversos e associadas a outras inéditas no Brasil. Estas condições tornaram a obra um complexo desafio para projetistas e construtores.

## MINA DE VAZANTE - DESENVOLVIMENTO DE GALERIAS EM AMBIENTE CÁRSTICO COM GRANDES AFLUXOS D'ÁGUA

Couto, L. C. G.; Nascimento, G. C. S.;

**Resumo / Abstract:** A mina de Vazante está localizada no noroeste do estado de Minas Gerais, distante 330km de Brasília, sendo este acesso feito através da MG-188 até Paracatu e a partir daí pela BR-040, até Brasília. Trata-se de uma mina subterrânea, escavada em rochas dolomíticas, tendo como principal produto explorado o minério de Zinco (Willemita) e o minério de Chumbo (Galena), este como sub produto.

O desenvolvimento das galerias em rochas fraturadas e de natureza calcária, onde muitas das fraturas existentes são portadoras de grandes afluxos de água (bombeamento médio da mina igual a 12.000m<sup>3</sup>/h), acarreta uma variação significativa na qualidade do maciço rochoso em questão. Tal variação nos permite definir diferentes classes de maciços rochosos os quais apresentam-se desde pouco fraturados a até extremamente alterados, todos podendo estar associados ou não a percolação de água, dependendo do nível do aquífero na região. Em função dessa variabilidade na qualidade do maciço rochoso, torna-se de extrema importância a elaboração de uma classificação geomecânica específica, no intuito de representar o zoneamento geotécnico para toda a mina e, conseqüentemente, definir a metodologia mais adequada para o avanço das galerias. Atualmente, são realizadas cinco metodologias distintas para efetuar o desenvolvimento de galerias em situações onde ocorrem a presença de água, que são: avançar desviando da feição carstificada, com ou sem água; avançar mesmo com água na frente, através de furos de pesquisa para verificação do incremento do volume de água; avançar após drenagem da frente por interceptação da estrutura d'água em outras frentes adjacentes; avançar após perfuração para impermeabilização da frente e, por último, avançar com enfilagem e montagem de cambotas após a drenagem ou impermeabilização da frente. O detalhamento dessas metodologias é o produto desse trabalho.

## MITIGAÇÃO DE RISCOS NOS TÚNEIS DA TRANSOLÍMPICA, NO TRECHO DE INTERFERÊNCIA COM ADUTORA DO GUANDÚ

F. Caloni; J.P. Ciriades; C.K. Miyazato; B. M. G. Scodeler

**Resumo / Abstract:** O túnel Engenho Velho, pertencente ao traçado da Transolímpica, novo viário instalado na cidade do Rio de Janeiro, intercepta o eixo do túnel canal da adutora do Guandú. Durante as escavações a interferência atribui impactos ao empreendimento e riscos ao túnel canal, tamanha sua importância como rede de abastecimento d'água para a cidade. A interferência se dá com o cruzamento oblíquo dos túneis e em outro ponto, por meio de uma falha geológica que intercepta, transversalmente, a ambos os túneis. Os impactos atribuídos ao empreendimento, levaram a Transolímpica a viabilizar soluções técnicas inovadoras para mitigar os riscos a adutora e viabilizar as escavações do túnel engenho velho.



## O IMPACTO DA CONSTRUÇÃO DE REDES DE ESGOTOS E O PLANEJAMENTO URBANO E USO DO ESPAÇO SUBTERRÂNEO

Sergio A. Palazzo

**Resumo / Abstract:** Reconhecidamente em algum momento governos estaduais enfrentarão o déficit de saneamento básico, mais precisamente a coleta, afastamento e tratamento dos esgotos residenciais e industriais.

Cidades densamente urbanizadas receberão tuneis de grandes diâmetros (1200 mm a 2500 mm), o que exigirá dos projetistas, proprietários dessas redes, empreiteiras e gerenciadoras uma dedicação total, à investigação geológica, hidro geológica, geotécnica, do impacto no meio ambiente e no espaço subterrâneo, levando-os quase que compulsoriamente à execução por MND, métodos não destrutivos, tubos Armco, NATM ou os túneis mecanizados conhecidos como Micro túneis.

Qualquer desses métodos e obras têm seu sucesso ligado à qualidade do projeto básico, o qual, se atendendo às premissas contidas no Capitulo I, Seção II, Artigo 6º, Inciso IX, do Decreto Leio 8666/93 passará por extenso levantamento das informações técnicas, necessárias e suficientes, com nível de precisão adequado, baseadas em estudos técnicos preliminares, que permitam ao projetista definir, o método, os equipamentos, os materiais, gerando uma planilha completa que emite um orçamento correto, permite definir um preço justo, e assim, gerar documentos de licitação completos, que permitam finalmente ao empreiteiro agraciado com o contrato organizar decentemente o planejamento e a gestão do empreendimento atendendo às condições mínimas de projeto, contratação, execução e fiscalização, e de certo, atenderão aos desafios de lidar com o espaço subterrâneo, ou seja, respeitando outras instalações existentes, as condições geológicas e/ou geotécnicas que essas construções demandam.

O uso do espaço subterrâneo significa durante a fase de construção o uso do espaço urbano e o respeito às condições no subterrâneo. Embora tratando-se de Métodos não Destrutivos, há ainda que se considerar os emboques, e os espaços utilizados pela organização da obra. Há um razoável respeito a estas condições nos túneis de grandes dimensões, como os utilizados por trens subterrâneos, mas não podemos dizer o mesmo quando se trata de diâmetros menores que é o nosso caso onde estamos focando o trabalho desde 1200 mm a 2500 mm, podendo chegar até a 3200 mm.

O trabalho tem como fontes das premissas apontadas, obras das companhias estaduais de águas e esgoto, em particular, da SABESP em São Paulo e da CEDAE no Rio de Janeiro, e comuns a outras congêneres, embora não tão frequentes.

## O USO DO MODELO DE WINKLER NÃO LINEAR NO PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE PAREDES DE POÇOS DE GRANDE DIÂMETRO

Cortizo, P. T ; Barros, P.L.A. ; Tacitano, M.

**Resumo / Abstract:** O presente trabalho apresenta um procedimento de previsão dos esforços na parede de poços cilíndricos, executados pelo método de escavação sequencial na vertical, sob ação das tensões radiais exercidas pelo maciço circundante, com a finalidade de dimensionamento dessa parede. O procedimento apresentado é baseado em uma modelagem do solo por modelo discretizado de Winkler não linear, através do programa CE-DEVE/ PGD (Cálculo Evolutivo de Deslocamentos e Esforços em Valas Escoradas/ Poços de Grande Diâmetro), desenvolvido na Unicamp. Trata-se de um programa de análise unidimensional, evolutivo, e que permite simular de maneira sequencial a escavação. O critério de plastificação é o de Mohr-Coulomb. Os limites de deformação são os estados ativo e passivo postulados por Prater (1977). Comparam-se os resultados numéricos obtidos com os fornecidos por vários métodos de equilíbrio plástico e com um método numérico em que o meio contínuo é resolvido por diferenças finitas através do software comercial. São feitas comparações entre resultados numéricos para um poço hipotético em maciço arenoso e outro poço hipotético em maciço argiloso.

## PANORAMA OF UNDERGROUND WORKS IN MEXICO

Roberto Gonzalez Izquierdo

**Resumo / Abstract:** The preponderant concept in this presentation is the ability to describe the current underground works in Mexico, as well as the historical origin of some of them that are emblematic and give the current perspective, as well as, the continuity that has been achieved throughout several years.

There will be a specific description of tunnels and underground works, mainly constructed by the Mexican Government Federative entities that are in charge of these projects.

The referred entities are Conagua, the Federal Commission of Electricity, the Communications and Transportation Secretariat and the Works and Mexico City Public Services Secretariat, among which, 90% of the tunnels and underground works are distributed in Mexico. Also, includes the construction of the new airport which requires a large number of kilometers of tunnels of different diameters, including tunnels or ducts built with guided and pushed pipes.

On Conagua, mainly will be revised the integral solution of the Mexico City deep drainage, with the SCT, the new Mexico Toluca rail tunnels and the large road tunnels that are being built, with the CDMX OS, Metro tunnels, including those of other cities such as Guadalajara and Monterrey, with the CFE, we will refer to the large dams that have been built, and as indicated, will be informed of the project and construction of the new airport of the CDMX.

## PARÂMETROS DE CICLO DE VIDA DE SISTEMAS DE SEGURANÇA E OPERAÇÃO DE TÚNEIS RO-DOVIÁRIOS

E. A. Palma Filho ; P. Farina; L. Yamaguti

**Resumo / Abstract:** Nos últimos anos, está se intensificando a instalação de sistemas e equipamentos voltados para a segurança dos usuários dos túneis, e da própria estrutura, em si. Não há ainda um histórico nacional unificado de dados relativos a manutenção dessa gama de elementos, a não ser em pequeno e recente espaço temporal. Torna-se necessário, entretanto, estruturar expectativas de intervenção para cada tipo de equipamento ou sistema de túnel rodoviário, visando criar um macro planejamento de intervenção ao longo do tempo. Com isto, os investimentos de maior maturidade, como Concessões de Infraestrutura que giram em torno de 30 anos, poderão ser feitas levando em consideração estes parâmetros de intervenção. Decorrente disto ganha-se na precisão de alocação de recursos no tempo, reduzindo os riscos associados aos investimentos, culminando em tornar os negócios ainda mais atrativos. Baseado em experiências disponibilizadas em bibliografias internacionais, e num banco de dados de um túnel rodoviário da malha federal que já está em operação há mais de cinco anos, por meio do presente trabalho se apresentam elementos para realizar as previsões de intervenção de longo prazo.

## POÇO DE VENTILAÇÃO E SAÍDA DE EMERGÊNCIA TIETÊ (VSE TIETÊ) DA LINHA 6 DO METRÔ DE SÃO PAULO

P. T. Cortizo; L. F. Rocha; F. Y. Yadoya; R. G. O. Andrade; B. Galvão; D. D. Di Carlo; P. T. França; J. C. O. Andrade C. A. Campanhã; G. Aguiar; C. Rabassa; C. V. Chanquini

**Resumo / Abstract:** No presente artigo é apresentado um estudo de caso do projeto executivo do poço múltiplo de Ventilação e Saída de Emergência Tietê (VSE Tietê), pertencente à Linha 6 (Laranja) do Metropolitano de São Paulo. Este poço será utilizado na etapa de obra como ponto de partida das tuneladoras que irão escavar os trechos norte e sul da linha em direção às Estações Brasilândia e 14 Bis, respectivamente. A utilização de poços de grande diâmetro múltiplos conjugados é prática cada vez mais comum em obras de engenharia, principalmente no setor de estações metroviárias. A execução de poços conjugados permite que se obtenha um grande espaço interno. Na fase executiva é livre para acomodar exigências de canteiro e na fase de operação acomoda diversas exigências arquitetônicas, por exemplo, estações metroviárias. Existem diversos exemplos de poços múltiplos executados

no Metropolitano de São Paulo, há o Poço Belas Artes, Mackenzie e Acesso Jardins (2 poços), Estações Adolfo Pinheiro (4 poços), Brooklin e Campo Belo (5 poços). A concepção do VSE Tietê permite que ocorra o arqueamento de tensões no maciço e desenvolvimento de esforços normais no revestimento, obtendo-se espessuras reduzidas e poucos travamentos quando comparado à solução tradicional de valas a céu aberto. Abordam-se aqui os principais aspectos da concepção da solução, a descrição da obra, os aspectos geológico-geotécnicos, a sequência executiva e as modelagens numéricas. Apresenta-se a retroanálise contemplando a instrumentação dos strain gages, inclinômetros e marcos reflexivos. Finalmente, conclui-se que não houveram intercorrências na escavação, confirmando que a metodologia e a previsão do comportamento da escavação foram realizados de maneira adequada.

## RESISTÊNCIA DA ESTRUTURA DE TÚNEIS RODOVIÁRIOS AOS DANOS CAUSADOS POR INCÊNDIOS

L. Nunes; V. Franco; A. Assis

**Resumo / Abstract:** A utilização de vias subterrâneas para tráfego urbano de veículos e pessoas cria um potencial de risco de incêndio no interior do túnel. Assim, a presente pesquisa relata diversos estudos realizados no sentido de manutenção e aumento da segurança no interior de túneis rodoviários. Destaca-se estudos sobre: fenômeno do deslocamento do concreto; a incorporação de novos materiais as misturas do concreto para revestimento que minimizem os efeitos do deslocamento; aprimoramento dos revestimentos em túneis já existentes, tornando os suportes mais resistentes ao carregamento térmico; levantamento relativo a combustão dos materiais presentes nos veículos e potencial combustivo de cada veículo e medidas de segurança e cuidado em relação ao tipo de ventilação adequada a cada via subterrânea levando em consideração seus aspectos construtivos. Como resultado desta pesquisa, confirmou-se que a utilização de novos materiais, em especial, de fibras sintéticas, permite aumentar o tempo de resistência do concreto em caso de incêndios. Igualmente, validou-se a importância do correto dimensionamento de um sistema de ventilação.

## ROAD TUNNEL SAFETY DEVELOPMENT IN BRAZIL: NOVA SUBIDA DA SERRA TUNNEL, A CASE HISTORY

M. H. B. Oliveira; S. Giua

**Resumo / Abstract:** Among many new land transportation infrastructures under construction in Brazil, the doubling and upgrading of the BR-040 highway, linking Rio de Janeiro and Petropolis, is one of the most important. Along this highway, the longest road tunnel in the country is under construction. The “Nova Subida da Serra Tunnel” is a very particular tunnel: it is 4.6km long, mono-directional, has 2 traffic lanes and 1 emergency lane, a 6% slope and a traffic composition which includes a high proportion of trucks and buses. Dangerous goods will be admitted. The absence of a parallel descending bore, the environmental limitations that forced the excavation inside the Serra do Mar forest to be reduced to the minimum and the intent of applying the last European standard for safety created many difficulties in managing safety issues.

This paper aims at describing the complex process of designing the tunnel, taking into account safety issues and their validation. Due to the unfeasibility of building shafts or a parallel tunnel, an escape gallery connecting nine pressurized exits (one every 500 m) was designed under the road pavement and a link with an intermediate window complete the rescue path. The ventilation was designed as a longitudinal system that is able to manage the fire situation. CFD and egress simulation in case of fire was developed to validate the solution. Fire hoses, cameras, fire sensitive cables and drainage for Dangerous Liquids are other items of the firefighting system.

A Risk Assessment, using both Brazilian and European standards methodologies, was performed during the design process to ensure that the tunnel is fully safe.

The design results were the construction of a very safe road tunnel that, using the most recent system technologies, can help the owner to support the very heavy traffic that will cross the BR-040 highway. Special consideration was given to harmonize the use of the systems with the operational issues.

## SOLUÇÕES PARA MONITORAMENTO DE TÚNEIS FERROVIÁRIOS NA FCA

R. Pereira de Almeida; A. Assis

**Resumo / Abstract:** A FCA (Ferrovia Centro Atlântica) possui uma malha ferroviária longa com mais de 8000 km e 42 túneis espalhados por vários estados no Brasil. A variabilidade de anomalias que podem ocorrer é enorme já que as geologias são completamente diferentes e os métodos construtivos também. Existem túneis antigos com mais de 150 anos, outros mais recentes foram construídos nas décadas de 60 e 70. Esses fatores contribuem para dificultar o monitoramento dessas estruturas. Como agravante, interditar o tráfego de trens para inspeções detalhadas é inviável. Dessa maneira, várias tecnologias foram estudadas de maneira técnica e também econômica. Verificou-se que um veículo ferroviário com instrumentos de medição é o mais indicado. O veículo trabalharia como carro controle fornecendo informações que são processadas em escritório. As informações coletadas são uma nuvem de pontos 3D, fotos de precisão e imagens de infravermelho. Caso informações complementares sejam necessárias, outras inspeções pontuais e sondagens podem ser programadas em um segundo e terceiro momento. Assim, soluções de engenharia são elaboradas com base nesses dados de maneira específica para cada anomalia encontrada. Verificou-se que essa metodologia pode promover redução nos custos dos levantamentos e melhoria na qualidade dos dados.

## STATISTICAL-BASED GENERATION OF JOINT SYSTEMS FOR STABILITY ANALYSIS OF TUNNELS IN DISCONTINUOUS ROCKS MASS

S. Villalobos Cifuentes; P. Pazzoto Cacciari; M. Massao Futai

**Resumo / Abstract:** Geotechnical analysis of tunnels in complex jointed/discontinuous rock masses requires an increased understanding and more rigorous considerations of the impact of inter-block structure, such as the network of rock joint systems and other discontinuity types on rock mass behavior.

Accuracy in predicting rock mass behavior depends on adequate characterization of in situ rock properties. The performance of tunnels constructed in discontinuous rock masses depends on geometric characteristics of joint/discontinuities (orientation, spacing and persistence), on the resistance characteristics of the discontinuities and the intact rock, and on the effect of water. Difficulties arise because parameters describing these characteristics are not unique, but distributed. This distributive character affects both analyses in which rock mass parameters are used and sampling plans by which parameters are obtained. However, stochastic description of discontinuous rock masses and the statistical distribution of its geometric characteristics have developed considerable advances in the past 45 years.

In this article, the parallel deterministic and parallel statistic models about the distributional form of geometric characteristics are used to the generation of rock joint systems. These are coupled in two-dimensional numerical models based on finite elements software to evaluate the tunnel stability. A case study of a Brazilian railway tunnel excavated in a discontinuous rock mass is used.

## SUDDEN CONVERGENCE AT THE LOWER PART OF THE WALLS OF THE ITUANGO HYDROELECTRIC ACCESS ROAD TUNNEL

N. D. Jurado; J. D. Herrera

**Resumo / Abstract:** Sudden convergence at the lower part of the walls occurred along 36 m of a road tunnel (K12), excavated with the drill and blast method, as part of the access to the Ituango hydroelectric project (northwest of Colombia). Excavation was carried out in a quartzofeldspathic gneiss in most part of the tunnel, showing also the presence of graphite and sericite schist with a strongly marked foliation. Highly persistent shear zones concordant to the foliation planes, containing clay gouge, mica and graphite were also found. After performing several 2D numerical analyses based on the geological information and monitoring reports, a new support was defined, including steel sets with sliding joints which could safely bear the high horizontal stresses.

## TBM APPLICATIONS FOR SHORT TUNNELS

K. Bäßler

**Resumo / Abstract:** Mechanized tunnelling technology with solutions adapted to specific project conditions are in operation successfully worldwide. The high-tech state of the art technology is used to construct arteries of life for the various means of infrastructure systems beneath the surface. This sometimes includes short tunnel sections for road, rail and utilities for energy and water.

The paper highlights a selection of reference projects, showing that the use of tunnel boring machines (TBMs) can be quite viable even for very short tunnels and can be also crucial for the realization and secure implementation of a project.

## TEOR DE QUARTZO-EQUIVALENTE (EQC) OU GRAU DE ALTERAÇÃO? QUAL DESTES PARÂMETROS É MAIS IMPORTANTE NOS ESTUDOS DE ABRASIVIDADE EM REGIÕES TROPICAIS?

M.D. Monteiro ; H.C. Rocha

**Resumo / Abstract:** A abrasividade das rochas e os seus efeitos sobre o desgaste de ferramentas de corte são aspectos fundamentais em estudos de escavações subterrâneas. O consumo destas ferramentas deve ser adequadamente avaliado, pois caso contrário, pode provocar aumentos de custos e atrasos de cronogramas em função da necessidade de substituição de peças. Trabalhos de referência realizados no continente europeu têm destacado a importância da mineralogia abrasiva, que se manifesta sob o teor de quartzo-equivalente (eQc) e sua relação com o consumo de ferramentas de corte. Estudos recentes realizados pelo Metrô-SP, com amostras de diversos litotipos da Região Metropolitana de São Paulo, têm evidenciado uma significativa falta de correlação entre o eQc e comportamentos abrasivos em ensaios de abrasividade, uma vez que amostras com elevados valores de eQc apresentaram baixa abrasividade. Por outro lado verificou-se uma importante influência do grau de alteração das rochas sobre os resultados destes ensaios, em que o comportamento abrasivo variou conforme a intensidade da alteração (amostras mais alteradas foram menos abrasivas e vice-versa). Os estudos indicam que apenas a presença de quartzo e outros minerais de elevada dureza não implica necessariamente em um comportamento abrasivo nestes ensaios, o que pode ser explicado pelo grau de alteração, que modifica as propriedades geomecânicas das rochas, mas pouco modifica o eQc. Esta constatação representa uma grande diferença entre os estudos de abrasividade realizados em países europeus, com clima temperado e pouca ação do intemperismo químico, e em países tropicais como o Brasil, onde as condições climáticas favorecem a formação de um espesso estrato de rochas alteradas, necessitando assim de uma diferente forma de abordagem.

## TOWARDS AN URBAN UNDERGROUND FUTURE: THE FUTURE OF OUR CITIES

Han Admiral

**Resumo / Abstract:** Our cities are facing challenging times. Indeed, this has very much been the focus of global conferences such as Rio+20 on the sustainable development goals, Paris on the climate goals and most recently Habitat III in Quito on a new urban agenda. But more than just pointing this out, these conferences are showing us a way forward and indicating that it is cities that are going to make the difference. In this presentation, we will not only look at how the use of underground space can help cities meet these challenges. We will also explore how next-generation infrastructures need to become more 'eco-logical'. 'Eco-logical' in this sense means we need to apply the way eco-systems work to the way we think about infrastructure. In doing so, we will adapt to new ways of designing and constructing urban infrastructure, and ways to finance these projects. Underground space projects, including tunnelling, can significantly enhance our cities and make them the liveable, sustainable, resilient and inclusive cities they need to be. In this way, an urban underground future will contribute to our cities future.

## TRATAMENTO DE UMA CAMADA DE TURFA SOB DUAS GALERIAS DE DRENAGEM COM RECOBRIMENTO DE 4,5M PARA PASSAGEM DE SHIELD EPB DE 10,5M - METRO SÃO PAULO - LINHA 5

Akira Koshima; José Ricardo Lopes; Alfredo Dácio de Moraes Filho; Miriano Rolando Pieroni; Marco Gomes; Alaor Coelho Jr

**Resumo / Abstract:** Os autores descrevem a execução de um tratamento de maciço de solo aluvionar turfoso de baixíssima resistência (SPT entre 0 e 1) da fundação de duas galerias adjacentes de drenagem muito antigas. Essas galerias cruzam sobre o traçado de um túnel de via dupla da Linha 5, escavado por Shield EPB de 10,6m de diâmetro do Metro de São Paulo. Esse tratamento teve por finalidade reforçar o maciço para garantir a passagem segura do shield sem causar quaisquer danos às galerias. Essas galerias antigas foram vistoriadas e reforçadas internamente antes do reforço do maciço. Foram executados ao todo 6 níveis de enfilagens auto-perfurantes com tubo metálico SCH160, diâmetro de 4" e a formação de um bulbo de injeção com diâmetro estimado de 0,20m na região de recobrimento entre túnel e fundo das galerias de 4,5m. Em função da geometria de distribuição espacial das galerias com o túnel foram executados dois poços circulares de 6m de diâmetro, situados sobre o eixo do túnel do shield sendo um ao lado de cada galeria, a partir dos quais foram feitas as enfilagens em leque sob as fundações das mesmas. Foram 3 níveis de enfilagens alternadas de cada poço, que se entrelaçam com comprimentos variáveis de enfilagens que atingiram até 15m e uma sobreposição máxima de 6,5m. Foi usada uma pressão de injeção controlada de forma a garantir a limpeza da perfuração e a formação do bulbo projetado. Devido às características peculiares da camada de solo e o espaço reduzido de trabalho, tornou-se indispensável o conhecimento da geometria das perfurações / instalações corretas dos tubos, fazendo-se as medidas de direcionamento e deflexão dos tubos. Por fim o tratamento do maciço projetado e executado mostrou-se adequado com um bom comportamento das galerias instrumentadas com a passagem do shield nessa região.

## TÚNEIS 4A E 4B DA LIGAÇÃO LOBATO-PIRAJÁ - SALVADOR - BA PROJETO E ACOMPANHAMENTO DA OBRA

C. E. M. Maffei; F. Galvão; W. Carreira

**Resumo / Abstract:** Neste trabalho apresenta-se o projeto e aspectos da construção dos túneis 4A e 4B, pertencente à Ligação Lobato-Pirajá. Refere-se à evolução das soluções adotadas, desde a fase de projeto até à fase da obra, destacando-se as medidas de adaptação das soluções, na sequência do conhecimento mais aprofundado do modelo geotécnico e da constatação, durante a fase inicial de escavação dos emboques e túneis, do comportamento evidenciado pelo conjunto suporte/maciço. Salienta-se a importância do Acompanhamento Técnico da Obra (ATO) efetuado de forma sistemática, bem como a concorrência de esforços e deslocamentos para a adaptação do projeto às novas condições encontradas.

## TÚNEL DE ADUÇÃO EM ROCHA METASSEDIMENTAR - PCH PIRAPORA, RIO TIETÊ/SP

Cláudio Márcio da Silva; Rodrigo Batista Fonseca; Luiz Tadeu Monticelli (In Memoriam); Luiz Alberto Minicucci

**Resumo / Abstract:** Este artigo descreve os critérios de dimensionamento do túnel de adução da PCH Pirapora/SP, bem como o acompanhamento de construção, critérios e metodologias de dimensionamento de suportes com uso do sistema norueguês de túneis (NGI), Q-System, com especial destaque para rochas metassedimentares com propriedades, parâmetros geomecânicos e estruturação típica. As classificações RMR e GSI também foram aplicadas e parâmetros correlacionados.

O caso descrito abrange as etapas de projeto e construção do túnel de adução da barragem existente no rio Tietê, concluída em 1955 e que teve ainda intervenções para ampliação da capacidade de vertimento com a construção entre de um descarregador de fundo em túnel na margem direita do rio.

São abordados de forma sucinta os aspectos geológicos, aspectos da concepção, desenvolvimento do arranjo e posicionamento da estrutura do Túnel de Adução, detalhes de projeto e construção, classificação de maciços, cobertura e dimensionamento, previsão e aplicação de suportes, comportamento do maciço, instrumentação e monitoramento, além de aspectos de obra e construção.



Com descrição e ilustração, são abordados aspectos e detalhes técnicos dos tipos de suporte empregado, metodologia construtiva, avanço e prazo de execução, processos de contratação, custos e comparativos de construção.

Pretende-se contribuir com uma breve apresentação das principais ações e resultados obtidos, tanto no desenvolvimento do projeto, sequência e método de execução quanto pelo acompanhamento técnico durante as escavações a céu aberto e subterrânea para escavação da estrutura. O dimensionamento e comprimento do trecho revestido e blindagem juntamente com técnicas de reforço e melhoria de qualidade do maciço adjacente são também brevemente abordadas.

## TÚNEL EM AREIAS PURAS ESCAVADO COM TECNOLOGIA DE SHIELD EPB HÍBRIDO DE GRANDE DIÂMETRO NA LINHA 4 DO METRÔ DO RIO DE JANEIRO – (CONSÓRCIO LINHA 4 SUL)

Julio Claudio Di Dio Pierrri

**Resumo / Abstract:** Areias puras são tipicamente domínio de Slurry Shields principalmente pela alta permeabilidade do meio e pelas características granulométricas.

Porém, a tecnologia inovadora híbrida no EPB Shield com 11,51 m de diâmetro usado para a escavação dos túneis da Linha 4 do Metrô do Rio de Janeiro avançou com a melhoria de agentes condicionantes e métodos alternativos de lama e sistemas de injeção de bentonita, permitindo a ampliação do uso de EPBs em solos de maior granulometria com vantagens.

E o Oscar foi para .... o tatuzão da Linha 4 do metrô carioca!

A inovação tecnológica realizada pelos engenheiros da obra da linha 4 do metrô carioca venceu, em novembro último, o ITA Tunnelling Awards 2016, o maior prêmio do setor de túneis do mundo. Os vencedores são engenheiros da Odebrecht, líder do Consórcio responsável pela obra, e receberam o prêmio em Singapura. A obra foi a única brasileira que disputou o prêmio em 2016. Foram apresentados dezenas de projetos e, na final, ficaram propostas de cinco países. O Prêmio é o reconhecimento mundial do trabalho dos engenheiros Júlio Pierrri, Alexandre Mahfuz, Carlos Henrique Turolla, além dos consultores Marc Comulada e Ulrich Maidl, que fizeram várias pesquisas no laboratório da obra para adaptar o tatuzão híbrido para escavação em rocha e areia. E isso numa área densamente povoada como é a Zona Sul do Rio. O Prêmio mostra que a qualidade da engenharia brasileira tem reconhecimento mundial.

O tatuzão do metrô da Linha 4 pesa 2,7 mil toneladas e tem 123 metros de comprimento por 11,5 metros de diâmetro, o equivalente a um prédio de quatro andares. Ele foi fabricado sob medida para o solo carioca e foi o maior já utilizado na América Latina. “

## TÚNELES COMO SOLUCION A SECTORES CRITICOS DE LA CARRETERA INTEROCEÁNICA

Jorge Velásquez Guevara

**Resumo / Abstract:** Los túneles construidos en la carretera Interoceánica Sur -Tramo 4 han sido proyectados para dar una solución definitiva y principalmente segura, a varios sectores críticos existentes a lo largo de los 305 Km que constituye el tramo 4 de esta importante vía del Perú, puente de comunicación entre Perú y Brasil.

La construcción de túneles representa un verdadero reto de ingeniería tanto en el aspecto geológico como en la parte constructiva, sumado a ello la orografía de los andes Sur Orientales, donde la presencia de grandes huaycos, derrumbes masivos y deslizamientos de taludes sobre la carretera requieren de soluciones de ingeniería que eviten estos sectores críticos unas veces usando el principio del By-pass y en otros casos alejándose de la zona inestable y atravesando las montañas.

Alineados con el propósito de la Concesión vial, que consiste en dotar de tránsito continuo y de un calificado nivel de servicio a los usuarios de la vía, -aún en la etapa constructiva- se han estudiado soluciones de túnel en 9 sectores, de los cuales 7 ya se encuentran construidos y en actual operación.

## USO DE CÉLULAS TIPO STT-FURNAS NA DETERMINAÇÃO DE TENSÕES IN SITU NA MINA CUIABÁ - SABARÁ/MG

D.B. Brandani; J.L. Armelin; R. P. Figueiredo

**Resumo / Abstract:** A magnitude e direção das tensões in situ é um dos parâmetros de entrada mais relevantes na análise das escavações de lavra e desenvolvimento em empreendimentos mineiros. Pequenas variações nessas tensões podem acarretar grandes mudanças no design da mina e, conseqüentemente, no resultado financeiro dos projetos. O entendimento do comportamento do campo de tensões com o aprofundamento da mina é essencial para uma otimização do layout das escavações. Pretende-se neste artigo abordar principalmente os aspectos técnicos e operacionais envolvendo a execução dos ensaios para determinação das tensões in situ nos níveis 11, 13 e 17 da mina subterrânea de Cuiabá (da AngloGold Ashanti, ou simplesmente AGA), localizada no município de Sabará/MG. Neste serão discutidas as premissas e requisitos técnicos para a aplicação do método overcoring de determinação de tensões e apresentação dos resultados (magnitude e a direção das tensões principais) para o referido empreendimento. Para tanto, foi utilizado o último modelo das células triaxiais tipo Stress Tensor Tube (STT) fabricadas por Furnas. Enfatizam-se neste trabalho aspectos executivos como a importância da escolha do local e da profundidade para execução dos ensaios, a fim de garantir que o ponto de interesse esteja situado fora da zona de influência de eventuais escavações vizinhas. Da mesma forma, será dado o devido enfoque a algumas questões práticas que envolvem o ensaio, como a presença de água e de uma condição geomecânica do maciço rochoso que seja adequada à sua execução.

## USO DE TBM EM TÚNEIS DE ADUÇÃO DE PCHS NOS RIOS VERMELHO E NATAL, SC

E. Peev; F. R. Sellmer

**Resumo / Abstract:** A escavação mecanizada com uso de tuneladoras tem sido aplicada com sucesso ao redor do mundo em túneis para diversos fins. Esta avançada tecnologia pode ser adaptada com soluções específicas para atender as mais variadas e exigentes condições de projeto. No Brasil, esta tecnologia vem sendo utilizada com sucesso, principalmente em túneis metroviários. Este trabalho apresenta a primeira utilização no Brasil de uma tuneladora aberta tipo Gripper para escavação de túneis de adução em rocha em projetos de PCH (Pequena Central Hidrelétrica).

## USO DO Q-SYSTEM NO DIMENSIONAMENTO DOS SUPORTES NO TÚNEL DE ADUÇÃO DA PCH RONDINHA, PROJETO E CONSTRUÇÃO

Cláudio Márcio da Silva; Leonardo Felipe Benevenuto Mendonça; Luiz Alberto Minicucci

**Resumo / Abstract:** Este artigo descreve o uso do método Q-System no projeto e construção do Túnel de Adução da PCH Rondinha, comparando dados de projeto com mapeamento geológico-geomecânico das escavações. O túnel com 533 metros, seção arco-retângulo de 30 metros quadrados, foi escavado em derrames basálticos ácidos da Formação Serra Geral.

Durante a elaboração do Projeto Executivo, com utilização dos dados disponíveis, foram calculados diferentes valores de "Q" para o maciço rochoso, os quais variam em função de variações das características geológico-geotécnicas do material escavado ao longo do traçado, bem como de acordo com a espessura da camada de rocha acima da abóboda, regiões de confluência com estruturas auxiliares (shaft) e nas regiões de emboque e desemboque (transições com estruturas de concreto). Como exemplo, cita-se o contato entre derrames basálticos na elevação 864,00 m, aproximadamente, caracterizado pela ocorrência de um pacote de aproximadamente 5 m de espessura de basalto vesículo-amigdaloidal, sendo interceptado pela escavação entre as estacas de projeto 25+05 m a 25+18 m, o que corresponde a um trecho de aproximadamente 13 metros de extensão.

De maneira geral, foi observado que as previsões de projeto se confirmaram pela classificação do maciço rochoso feita em campo durante as escavações, salvo nas regiões de entroncamento com o shaft, e nas regiões de emboque e desemboque, onde a categoria de suporte foi melhor que a prevista.



PROMOÇÃO  
Promotion



ASSOCIATION INTERNATIONALE DES TUNNELS ET DE L'ESPACE SOUTERRAIN  
AITES | ITA  
INTERNATIONAL TUNNELLING AND UNDERGROUND SPACE ASSOCIATION

PATROCÍNIO DIAMANTE  
Sponsor Diamond



PATROCÍNIO OURO  
Sponsor Gold



PATROCÍNIO PRATA  
Sponsor Silver



APOIO ESPECIAL  
Special support



ORGANIZAÇÃO  
Organization



acquaconsultoria  
an MCI Group company

9th IS - SÃO PAULO 2017

PATROCÍNIO  
Sponsor



ORGANIZAÇÃO  
Organization



acquaconsultoria  
an MCI Group company

