



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS**  
**UNIDADE ARAXÁ**  
**DEPARTAMENTO DE MINAS CONSTRUÇÃO CIVIL**  
**GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MINAS**

**FATOR DE SEGURANÇA EM REALCES ATRAVÉS DA COMPARAÇÃO ENTRE**  
**MÉTODO EMPÍRICO E ANÁLISE NUMÉRICA**

**GABRIELA PASTORINI MATOSO**

**ARAXÁ**  
**2016**



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS**  
**UNIDADE ARAXÁ**  
**DEPARTAMENTO DE MINAS CONSTRUÇÃO CIVIL**  
**GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MINAS**

**FATOR DE SEGURANÇA EM REALCES ATRAVÉS DA COMPARAÇÃO**  
**ENTRE MÉTODO EMPÍRICO E ANÁLISE NUMÉRICA**

**GABRIELA PASTORINI MATOSO**

**ORIENTADOR**

**PROF. MSc. MICHEL MELO OLIVEIRA**

**ARAXÁ**

**2016**

M433f Matoso, Gabriela Pastorini.

Fator de segurança em realces através da comparação entre método empírico e análise numérica / Gabriela Pastorini Matoso. - 2016.

57 f.: il.

Orientador: Prof. Michel Melo Oliveira.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Minas) – Centro Federal de Educação Tecnológica, 2016.

1. Minas e Mineração. 2. Minas e Mineração - Segurança. I. Oliveira, Michel Melo. II. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. III. Título.

CDD 622.2


GABRIELA PASTORINI MATOSO


FATOR DE SEGURANÇA EM REALCES ATRAVÉS DA COMPARAÇÃO ENTRE  
MÉTODOS EMPÍRICO E ANÁLISE NUMÉRICA

Trabalho de conclusão de curso  
apresentado ao Centro de Educação  
tecnológica de Minas Gerais, Unidade  
Araxá, como requisito parcial para obtenção  
do título de Engenheiro de Minas.

Data de aprovação: 03/10/2016

Banca Examinadora:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. MSc. Michel Melo Oliveira – CEFET/ARAXÁ  
Presidente da Banca Examinadora - Orientador

  
\_\_\_\_\_  
Profa. MSc. Sônia Alves Braga

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Felipe de Moraes Russo

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos professores e funcionários do CEFET-MG campus Araxá que de várias formas contribuíram para que eu obtivesse sucesso e aprendizado no decorrer desse curso de graduação.

Aos colegas pelo apoio e companheirismo durante todos os momentos do curso.

Ao meu orientador, Prof. MSc. Michel Melo Oliveira pelo suporte e incentivo, ao Prof. Dr. Maurício Antônio Carneiro pelo auxílio na elaboração deste trabalho.

Muito obrigada a todos...

“Sonhos determinam o que você quer. Ação determina o que você conquista.” Aldo Novak.

## RESUMO

Pela importância da segurança para viabilidade de uma mina, a principal função deste trabalho foi observar como as análises de fator de segurança em pilares, por métodos diferentes estão interligadas e se apresentariam resultados consideráveis e parecidos. Dos métodos comparados, o primeiro utilizava das equações de tensão e resistência da rocha e o segundo através da utilização do *software* Phase2. Em ambos variaram-se os parâmetros geométricos da mina (largura e altura das câmaras e dos pilares e profundidade da escavação). Os resultados obtidos mostram uma diferença de valores entre os métodos utilizados, tendo o apresentado pelo software um menor Fator de Segurança, além de apresentar como o fator de segurança varia com a geometria das escavações.

**PALAVRAS CHAVES:** fator de segurança, câmaras e pilares, modelamento matemático, Phase2

## ABSTRACT

For the importance of security for viability of a mine, the main function of this study was to observe how the safety factor analysis on pillars, by different methods are interlinked, and if show considerable and similar results. Of the compared methods first one used a pillar strength and stress equations and the second one used software Phase2. In both, geometric parameters of the mine were changed (width and height of the rooms and pillars and the depth of excavation). The results show a difference in values between methods used, the results by software presents a lower safety factor, and presents as the safety factor changes with the excavations geometry.

**KEYWORDS:** safety factor, room and pillar, mathematical modeling, Phase2

## ILUSTRAÇÕES

- Figura 2.1: Foto de mina que utiliza o método Câmaras e Pilares 6
- Figura 2.2: Planta de uma mina CeP ideal. Adaptada de: Zipf 2011. 6
- Figura 2.3: Elementos de um método de suporte de mineração (Câmaras e pilares) Adaptada de Brady & Brown 2004. 7
- Figura 2.4: Disposição dos pilares de barreira e colunas do painel em uma jazida lateralmente extensa. Adaptada de: Brady & Brown 2004. 9
- Figura 2.5: A redistribuição da tensão no sentido axial de um pilar acompanhando o desenvolvimento da mina. Adaptada de: Brady & Brown 2004. 10
- Figura 3.1: Obtenção dos dados no software Rocdata. 20
- Figura 3.2: Projeto AutoCad com limite externo (rosa) e Escavações (verde). 20
- Figura 3.3: Projeto exportado no Phase2. 21
- Figura 3.4: Resultado da análise do fator de segurança o Phase2. 21
- Figura 4.1: Gráfico dos resultados obtidos nos 81 testes para fator de segurança. 26



## TABELAS

Tabela 2.1: Os valores para constantes em fórmulas empíricas de resistência do pilar. .....	15
Tabela 3.1: Resultados de ensaio Uniaxial. ....	18
Tabela 3.2: Resultado de ensaio Triaxial. ....	18
Tabela 4.1: Comparação de resultados das equações e pelo Phase2 (teste 1 ao 27). .....	23
Tabela 4.2: Comparação de resultados das equações e pelo Phase2 (teste 28 ao 54). .....	24
Tabela 4.3: Comparação de resultados das equações e pelo Phase2 (teste 55 ao 81). .....	25

## ABREVIATURAS E SIGLAS

CeP – Câmaras e Pilares

$\lambda$  = unidade de peso de rocha

$z$  = profundidade de horizonte de mineração

$W_p$  = largura do pilar

$W_o$  = largura da abertura

$A_M$  = área extraída (ou seja, a área total da câmara)

$A_T$  = área total do corpo de minério

$A_P$  = área do pilar

$K_0$  = relação de tensão horizontal por vertical

$H$  = altura da mineração

$L$  = extensão lateral da área minerada

$E, \nu$  = constantes elásticas

$m$  = massa de rocha

$\rho$  = massa do pilar

$B$  = largura da abertura individual

$N$  = número de pilares através do painel

SED = densidade tensão de energia

$V$  = volume

FE = energia de fratura da superfície (material constante)

$A$  = área superficial fracturada

$S$  = Índice que denota espécime em escala de laboratório

$P$  = Índice que denota pilar em larga escala

$\sigma_p$  = resistência do pilar em larga escala

$\sigma_s$  = resistência da amostra de laboratório

$V$  = volume, que é proporcional à  $L^3$

$H_P$  = altura do pilar

$H_s$  = altura do espécime

$W_s$  = largura do espécime

$\sigma_s$  = resistência de um pilar cúbico ( $W/H=1$ ) igual ou superior ao tamanho crítico

$K$  = característica constante da rocha pilar

$a, b, \alpha, \beta$  = constantes que representam o factor de forma

$m_b, s, a$  = constantes que dependem da qualidade da massa de rocha

$\sigma$  = resistência à compressão uniaxial dos pedaços de rocha intactas  
(equivalente a  $\sigma_s$ )

$\sigma_1'$  = tensão axial principal

$\sigma_3'$  = tensão confinante principal

## SÍMBOLOS

Mpa – Mega Pascal

m – metros

° - graus

## Sumário

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1	<i>Apresentação .....</i>	1
1.2	<i>Justificativa.....</i>	1
1.3	<i>Objetivos .....</i>	4
<b>2.</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>5</b>
2.1.	<i>Método de câmaras e pilares .....</i>	5
2.2.	<i>Fator de segurança .....</i>	9
2.3.	<i>Tensão no Pillar .....</i>	10
2.4.	<i>Resistência do Pilar.....</i>	12
2.5.	<i>Phase 2 .....</i>	17
<b>3.</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>17</b>
3.1	<i>Metodologia para cálculo.....</i>	19
3.2	<i>Metodologia para programa .....</i>	19
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>22</b>
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>27</b>
<b>6.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>28</b>
<b>7.</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>30</b>



# **1. INTRODUÇÃO**

## **1.1 Apresentação**

Este é o Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia de Minas do CEFET/ARAXA da aluna Gabriela Pastorini Matoso sob a orientação do Prof. MSc. Michel Melo Oliveira, desenvolvido no Departamento de Minas e Construção Civil, no âmbito das disciplinas TTC I e II, ministrada pelo Prof. Dr. Maurício Antônio Carneiro. O material de estudo foi fator de segurança em realces através da comparação entre métodos empírico e análise numérica.

## **1.2 Justificativa**

A decisão pelo método de lavra a ser adotado é um dos principais elementos para análise econômica de uma mina e permite o desenvolvimento da operação. A mineração é uma atividade praticada em todo mundo e os meios de extração empregadas estão em constante evolução. Mesmo existindo alguns poucos métodos de lavra principais, provavelmente existem centenas de variações. Os métodos são limitados pela disponibilidade e desenvolvimento dos equipamentos e devem ser avaliados levando-se em conta os aspectos tecnológico, social, econômico e político; a escolha do método de lavra pode ser considerada tanto uma arte como uma ciência (Macedo *et al.* 2001). O desenvolvimento da Mecânica das Rochas tem permitido avanços nas técnicas analíticas que tem grande consideração na escolha do método de lavra. As informações geotécnicas raramente são obtidas durante os estágios iniciais de delimitação do depósito e estimativa das reservas. Dados mais detalhados, como características do maciço que variam com o tempo, consequências da exposição das rochas às condições ambientais da mina e seqüência de extração mais adequada, só estarão disponíveis durante a fase de lavra (Macedo *et al.* 2001). No estudo da variação do método de lavra, todos os objetivos devem ser assegurados e a única diferença é a quantidade de detalhes envolvidos em sua definição. Isto é expresso em termos de uma seqüência de extração mais específica, maior detalhamento nas dimensões das aberturas e disposição do projeto. Métodos de mineração subterrânea exigem estudo aprofundado da mecânica das rochas,

diferente das estruturas de engenharia civil que são fixas, as estruturas de rochas dependem da estrutura da mina que continua a desenvolver ao longo da vida desta. As sequências de extração de bloco de minério assumem grande importância. As decisões tomadas no início da vida útil da mina pode limitar as opções, e o sucesso da mineração quando se pretende estabelecer uma estratégia de extração ordenada e eficaz, ou para recuperar minério remanescente (Brady & Brown 2004).

As dimensões das jazidas podem exceder centenas de metros em pelo menos duas dimensões. Durante a escavação de uma jazida, os vãos das escavações podem ser da mesma ordem de grandeza que as dimensões da jazida. É conveniente descrever o desempenho da massa de rocha hospedeira durante atividade de mineração e também considerar a massa de rocha em torno de uma jazida.

Um método de mineração consiste numa sequência de operações de produção, que são executadas repetidamente e em torno dos blocos de produção no qual uma jazida está dividida. Diferenças entre os métodos de mineração envolvem diferentes técnicas de executar as operações unitárias (Brady & Brown 2004).

Outras questões mais gerais de engenharia e sociais também podem estar envolvidos da decisão do método a ser adotado. Algumas propriedades físicas e mecânicas do corpo de minério que são consideradas na decisão do método:

- A configuração geométrica do corpo de minério define as dimensões relativas e forma de uma jazida.
- A disposição e orientação ligam propriedades puramente geométricas de uma jazida, como a sua profundidade, o seu mergulho e sua conformação.
- As dimensões absolutas e relativas de uma jazida.
- O valor monetário de uma jazida, e a variação do grau mineral através do volume da jazida, determinam estratégia de mineração e prática operacional.



- Ambiente de engenharia, em que a interação da mina com o ambiente externo deve ser compatível, deve-se ter cuidado com fluxo de águas subterrâneas, alterações na composição química das águas, bem como possíveis alterações na topografia da superfície.
- Configurações geomecânicas específicas determinam um método de mineração apropriada para um depósito. A resposta de um maciço rochoso a um método de mineração reflete a constituição geológica mecânica e estrutural da rocha da jazida e a rocha circundante. Propriedades do material incluem resistência, características de deformação (como elástico, plástico e propriedades de fluência) e características de intemperismo (Brady & Brown 2004).

Os princípios e métodos de mineração evoluíram para atender os problemas geomecânicos e operacionais da recuperação de depósitos de minério caracterizados por um amplo conjunto de parâmetros geológicos e geométricas. Independentemente da técnica de mineração adotado para extração de minério, é possível identificar quatro objetivos mecânica das rochas comuns para o desempenho de uma estrutura de mina. Esses são:

- assegurar a estabilidade global da estrutura mina completa, definida pelas principais fontes de minério e vazios minadas, restos de minério e rocha adjacente;
- proteger as grandes aberturas de serviços ao longo da vida da mina;
- fornecer acesso seguro aos locais de trabalho e dos centros de minério;
- preservar a condição lavrável de reservas de minério (Brady & Brown 2004).

Escolher o método de lavra subterrânea depende principalmente dos condicionantes geometria do corpo de minério (espessura, profundidade, inclinação) e características da resistência e estabilidade dos maciços e rochas encaixantes. Para

lavra subterrânea existem três métodos principais, que são o método com realces autoportantes, com suporte das encaixantes e com abatimento. Dentre estes o método das câmaras e pilares que é derivado do com realces autoportantes, sendo aplicado a corpos tabulares sub-horizontais com elevada continuidade e homogeneidade da qualidade do minério (Germany 2003).

O desmonte de rochas em câmaras e pilares é feito com avanço de câmaras paralelas e espaçadas, deixando minério sob as formas de pilares para sustentar o teto. O minério, deixado em forma de pilares, poderia ser recuperado como operação final de lavra, mas é considerado usualmente como não recuperável (Hustrulid 1982).

As operações de produção são realizadas nas aberturas denominadas câmara, as quais se prestam a múltiplos propósitos, a saber: fonte de minério, acesso de pessoal, vias de transporte, circulação de ar, etc. Entre tais aberturas são abandonados os chamados pilares, que são remanescentes de minério deixados, com as finalidades de servir de suporte para a coluna de rochas sobrejacentes e de limitar os vãos dos tetos das câmaras vizinhas. Tal abandono de minério tem implicações sobre a recuperação final do jazimento (Figueiredo & Curi 2002).

### **1.3 Objetivos**

Este Trabalho tem a proposta de verificar as condições de segurança de pilares, por métodos distintos, tendo como base de dados ensaios de tensão e valores simulados para geometria das escavações em questão. Para isto são aplicados métodos numérico e empírico. O comportamento dos pilares é obtido no decorrer deste trabalho para auxiliar no entendimento das formas de variação do fator de segurança e seus resultados por métodos diferentes, para ser realizado são utilizados o *software Phase2* e planilhas contendo equações. A mecânica das rochas está relacionada a como o maciço reage a um campo de forças que atua sobre ele. A ideia principal seria obter resultados similares utilizando os diferentes métodos e através disto desenvolver uma análise crítica.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

As dimensões dos pilares, são calculadas de maneira a obedecer, com uma adequada margem de segurança, a sua principal função geomecânica na estrutura da mina: a de ser um suporte para a coluna de rocha sobrejacente. Para tanto, há que se estabelecer previamente o seguinte:

(i) uma maneira de se calcular a carga total ou a tensão média (= carga / área) atuante no pilar;

(ii) expressões que forneçam a resistência do pilar em função de suas dimensões, forma e características geomecânicas do material de que é constituído e, finalmente,

(iii) um valor de Fator de Segurança que relaciona resistência e tensão média - o qual vem a ser um critério de projeto que se considere adequado para garantir que os pilares não sejam levados à situação de colapso e comprometam a estrutura global da mina (Figueiredo & Curi 2002).

No que diz respeito ao item (i) supracitado, utiliza-se na prática de mineração, principalmente, a clássica teoria da área tributária. No que tange a (ii) são empregadas basicamente fórmulas empíricas de resistência, e para (iii) adotam-se alguns valores consagrados pela prática, obtidos através de retro análises de casos históricos (Figueiredo & Curi 2002).

### **2.1. Método de câmaras e pilares**

O método de câmaras e pilares (método de suporte natural), consiste na extração de câmaras, deixando pilares de minério ou rocha entre as câmaras, como mostrado em foto na figura 2.1 e em planta na Figura 2.2, onde os blocos são os pilares e os espaços entre eles as câmaras. Em rochas duras, os pilares são menores horizontalmente do que as câmaras, em rochas macias eles são geralmente muito maiores horizontalmente. A proliferação do uso deste método sugere que este é de

baixo custo, versátil e seguro (Bullock 2011). Na Figura 2.3 também é ilustrado o método CeP.



Figura 2.1: Foto de mina que utiliza o método Câmaras e Pilares

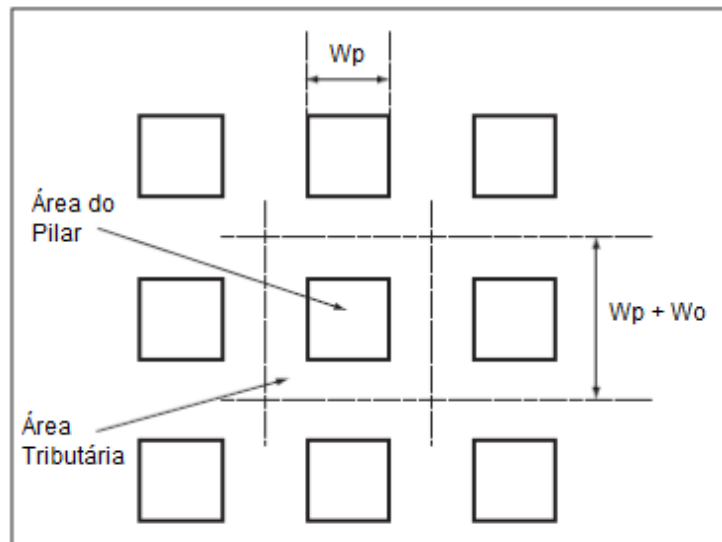


Figura 2.2: Planta de uma mina CeP ideal. Adaptada de: Zipf 2011.

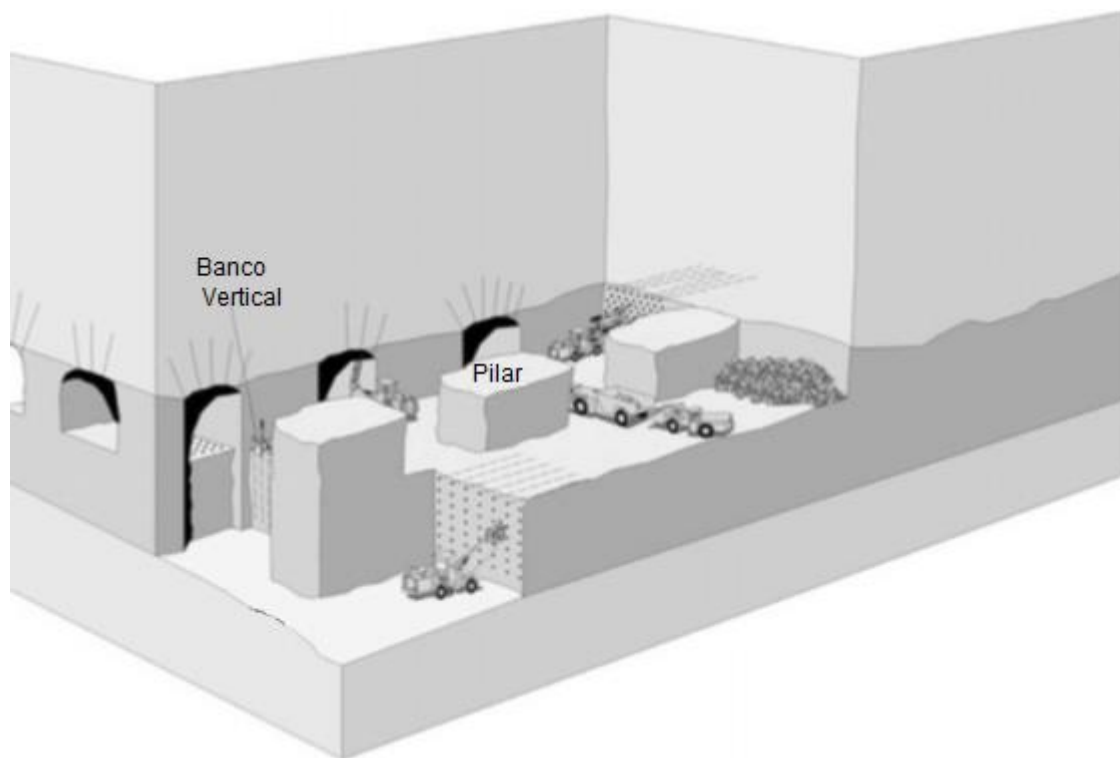


Figura 2.3: Elementos de um método de suporte de mineração (Câmaras e pilares)  
Adaptada de Brady & Brown 2004.

O método baseado no apoio do pilar é desenvolvido para restringir deslocamentos de rocha. Seguindo as noções de engenharia mecânica, a prevenção de deslocamentos é acompanhado por um aumento no estado de tensão em torno das unidades de apoio preservadas (pilares remanescentes na jazida) e no campo perto da jazida. Ao restringir os deslocamentos em massa de rocha, tanto no campo próximo e de campo distante, às ordens de grandeza elásticas, o método de suporte tem a intenção de manter o comportamento pseudo-contínuo médio da rocha hospedeira após a retirada do minério (Brady & Brown 2004).

O método CeP é aplicado em rochas duras, por exemplo: calcário, dolomita, metais (zinco, ouro, chumbo, cobre) e em rochas friáveis como: carvão, potássio, sal (Harraz 2014; 2015).

Normalmente utilizada em corpos planos, variações do método pode acomodar um mergulho da jazida de até 30°. É ideal que o corpo de minério seja grande

lateralmente, mas muitas minas têm horizontes de minério não uniformes (Brady & Brown 2004; Bullock 2011).

O tamanho do pilar não é fixo, mas sim determinado pela soma de: (1) tensão na coluna devido ao peso da camada de cobertura por cima da abertura; (2) tensão adicional na coluna devido à remoção do minério inicialmente apoiado a sua volta; e (3) forças relacionadas ao estresse tectônico que ainda pode permanecer na rocha. O minério no pilar deve ser forte o suficiente para compensar essas tensões coletivas (Bullock 2011).

Minas de CeP pode abranger apenas cem metros quadrados e conter apenas alguns pilares, como é típico para pequenos depósitos de zinco. Ou eles podem cobrir muitos quilômetros quadrados, como é típico para minas de carvão, trona e calcário (Bullock 2011).

Se o volume do preenchimento extraído for elevado, o risco é que o colapso pode propagar através da estrutura do pilar. Em uma jazida que é grande em duas dimensões, esta possibilidade pode ser impedida através da divisão do depósito em distritos, ou painéis, separados por uma barreira de pilares. Uma vista em planta esquemática de tal disposição é mostrado na Figura 2.4. As colunas de barreira são desenvolvidas para ser praticamente indestrutíveis, de modo que cada painel funciona como um domínio isolado de mineração. A extensão máxima de qualquer colapso é então restrito ao painel de mineração. Obviamente, os princípios aplicados no projeto dos pilares do painel serão diferentes daqueles para o projeto do pilar de barreira, devido às suas diferentes funções (Brady & Brown 2004).

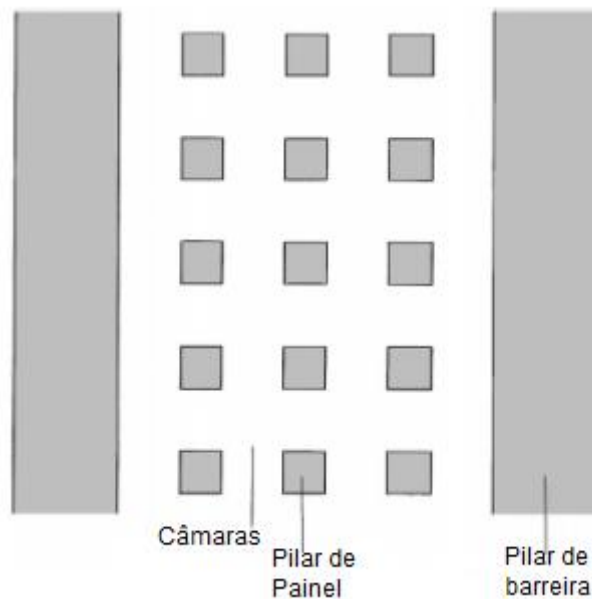


Figura 2.4: Disposição dos pilares de barreira e colunas do painel em uma jazida lateralmente extensa. Adaptada de: Brady & Brown 2004.

Em layouts em desenvolvimento, o engenheiro de minas deve desenvolver dimensões apropriadas para vãos de câmaras, larguras dos pilares do painel, tamanhos do painel, e larguras dos pilares de barreira. O desenvolvimento destas dimensões requer uma avaliação não só de força do pilar, mas também as consequências da ruptura do pilar, o que pode acontecer em qualquer lugar no layout a qualquer momento (Bullock 2011).

## 2.2. Fator de segurança

Um projeto de pilar requer estimativas de tensão e resistência do pilar, pois o fator de segurança é calculado dividindo-se a resistência do pilar pela tensão no pilar. Para um fator de segurança aceitável depende do risco tolerável de falha. Fatores de segurança de 2 são típicas principalmente para pilares em desenvolvimento. Fatores de segurança de 1,1 a 1,3 são típicos de pilares de painel após retirada de minério. Fatores de segurança muito menores do que 1,0 são possíveis para painéis onde a falha do pilar é a eventual intenção (Bullock 2011).

### 2.3. Tensão no Pilar

Atividade de extração em uma jazida causam uma redistribuição da tensão e um aumento na carga do pilar, ilustrado na Figura 2.5, que representa o estado de tensão antes da extração do minério e o estado depois (Brady & Brown 2004).

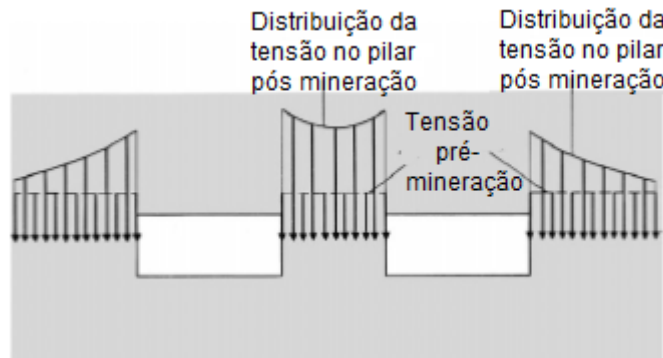


Figura 2.5: A redistribuição da tensão no sentido axial de um pilar acompanhando o desenvolvimento da mina. Adaptada de: Brady & Brown 2004.

De acordo com os métodos tradicionais de design CeP, tensão vertical in situ (Farmer 1992) é:

$$\sigma_z = \lambda z \quad (1)$$

Onde:

$\lambda$  = unidade de peso de rocha

$z$  = profundidade de horizonte de mineração

O método da área tributária, fornece uma estimativa de primeira ordem da tensão média do pilar. Para o sistema quadrado CeP mostrado na Figura 1, a tensão média pilar (Bullock 2011) é:

$$\sigma_{pa} = \sigma_z \left( \frac{W_p + W_o}{W_p} \right)^2 \quad (2)$$

Onde:



Wp = largura do pilar

Wo = largura da abertura

Para pilares retangulares ou de formato irregular, em que R é a razão de extração, a tensão média do pilar (Bullock 2011) é:

$$\sigma_{pa} = \sigma_z \left( \frac{1}{1-R} \right) \quad (3)$$

$$R = \frac{A_M}{A_T} = \frac{A_T - A_P}{A_T} \quad (4)$$

Onde

A<sub>M</sub> = área extraída (ou seja, a área total da câmara)

A<sub>T</sub> = área total do corpo de minério

A<sub>P</sub> = área do pilar

O método da área tributária assume que a área extraída é extensa e que todos os pilares têm as mesmas dimensões. Também ignora as propriedades de deformação do maciço rochoso em torno em relação à rocha do pilar. No entanto, a tensão no pilar é geralmente mais elevada no centro do que na extremidade de um painel (Bullock 2011). Coates (1981) resolveu parcialmente este problema através do desenvolvimento da seguinte relação de tensão média no pilar, que representa a largura, e o número de pilares através de um painel e as propriedades mecânicas relativas do pilar e rock em massa:

$$\sigma_{pa} = \sigma_z \left\{ \frac{\left[ 2R - K_0 \frac{H(1-2\nu_{rm})}{L(1-\nu_{rm})} - \frac{\nu_p}{(1-\nu_p)} K_0 \frac{HE_{rm}}{L E_p} \right]}{\frac{HE_{rm}}{L E_p} + 2(1-R) \left( 1 + \frac{1}{N} \right) + 2 \frac{RB(1-2\nu_{rm})}{L(1-\nu_p)}} \right\} \quad (5)$$

Onde:

K<sub>0</sub> = relação de tensão horizontal por vertical

H = altura da mineração

L = extensão lateral da área minerada

E,  $\nu$  = constantes elásticas

$m_r$  = massa de rocha

$\rho$  = massa do pilar

B = largura da abertura individual

N = número de pilares através do painel

Tal como acontece com o método da área tributária, a solução oferecida pela Equação 5 só dá tensão média do pilar para todos os pilares do painel e não dá mudanças na tensão pilar de todo o painel. Programas com método de elementos de fronteira são necessários para calcular mudanças na tensão do pilar através de um painel ou dentro de um pilar (Bullock 2011).

#### **2.4. Resistência do Pilar**

A resposta estrutural de um pilar para carga induzida pela mineração é determinada pelas propriedades do material da rocha, a estrutura geológica, as dimensões absolutas e relativas do pilar e a natureza das restrições superficiais aplicados para o pilar pelo campo de rochas (Brady & Brown 2004).

Muitas abordagens de resistência do pilar desenvolvidas em mecânica das rochas apresentam forma empírica e aborda duas questões: (1) o efeito do tamanho, em que a força da rocha diminui conforme o tamanho da amostra aumenta; e (2) o efeito da forma, em que a força da rocha diminui à medida que a relação largura-altura diminui. Considerando energia, Farmer (1985) desenvolveu expressões teóricas relacionando resistência e tamanho (Bullock 2011). Com base na conservação de energia temos a equação 6:

$$SED * V = FE * A \quad (6)$$

Onde

SED = densidade tensão de energia

V = volume

FE = energia de fratura da superfície (material constante)

A= área superficial fracturada

Rearranjando a constante:

$$SED * \frac{V}{A} = SED * L = FE = constante \quad (7)$$

Onde L é a dimensão característica ou comprimento da peça de rocha. Assumindo que a ruptura em escala de laboratório é mecanicamente semelhante a ruptura do pilar em larga escala (Bullock 2011), então:

$$SED_S * L_S = SED_P * L_P \quad (8)$$

Onde:

S = Índice que denota espécime em escala de laboratório

P = Índice que denota pilar em larga escala

Desde a tensão de energia a falha é proporcional ao quadrado da tensão na ruptura,

$$\sigma^2_S * L_S = \sigma^2_P * L_P \quad (9)$$

ou

$$\frac{\sigma_P}{\sigma_S} = \left(\frac{L_S}{L_P}\right)^{1/2} = \left(\frac{V_S}{V_P}\right)^{1/6} = \left(\frac{V_S}{V_P}\right)^{0.17} \quad (10)$$

Onde:

$\sigma_P$  = resistência do pilar em larga escala

$\sigma_S$  = resistência da amostra de laboratório

V = volume, que é proporcional à L<sup>3</sup>

Esta relação teórica representa o efeito do tamanho em pontos de rocha observados. A seguinte fórmula empírica de resistência, proposta por Hardy & Agapito (1977) para pilares de xisto betuminoso, segue esta forma teórica geral e fornece uma confirmação experimental. Ele também inclui um termo adicional para a forma do pilar (Bullock 2011).

$$\frac{\sigma_P}{\sigma_S} = \left(\frac{V_S}{V_P}\right)^{0.118} \left[\frac{W_P H_S}{H_P W_S}\right]^{0.833} \quad (11)$$

Onde:

W<sub>P</sub> = largura do pilar

H<sub>P</sub> = altura do pilar

H<sub>S</sub> = altura do espécime

W<sub>S</sub> = largura do espécime

fórmulas empíricas clássicas de resistência de pilar geralmente seguem uma de duas formas gerais (Bullock 2011):

$$\sigma_P = \sigma_S \left( a + b \frac{W}{H} \right) \quad (12)$$

$$\sigma_P = K \frac{W^\alpha}{H^\beta} \quad (13)$$

Onde:

σ<sub>s</sub> = resistência de um pilar cúbico (W/H=1) igual ou superior ao tamanho crítico

K = característica constante da rocha pilar

a, b, α, β = constantes que representam o factor de forma

Tabela 2.1: Os valores para constantes em fórmulas empíricas de resistência do pilar.

Fonte	a*	b*	$\alpha$	B	
<b>Bunting (1911)</b>	0.7	0.3	-	-	
<b>Obert &amp; Durvall (1967)</b>	0.78	0.22	-	-	
<b>Bieniawski (1968)</b>	0.64	0.36	-	-	
<b>Skelly <i>et al.</i> (1977)</b>	0.78	0.22	-	-	
<b>Greenwald <i>et al.</i> (1939)</b>	-	-	0.5	0.83	†
<b>Holland (1964)</b>	-	-	0.5	1	†
<b>Salomon &amp; Munro (1967)</b>	-	-	0.46	0.66	‡
<b>Hardy &amp; Agapito (1977)</b>	-	-	0.60	0.95	†

Adaptada de Zipf 2001

\* A e b adimensionais.

† Use apenas com unidades inglesas.

‡ Use apenas com as unidades métricas.

Fórmulas por Obert e Duvall (1967) e Bieniawski (1968) seguem a primeira Equação (12); fórmulas de Salomon & Munro (1967) e Holland (1964) seguem a segunda (13). Nestas equações, o efeito tamanho é contabilizado diretamente pela unidade de resistência do pilar  $\sigma_s$  ou a constante da rocha K. As constantes a, b,  $\alpha$ ,  $\beta$  que representam o fator de forma, como mostrado na Tabela 2.1 (Bullock 2011).

Existem vários métodos para estimar  $\sigma_s$  e K nas Equações 12 e 13 respectivamente. Uma é a de considerar a força de um pilar cúbica ( $W/H=1$ ) igual ou superior ao tamanho crítico, em que o tamanho crítico é o tamanho acima do qual a força da massa rocha permanece relativamente constante (Bullock 2011).

Se os dados de resistência em escala de laboratório ( $\sigma_s$ ) está disponível, a resistência em grande escala de um cubo de massa de rocha ( $\sigma_{s'}$ ), a partir da Equação 10 (Bullock 2011) é:

$$\sigma_{s'} = \sigma_s \left( \frac{V_S}{V_{S'}} \right)^{0.17} \quad (14)$$

Esta unidade de resistência para um cubo em larga escala de massa de rocha pode ser ajustada para o efeito de forma usando a relação Obert-Duvall (1967):

$$\sigma_P = \sigma_{s'} \left( 0.78 + 0.22 \frac{W}{H} \right) \quad (15)$$

Finalmente, o critério de falha de Hoek-Brown (1980) também pode fornecer uma estimativa da resistência para um cubo em larga escala do maciço rochoso. Para a maioria dos maciços rochosos com qualidade boa a razoável,

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_c \left( m_b \frac{\sigma_3'}{\sigma_c} + s \right)^a \quad (16)$$

Onde:

$m_b, s, a$  = constantes que dependem da qualidade da massa de rocha

$\sigma$  = resistência à compressão uniaxial dos pedaços de rocha intactas (equivalente a  $\sigma_s$ )

$\sigma_1'$  = tensão axial principal

$\sigma_3'$  = tensão confinante principal

As constantes  $m_b$  e  $s$  são estimados utilizando um índice de classificação de massa de rocha chamado GSI, ou Índice de Força Geológica, que é equivalente ao sistema de Bieniawski classificação maciço rochoso (RMR), admitindo uma massa de rocha seca.

## **2.5. Phase 2**

Phase2 é um software da Rocsciense utilizado para cálculo de tensões em maciços rochosos de acordo com suas condições, como presença de escavações, água, fratura dentre outras.

Phase2 é um programa de elementos finitos bidimensional da Rocscience para o cálculo de tensões e deslocamentos em torno de aberturas subterrâneas, e pode ser usada para resolver uma ampla gama de mineração, problemas de engenharia geotécnica e civil e de design e inclui suporte a estabilidade de taludes, a infiltração de águas subterrâneas e análise probabilística (Rocscience).

Modelos complexos ou de multi-estágio podem ser facilmente criados e rapidamente analisados - túneis em rocha fraca ou articulada, cavernas subterrâneas, minas a céu aberto e encostas, aterros, estruturas de terra estabilizadas, e muito mais. Falha progressiva, interação de apoio e uma variedade de outros problemas podem ser abordados. Uma das características principais de Phase2 é análise de elementos finitos e de estabilidade de taludes usando o método de redução de força de cisalhamento. Esta opção é totalmente automatizada e pode ser usada com qualquer parâmetro de força Mohr-Coulomb ou de Hoek-Brown (Rocscience).

## **3. METODOLOGIA**

A partir de dados reais modificados (por motivo de sigilo da empresa) de ensaios uniaxiais e triaxiais da rocha obtidos nas tabelas 3.1 e 3.2 respectivamente, e utilizando a variação de valores fictícios para altura e largura de pilares e câmaras e profundidade das escavações, mantendo o comprimento do pilar como 1 para considerar modelagem em apenas duas dimensões, tornando o comprimento desprezível, sendo assim um pilar de barreira. Foi possível realizar os cálculos pelas equações e fornecer ao programa Phase2 dados para obtenção de resultados. Por fim comparados os valores obtidos em cálculo com os valores interpretados no *software*.

Tabela 3.1: Resultados de ensaio Uniaxial.

<i>Litotipo</i>	<i>Altura</i>	<i>Diâmetro</i>	<i>Resistência</i>	<i>Módulo de Elasticidade</i>
	<i>(mm)</i>	<i>(mm)</i>	<i>(MPa)</i>	<i>(GPa)</i>
<b>01</b>	149,00	55,10	86,46	46,64
	147,00	55,25	84,47	45,62
	156,25	55,40	126,13	64,14
	158,40	55,30	105,95	62,70
	124,05	55,35	47,39	56,92
	159,05	55,35	72,04	42,91
	160,70	55,50	49,12	54,93
	156,85	55,50	66,42	46,48
	157,10	55,45	33,26	33,08
	156,60	55,45	78,68	48,79
	151,40	55,40	70,28	44,18
	151,15	55,40	68,02	49,88

Tabela 3.2: Resultado de ensaio Triaxial.

<i>Litotipo</i>	<i>Altura</i>	<i>Diâmetro</i>	<i>Resistência</i>	<i>Tensão Confinante</i>
	<i>(mm)</i>	<i>(mm)</i>	$\sigma_1$ <i>(MPa)</i>	$\sigma_3$ <i>(MPa)</i>
<b>01</b>	141,60	55,30	96,74	4,00
	139,20	55,50	143,17	10,00
	138,80	55,50	188,09	15,00
	139,35	55,40	142,01	20,00
	137,95	55,50	162,11	30,00
	137,95	55,40	141,18	25,00
	136,30	55,50	169,65	30,00



### **3.1 Metodologia para cálculo**

Foram utilizadas a equação (3) para cálculo de tensão no pilar e para cálculo da resistência do pilar as equações (12) e (13) utilizando as constantes apresentadas por dois grupos de autores diferentes, sendo o primeiro representado pelos autores Bunting (1911), Obert & Durvall (1967), Bieniawsky (1968) e o segundo representado pelos autores Salomon & Munro (1967) que utilizam unidade métrica em suas equações. O fator de segurança foi obtido dividindo a resistência do pilar pela tensão no pilar. O valor de  $\sigma_s$  e K que representam uma característica constante da rocha do pilar foi utilizado 74,02Mpa, obtido a partir da média dos valores de resistência da tabela 3.1 com dados do ensaio uniaxial, média foi obtida apenas para ter um número que representasse nas equações, na prática deve-se analisar os valores extremos obtidos no ensaio. A profundidade da escavação foi variada em 100, 200 e 400 m, a largura da escavação em 4, 5 e 10 m, a largura do pilar em 2, 4 e 8 m e a altura da escavação em 4, 5 e 10 m, gerando uma combinação de resultados em 81 testes. A obtenção das tensões e resistências do pilar detalhada são exibidas na tabela do Anexo 1.

### **3.2 Metodologia para programa**

Foram obtidos no software RocData, também da Rocscience, o módulo de elasticidade (6562,26Mpa), ângulo de fricção (19,73°) e coesão (3,576Mpa), a partir dos dados de ensaios uniaxial e triaxial das tabelas 3.1 e 3.2 respectivamente como mostrado na figura 3.1. Foram criados os projetos das escavações no software AutoCAD (figura 3.2) para profundidade da escavação variando em 100, 200 e 400 m, a largura da escavação em 4, 5 e 10 m, a largura do pilar em 2, 4 e 8 m e a altura da escavação em 4, 5 e 10 m. Os projetos do AutoCAD e os dados obtidos no Rocdata foram levados para o software Phase2 (figura 3.3) junto a outras configurações para geração dos resultados de tensão atuante e fator de segurança pela análise do programa. Análises do programa como exemplo da figura 3.4 detalhadas na tabela Anexo 2. Foi escolhido o fator de segurança obtido no meio de cada pilar, visto que é onde o pilar sofre maior tensão, para comparação com os resultados das equações.

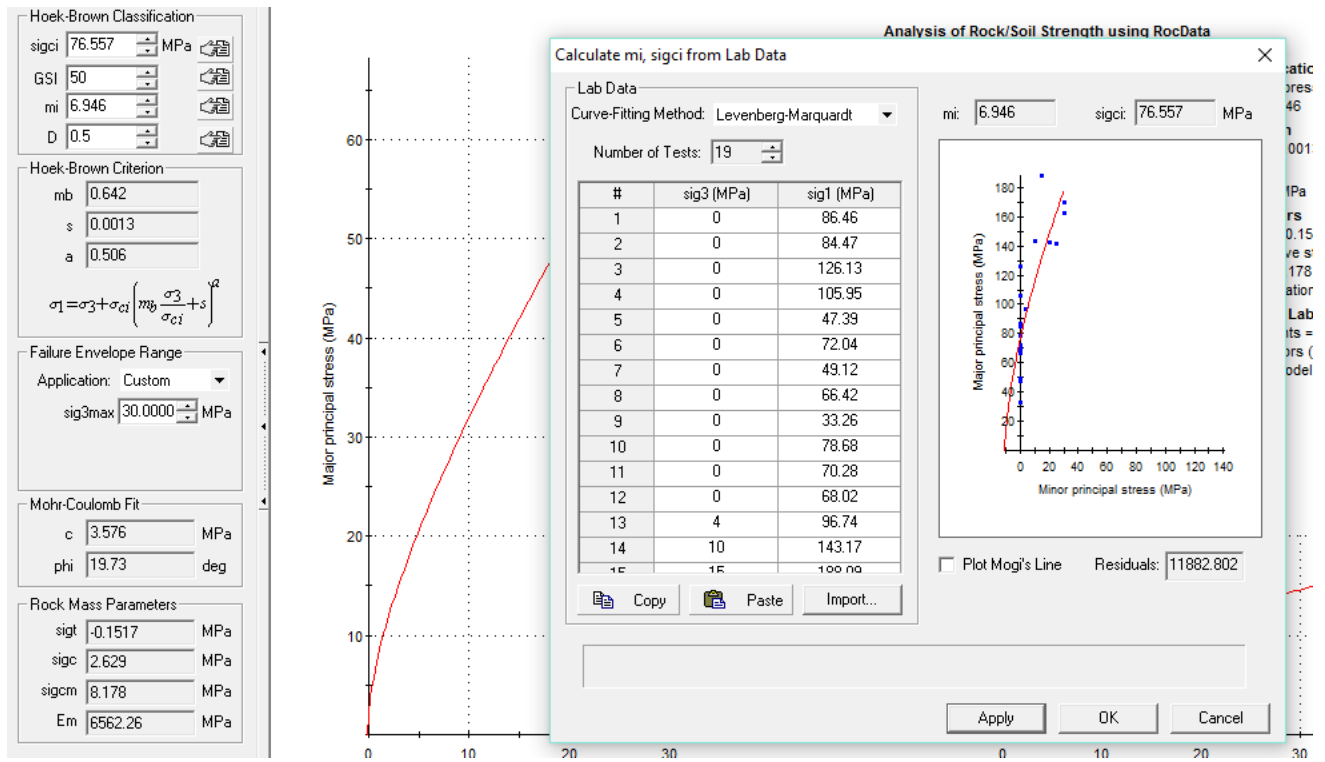


Figura 3.1: Obtenção dos dados no software Rocdata.

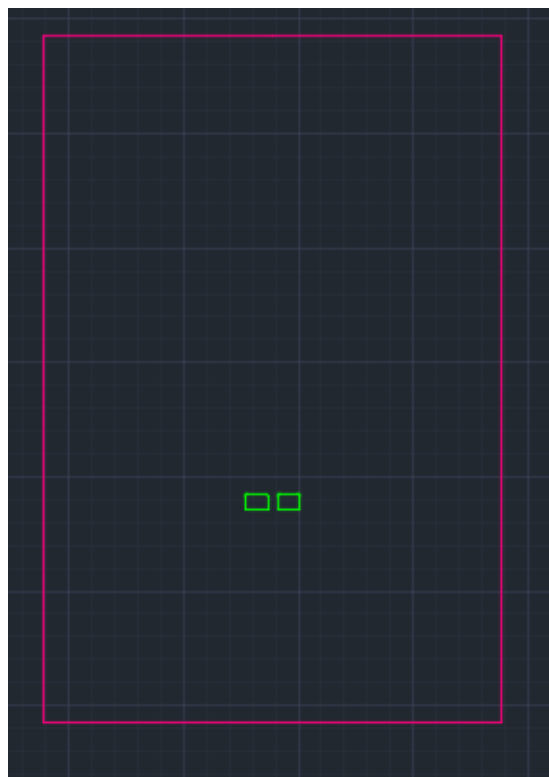


Figura 3.2: Projeto AutoCad com limite externo (rosa) e Escavações (verde).

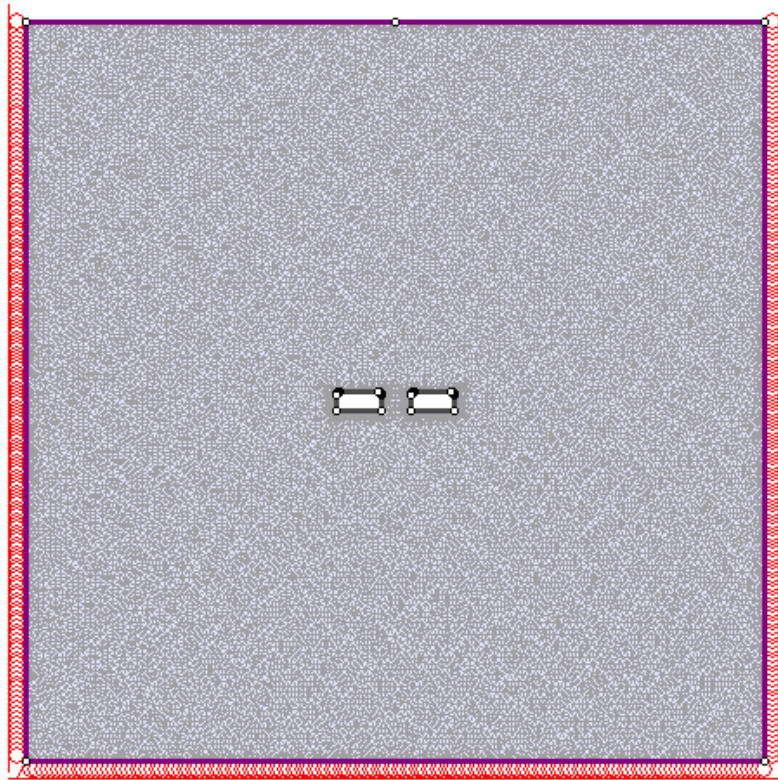


Figura 3.3: Projeto exportado no Phase2.

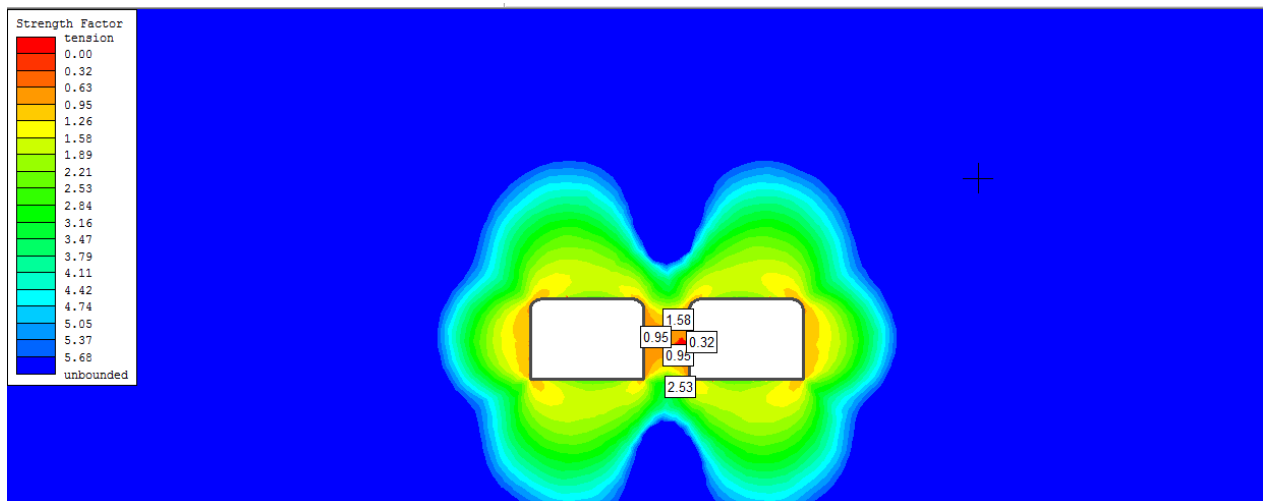


Figura 3.4: Resultado da análise do fator de segurança o Phase2.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos para fator de segurança estão representados nas tabelas 4.1, 4.2 e 4.3 que contém os valores médios calculados a partir da equação 12 para resistência do pilar, o resultado pela equação 13 e os valores gerados pelo programa. Em geral, os dados fornecidos pelo programa apresentaram valores menores aos calculados pela equação 13, que ainda apresentaram valores menores aos calculados pela equação 12. Os métodos utilizados para cálculo apresentaram grande variação de um para outro no que se trata de Fator de Segurança. Podendo-se observar pelo gráfico obtido na figura 4.1.

A tabela destaca em vermelho os fatores de segurança menores do que 1, os quais representam as condições geométricas extremas em que o maciço romperá, além disso deve-se considerar que para minas subterrâneas é preciso trabalhar com fatores de segurança maiores com visto no tópico 2.2 deste trabalho.

O software requer mais informações que as equações para apresentar os resultados, como módulo de elasticidade, ângulo de fricção e coesão que são obtidos considerando ensaios uniaxial e triaxial, logo pode ser considerado que tem uma maior confiabilidade.

A segurança nos pilares é maior a medida que é aumentada a sua largura, e/ou é reduzida largura das câmaras, e/ou é reduzida a altura das câmaras e pilares, e/ou é reduzida a profundidade da escavação como pode ser comprovado pelos testes de 1 a 81, nos quais as três comparações feitas apresentam esta mesma tendência.

Considerando os valores do software como mais confiáveis, os melhores resultados apresentados para as equações foram os que tiveram fator de segurança próximo de 1, pois apresentam menor variação em relação ao resultado do *software*.

A melhor condição de escavação apresentada nos testes foi a do teste 55, com largura do pilar de 8m, altura do pilar de 4m, largura da câmara de 4m e profundidade de escavação de 100m, atendendo ao esperado.

Tabela 4.1: Comparação de resultados das equações e pelo Phase2 (teste 1 ao 27).

Teste	Geometria escavação				Fator de Segurança				
	Largura do pilar (m)	Largura da câmara (m)	Altura do Pilar (m)	Profundidade (m)	Equação 12	Equação 13	Phase2		
1	2	4	4	100	4,68	3,02	1,58		
2				200	2,34	1,51	1,26		
3				400	1,17	0,76	0,63		
4			5	5	100	4,52	2,61	2,21	
5					200	2,26	1,30	0,95	
6					400	1,13	0,65	0,00	
7			10	10	100	4,20	1,65	1,89	
8					200	2,10	0,83	1,26	
9					400	1,05	0,41	0,63	
10			5	4	100	3,90	2,52	1,58	
11					200	1,95	1,26	0,95	
12					400	0,97	0,63	0,63	
13				5	5	100	3,76	2,17	1,89
14						200	1,88	1,09	1,26
15						400	0,94	0,54	0,00
16				10	10	100	3,50	1,38	1,58
17						200	1,75	0,69	0,95
18						400	0,87	0,34	0,00
19		10	4	100	2,13	1,37	0,95		
20				200	1,06	0,69	0,63		
21				400	0,53	0,34	0,63		
22			5	5	100	2,05	1,19	0,00	
23					200	1,03	0,59	0,95	
24					400	0,51	0,30	-0,32	
25			10	10	100	1,91	0,75	1,26	
26					200	0,95	0,38	0,63	
27					400	0,48	0,19	0,63	

Tabela 4.2: Comparação de resultados das equações e pelo Phase2 (teste 28 ao 54).

Teste	Geometria escavação				Fator de Segurança			
	Largura do pilar (m)	Largura da câmara (m)	Altura do Pilar (m)	Profundidade (m)	Equação 12	Equação 13	Phase2	
28	4	4	4	100	9,14	6,93	2,21	
29				200	4,57	3,46	1,26	
30				400	2,28	1,73	0,95	
31			5	5	100	8,60	5,98	1,89
32					200	4,30	2,99	1,26
33					400	2,15	1,49	0,63
34			10	10	100	7,53	3,78	2,21
35					200	3,76	1,89	0,00
36					400	1,88	0,95	0,00
37			5	4	100	7,83	5,94	2,21
38					200	3,92	2,97	1,26
39					400	1,96	1,48	0,95
40		5		5	100	7,37	5,12	1,89
41					200	3,69	2,56	1,26
42					400	1,84	1,28	0,63
43		10		10	100	6,45	3,24	2,53
44					200	3,23	1,62	0,00
45					400	1,61	0,81	0,00
46		10	4	100	4,57	3,46	1,58	
47				200	2,28	1,73	0,95	
48				400	1,14	0,87	0,63	
49			5	5	100	4,30	2,99	1,58
50					200	2,15	1,49	0,95
51					400	1,08	0,75	0,63
52			10	10	100	3,76	1,89	1,89
53					200	1,88	0,95	0,95
54					400	0,94	0,47	0,00

Tabela 4.3: Comparação de resultados das equações e pelo Phase2 (teste 55 ao 81).

Teste	Geometria escavação				Fator de Segurança			
	Largura do pilar (m)	Largura da câmara (m)	Altura do Pilar (m)	Profundidade (m)	Equação 12	Equação 13	Phase2	
55	8	4	4	100	17,73	14,29	4,74	
56				200	8,86	7,14	2,84	
57				400	4,43	3,57	1,89	
58			5	100	16,12	12,33	3,47	
59				200	8,06	6,17	2,21	
60				400	4,03	3,08	1,58	
61			10	100	12,90	7,81	2,21	
62				200	6,45	3,90	1,26	
63				400	3,23	1,95	0,95	
64			5	4	100	15,76	12,70	4,42
65					200	7,88	6,35	2,84
66					400	3,94	3,18	1,89
67		5		100	14,33	10,96	3,47	
68				200	7,16	5,48	2,21	
69				400	3,58	2,74	1,58	
70		10		100	11,47	6,94	2,21	
71				200	5,73	3,47	1,26	
72				400	2,87	1,73	0,95	
73		10		4	100	10,13	8,17	4,11
74					200	5,07	4,08	2,53
75					400	2,53	2,04	1,89
76			5	100	9,21	7,05	2,84	
77				200	4,61	3,52	1,89	
78				400	2,30	1,76	1,26	
79	10		100	7,37	4,46	1,89		
80			200	3,69	2,23	1,26		
81			400	1,84	1,12	0,63		

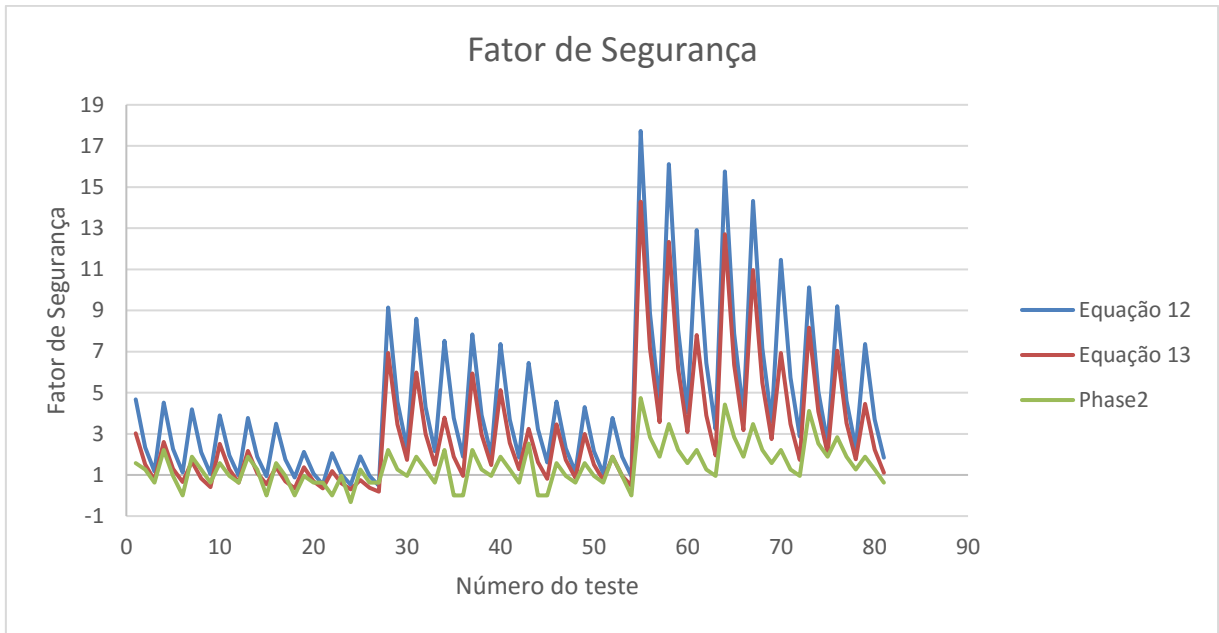


Figura 4.1: Gráfico dos resultados obtidos nos 81 testes para fator de segurança.



## 5. CONCLUSÃO

Com base nos objetivos esperados para este trabalho, conclui-se que o software apresentou resultados menores aos calculados, mas apresentando as mesmas tendências para variação geométrica das escavações, tendo resultado mais próximo ao grupo de autores representados pela equação 13.

O *software* por considerar maior número de condições no maciço apresenta seus resultados mais confiáveis que os obtidos no modelo empírico que não considera todas as propriedades do maciço. Estes resultados apresentam menor fator de segurança, logo preferível realizar uma análise pelo *software* ao realizar um projeto, para garantir maior segurança, ou associar os resultados obtidos pelas equações a outras que considerem mais propriedades.

Além disso pode-se concluir que os fatores de segurança comparados apresentam maiores valores relacionados a geometria quanto maior à largura do pilar, menor a profundidade da escavação, menor a largura da câmara e menor a altura do pilar/câmara.

Os dados obtidos foram realizados considerando um pilar de barreira, que tem comprimento desprezível, logo analisado em apenas duas dimensões o que torna os dados não tão confiáveis em termos de projeto. Quando se considera pilares de painel deve ser levada em conta as três dimensões.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bieniawski, Z. T. 1968. In: *Room-and-Pillar Mining in Hard Rock*. In: Darling, P. & Society For Mining, M. A. E. *Sme Mining Engineering Handbook*, Third Edition: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration. p.1337.
- Brady, B. H. G.; Brown, E. T. 2004. *Rock Mechanics for underground mining*. Kluwer Academic Publishers. p. 626.
- Bullock, R. L. 2011. *Room-and-Pillar Mining in Hard Rock*. In: Darling, P. & Society For Mining, M. A. E. *Sme Mining Engineering Handbook*, Third Edition: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration. p.1327-1338.
- Bunting, D. 1911. Room-and-Pillar Mining in Hard Rock. In: Darling, P. & Society For Mining, M. A. E. *Sme Mining Engineering Handbook*, Third Edition: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration. p.1337.
- Farmer, I. 1992. Room and pillar mining. In: *SME Mining Engineering Handbook*. Edited by H.L. Hartman. Littleton, p. 1681–1686.
- Figueiredo, R. P & Curi, A. 2002. *Dimensionamento ótimo de painéis, câmaras e pilares com programação não-linear*. Departamento de Engenharia de Minas, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto. Minas Gerais. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/299508158\\_Dimensionamento\\_otimo\\_de\\_paineis\\_camaras\\_e\\_pilares\\_com\\_programacao\\_ao-linear](https://www.researchgate.net/publication/299508158_Dimensionamento_otimo_de_paineis_camaras_e_pilares_com_programacao_ao-linear)>. Acesso em: 01 junho 2016.
- Germany, D. J. 2002 *A mineração no Brasil*. Centro de Gestão de estudos Estratégicos, Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://www.finep.gov.br/images/a-finep/fontes-de-orcamento/fundos-setoriais/ct-mineral/a-mineracao-no-brasil.pdf>>. Acesso em: 22 Maio 2016.
- Greenwald, H. P., Howarth, H. C., and Hartman, I. 1939. Room-and-Pillar Mining in Hard Rock. In: Darling, P. & Society For Mining, M. A. E. *Sme Mining Engineering Handbook*, Third Edition: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration. p.1337.
- Hardy, M. P., and Agapito, J. F. T. 1977. In: *Room-and-Pillar Mining in Hard Rock*. In: Darling, P. & Society For Mining, M. A. E. *Sme Mining Engineering Handbook*, Third Edition: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration. p.1337.
- Harraz, H. Z. 2014. *Underground Mining Methods: Room and Pillar method*. Disponível em: <<http://pt.slideshare.net/hzharraz/room-and-pillar-mining-method>> Acesso em: 30 de mar. 2016.
- Hoek, E. & Brown, E. T. 1980. *Underground Excavations in Rock*. Institution of Mining and Metallurgy.

- Holland, C. T. 1964. Room-and-Pillar Mining in Hard Rock. *In: Darling, P. & Society For Mining, M. A. E. Sme Mining Engineering Handbook*, Third Edition: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration. p.1337.
- Hustrulid, W. A. 1982. *Underground Mining Methods Handbook*, pp. 90-93.
- Macedo, A. J. B. de; Bazante, A. J.; Bonates, E. J. L. 2001. *Seleção do método de lavra: arte e ciência*. Rem, Rev. Esc. Minas, Ouro Preto, v. 54, n. 3, p. 221-225. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0370-44672001000300010&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672001000300010&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 03 junho 2016.
- Obert, L. & Duvall, W.I. 1967. *Rock Mechanics and the Design of Structures in Rock*. New York: Wiley.
- Rocscience *Phase 2*. Toronto (Canada). Disponível em: <<https://www.rocscience.com/rocscience/products/rs2>>. Acesso em: 19 abr. 2016.
- Salamon, M. D. G. & Munro, A. H. 1967. Room-and-Pillar Mining in *Hard Rock*. *In: Darling, P. & Society For Mining, M. A. E. Sme Mining Engineering Handbook*, Third Edition: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration. p.1337.
- Skelly, W. A., Wolgamott, J., Wang, F. D. 1977. Room-and-Pillar Mining in Hard Rock. *In: Darling, P. & Society For Mining, M. A. E. Sme Mining Engineering Handbook*, Third Edition: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration. p.1337.
- Zipf, R. K. 2001. Pillar design to prevent collapse of room and pillar mines. *In Edited by W. A. Hustrulid & R. L. Bullock. Underground Mining Methods: Engineering Fundamentals and International Case Studies*. Littleton. p. 493–496.

## 7. ANEXOS

### Anexo 1 – Resultados obtidos pelas equações.

Teste	Método	Largura do pilar (m)	Largura da câmara (m)	Altura do Pilar (m)	Profundidade (m)	R	$\sigma_s$ - tensão no pilar (Mpa)	a	b	$\alpha$	$\beta$	K (Mpa)	$\sigma_p$ - resistência do pilar (Mpa)	Fator de Segurança
1	Bunting (1911)	2	4	4	100	0,80	13,50	0,7	0,3	-	-	74	62,92	4,66
	Obert and Durvall (1967)							0,78	0,22	-	-		65,88	4,88
	Bieniawski (1968)							0,64	0,36	-	-		60,70	4,50
	Salomon and Munro (1967)							-	-	0,46	0,66		40,78	3,02
2	Bunting (1911)	2	4	4	200	0,80	27,00	0,7	0,3	-	-	74	62,92	2,33
	Obert and Durvall (1967)							0,78	0,22	-	-		65,88	2,44
	Bieniawski (1968)							0,64	0,36	-	-		60,70	2,25
	Salomon and Munro (1967)							-	-	0,46	0,66		40,78	1,51
3	Bunting (1911)	2	4	4	400	0,80	54,00	0,7	0,3	-	-	74	62,92	1,17
	Obert and Durvall (1967)							0,78	0,22	-	-		65,88	1,22
	Bieniawski (1968)							0,64	0,36	-	-		60,70	1,12
	Salomon and Munro (1967)							-	-	0,46	0,66		40,78	0,76
4	Bunting (1911)	2	4	5	100	0,80	13,50	0,7	0,3	-	-	74	60,70	4,50
	Obert and Durvall (1967)							0,78	0,22	-	-		64,25	4,76
	Bieniawski (1968)							0,64	0,36	-	-		58,03	4,30
	Salomon and Munro (1967)							-	-	0,46	0,66		35,20	2,61
5	Bunting (1911)	2	4	5	200	0,80	27,00	0,7	0,3	-	-	74	60,70	2,25
	Obert and Durvall (1967)							0,78	0,22	-	-		64,25	2,38
	Bieniawski (1968)							0,64	0,36	-	-		58,03	2,15
	Salomon and Munro (1967)							-	-	0,46	0,66		35,20	1,30
6	Bunting (1911)	2	4	5	400	0,80	54,00	0,7	0,3	-	-	74	60,70	1,12
	Obert and Durvall (1967)							0,78	0,22	-	-		64,25	1,19
	Bieniawski (1968)							0,64	0,36	-	-		58,03	1,07
	Salomon and Munro (1967)							-	-	0,46	0,66		35,20	0,65
7	Bunting (1911)	2	4	10	100	0,80	13,50	0,7	0,3	-	-	74	56,26	4,17
	Obert and Durvall (1967)							0,78	0,22	-	-		60,99	4,52
	Bieniawski (1968)							0,64	0,36	-	-		52,70	3,90
	Salomon and Munro (1967)							-	-	0,46	0,66		22,28	1,65
8	Bunting (1911)	2	4	10	200	0,80	27,00	0,7	0,3	-	-	74	56,26	2,08
	Obert and Durvall (1967)							0,78	0,22	-	-		60,99	2,26
	Bieniawski (1968)							0,64	0,36	-	-		52,70	1,95
	Salomon and Munro (1967)							-	-	0,46	0,66		22,28	0,83
9	Bunting (1911)	2	4	10	400	0,80	54,00	0,7	0,3	-	-	74	56,26	1,04
	Obert and Durvall (1967)							0,78	0,22	-	-		60,99	1,13
	Bieniawski (1968)							0,64	0,36	-	-		52,70	0,98
	Salomon and Munro (1967)							-	-	0,46	0,66		22,28	0,41
10	Bunting (1911)	2	5	4	100	0,83	16,20	0,7	0,3	-	-	74	62,92	3,88
	Obert and Durvall (1967)							0,78	0,22	-	-		65,88	4,07
	Bieniawski (1968)							0,64	0,36	-	-		60,70	3,75
	Salomon and Munro (1967)							-	-	0,46	0,66		40,78	2,52
11	Bunting (1911)	2	5	4	200	0,83	32,40	0,7	0,3	-	-	74	62,92	1,94
	Obert and Durvall (1967)							0,78	0,22	-	-		65,88	2,03
	Bieniawski (1968)							0,64	0,36	-	-		60,70	1,87
	Salomon and Munro (1967)							-	-	0,46	0,66		40,78	1,26

Teste	Método	Largura do pilar (m)	Largura da câmara (m)	Altura do Pilar (m)	Profundidade (m)	R	$\sigma_s$ - tensão no pilar (Mpa)	a	b	$\alpha$	$\beta$	K (Mpa)	$\sigma_{op}$ - resistência do pilar (Mpa)	Fator de Segurança
12	Bunting (1911)	2	5	4	400	0,83	64,80	0,7	0,3	-	-	74	62,92	0,97
	0,78							0,22	-	-	65,88		1,02	
	0,64							0,36	-	-	60,70		0,94	
	-							-	0,46	0,66	40,78		0,63	
13	Bunting (1911)	2	5	5	100	0,83	16,20	0,7	0,3	-	-	74	60,70	3,75
	0,78							0,22	-	-	64,25		3,97	
	0,64							0,36	-	-	58,03		3,58	
	-							-	0,46	0,66	35,20		2,17	
14	Bunting (1911)	2	5	5	200	0,83	32,40	0,7	0,3	-	-	74	60,70	1,87
	0,78							0,22	-	-	64,25		1,98	
	0,64							0,36	-	-	58,03		1,79	
	-							-	0,46	0,66	35,20		1,09	
15	Bunting (1911)	2	5	5	400	0,83	64,80	0,7	0,3	-	-	74	60,70	0,94
	0,78							0,22	-	-	64,25		0,99	
	0,64							0,36	-	-	58,03		0,90	
	-							-	0,46	0,66	35,20		0,54	
16	Bunting (1911)	2	5	10	100	0,83	16,20	0,7	0,3	-	-	74	56,26	3,47
	0,78							0,22	-	-	60,99		3,76	
	0,64							0,36	-	-	52,70		3,25	
	-							-	0,46	0,66	22,28		1,38	
17	Bunting (1911)	2	5	10	200	0,83	32,40	0,7	0,3	-	-	74	56,26	1,74
	0,78							0,22	-	-	60,99		1,88	
	0,64							0,36	-	-	52,70		1,63	
	-							-	0,46	0,66	22,28		0,69	
18	Bunting (1911)	2	5	10	400	0,83	64,80	0,7	0,3	-	-	74	56,26	0,87
	0,78							0,22	-	-	60,99		0,94	
	0,64							0,36	-	-	52,70		0,81	
	-							-	0,46	0,66	22,28		0,34	
19	Bunting (1911)	2	10	4	100	0,91	29,70	0,7	0,3	-	-	74	62,92	2,12
	0,78							0,22	-	-	65,88		2,22	
	0,64							0,36	-	-	60,70		2,04	
	-							-	0,46	0,66	40,78		1,37	
20	Bunting (1911)	2	10	4	200	0,91	59,40	0,7	0,3	-	-	74	62,92	1,06
	0,78							0,22	-	-	65,88		1,11	
	0,64							0,36	-	-	60,70		1,02	
	-							-	0,46	0,66	40,78		0,69	
21	Bunting (1911)	2	10	4	400	0,91	118,80	0,7	0,3	-	-	74	62,92	0,53
	0,78							0,22	-	-	65,88		0,55	
	0,64							0,36	-	-	60,70		0,51	
	-							-	0,46	0,66	40,78		0,34	
22	Bunting (1911)	2	10	5	100	0,91	29,70	0,7	0,3	-	-	74	60,70	2,04
	0,78							0,22	-	-	64,25		2,16	
	0,64							0,36	-	-	58,03		1,95	
	-							-	0,46	0,66	35,20		1,19	

Teste	Método	Largura do pilar (m)	Largura da câmara (m)	Altura do Pilar (m)	Profundidade (m)	R	os - tensão no pilar (Mpa)	a	b	$\alpha$	$\beta$	K (Mpa)	op - resistência do pilar (Mpa)	Fator de Segurança
23	Bunting (1911)	2	10	5	200	0,91	59,40	0,7	0,3	-	-	74	60,70	1,02
	Obert and Durvall (1967)							0,78	0,22	-	-		64,25	1,08
	Bieniawski (1968)							0,64	0,36	-	-		58,03	0,98
	Salomon and Munro (1967)							-	-	0,46	0,66		35,20	0,59
24	Bunting (1911)	2	10	5	400	0,91	118,80	0,7	0,3	-	-	74	60,70	0,51
	Obert and Durvall (1967)							0,78	0,22	-	-		64,25	0,54
	Bieniawski (1968)							0,64	0,36	-	-		58,03	0,49
	Salomon and Munro (1967)							-	-	0,46	0,66		35,20	0,30
25	Bunting (1911)	2	10	10	100	0,91	29,70	0,7	0,3	-	-	74	56,26	1,89
	Obert and Durvall (1967)							0,78	0,22	-	-		60,99	2,05
	Bieniawski (1968)							0,64	0,36	-	-		52,70	1,77
	Salomon and Munro (1967)							-	-	0,46	0,66		22,28	0,75
26	Bunting (1911)	2	10	10	200	0,91	59,40	0,7	0,3	-	-	74	56,26	0,95
	Obert and Durvall (1967)							0,78	0,22	-	-		60,99	1,03
	Bieniawski (1968)							0,64	0,36	-	-		52,70	0,89
	Salomon and Munro (1967)							-	-	0,46	0,66		22,28	0,38
27	Bunting (1911)	2	10	10	400	0,91	118,80	0,7	0,3	-	-	74	56,26	0,47
	Obert and Durvall (1967)							0,78	0,22	-	-		60,99	0,51
	Bieniawski (1968)							0,64	0,36	-	-		52,70	0,44
	Salomon and Munro (1967)							-	-	0,46	0,66		22,28	0,19
28	Bunting (1911)	4	4	4	100	0,67	8,10	0,7	0,3	-	-	74	74,02	9,14
	Obert and Durvall (1967)							0,78	0,22	-	-		74,02	9,14
	Bieniawski (1968)							0,64	0,36	-	-		74,02	9,14
	Salomon and Munro (1967)							-	-	0,46	0,66		56,10	6,93
29	Bunting (1911)	4	4	4	200	0,67	16,20	0,7	0,3	-	-	74	74,02	4,57
	Obert and Durvall (1967)							0,78	0,22	-	-		74,02	4,57
	Bieniawski (1968)							0,64	0,36	-	-		74,02	4,57
	Salomon and Munro (1967)							-	-	0,46	0,66		56,10	3,46
30	Bunting (1911)	4	4	4	400	0,67	32,40	0,7	0,3	-	-	74	74,02	2,28
	Obert and Durvall (1967)							0,78	0,22	-	-		74,02	2,28
	Bieniawski (1968)							0,64	0,36	-	-		74,02	2,28
	Salomon and Munro (1967)							-	-	0,46	0,66		56,10	1,73
31	Bunting (1911)	4	4	5	100	0,67	8,10	0,7	0,3	-	-	74	69,58	8,59
	Obert and Durvall (1967)							0,78	0,22	-	-		70,76	8,74
	Bieniawski (1968)							0,64	0,36	-	-		68,69	8,48
	Salomon and Munro (1967)							-	-	0,46	0,66		48,41	5,98
32	Bunting (1911)	4	4	5	200	0,67	16,20	0,7	0,3	-	-	74	69,58	4,29
	Obert and Durvall (1967)							0,78	0,22	-	-		70,76	4,37
	Bieniawski (1968)							0,64	0,36	-	-		68,69	4,24
	Salomon and Munro (1967)							-	-	0,46	0,66		48,41	2,99
33	Bunting (1911)	4	4	5	400	0,67	32,40	0,7	0,3	-	-	74	69,58	2,15
	Obert and Durvall (1967)							0,78	0,22	-	-		70,76	2,18
	Bieniawski (1968)							0,64	0,36	-	-		68,69	2,12
	Salomon and Munro (1967)							-	-	0,46	0,66		48,41	1,49

Teste	Método	Largura do pilar (m)	Largura da câmara (m)	Altura do Pilar (m)	Profundidade (m)	R	os - tensão no pilar (Mpa)	a	b	$\alpha$	$\beta$	K (Mpa)	op - resistência do pilar (Mpa)	Fator de Segurança
34	Bunting (1911)	4	4	10	100	0,67	8,10	0,7	0,3	-	-	74	60,70	7,49
	0,78							0,22	-	-	64,25		7,93	
	0,64							0,36	-	-	58,03		7,16	
	-							-	0,46	0,66	30,64		3,78	
35	Bunting (1911)	4	4	10	200	0,67	16,20	0,7	0,3	-	-	74	60,70	3,75
	0,78							0,22	-	-	64,25		3,97	
	0,64							0,36	-	-	58,03		3,58	
	-							-	0,46	0,66	30,64		1,89	
36	Bunting (1911)	4	4	10	400	0,67	32,40	0,7	0,3	-	-	74	60,70	1,87
	0,78							0,22	-	-	64,25		1,98	
	0,64							0,36	-	-	58,03		1,79	
	-							-	0,46	0,66	30,64		0,95	
37	Bunting (1911)	4	5	4	100	0,71	9,45	0,7	0,3	-	-	74	74,02	7,83
	0,78							0,22	-	-	74,02		7,83	
	0,64							0,36	-	-	74,02		7,83	
	-							-	0,46	0,66	56,10		5,94	
38	Bunting (1911)	4	5	4	200	0,71	18,90	0,7	0,3	-	-	74	74,02	3,92
	0,78							0,22	-	-	74,02		3,92	
	0,64							0,36	-	-	74,02		3,92	
	-							-	0,46	0,66	56,10		2,97	
39	Bunting (1911)	4	5	4	400	0,71	37,80	0,7	0,3	-	-	74	74,02	1,96
	0,78							0,22	-	-	74,02		1,96	
	0,64							0,36	-	-	74,02		1,96	
	-							-	0,46	0,66	56,10		1,48	
40	Bunting (1911)	4	5	5	100	0,71	9,45	0,7	0,3	-	-	74	69,58	7,36
	0,78							0,22	-	-	70,76		7,49	
	0,64							0,36	-	-	68,69		7,27	
	-							-	0,46	0,66	48,41		5,12	
41	Bunting (1911)	4	5	5	200	0,71	18,90	0,7	0,3	-	-	74	69,58	3,68
	0,78							0,22	-	-	70,76		3,74	
	0,64							0,36	-	-	68,69		3,63	
	-							-	0,46	0,66	48,41		2,56	
42	Bunting (1911)	4	5	5	400	0,71	37,80	0,7	0,3	-	-	74	69,58	1,84
	0,78							0,22	-	-	70,76		1,87	
	0,64							0,36	-	-	68,69		1,82	
	-							-	0,46	0,66	48,41		1,28	
43	Bunting (1911)	4	5	10	100	0,71	9,45	0,7	0,3	-	-	74	60,70	6,42
	0,78							0,22	-	-	64,25		6,80	
	0,64							0,36	-	-	58,03		6,14	
	-							-	0,46	0,66	30,64		3,24	
44	Bunting (1911)	4	5	10	200	0,71	18,90	0,7	0,3	-	-	74	60,70	3,21
	0,78							0,22	-	-	64,25		3,40	
	0,64							0,36	-	-	58,03		3,07	
	-							-	0,46	0,66	30,64		1,62	

Teste	Método	Largura do pilar (m)	Largura da câmara (m)	Altura do Pilar (m)	Profundidade (m)	R	os - tensão no pilar (Mpa)	a	b	$\alpha$	$\beta$	K (Mpa)	op - resistência do pilar (Mpa)	Fator de Segurança
45	Bunting (1911)	4	5	10	400	0,71	37,80	0,7	0,3	-	-	74	60,70	1,61
	Obert and Durvall (1967)							0,78	0,22	-	-		64,25	1,70
	Bieniawski (1968)							0,64	0,36	-	-		58,03	1,54
	Salomon and Munro (1967)							-	-	0,46	0,66		30,64	0,81
46	Bunting (1911)	4	10	4	100	0,83	16,20	0,7	0,3	-	-	74	74,02	4,57
	Obert and Durvall (1967)							0,78	0,22	-	-		74,02	4,57
	Bieniawski (1968)							0,64	0,36	-	-		74,02	4,57
	Salomon and Munro (1967)							-	-	0,46	0,66		56,10	3,46
47	Bunting (1911)	4	10	4	200	0,83	32,40	0,7	0,3	-	-	74	74,02	2,28
	Obert and Durvall (1967)							0,78	0,22	-	-		74,02	2,28
	Bieniawski (1968)							0,64	0,36	-	-		74,02	2,28
	Salomon and Munro (1967)							-	-	0,46	0,66		56,10	1,73
48	Bunting (1911)	4	10	4	400	0,83	64,80	0,7	0,3	-	-	74	74,02	1,14
	Obert and Durvall (1967)							0,78	0,22	-	-		74,02	1,14
	Bieniawski (1968)							0,64	0,36	-	-		74,02	1,14
	Salomon and Munro (1967)							-	-	0,46	0,66		56,10	0,87
49	Bunting (1911)	4	10	5	100	0,83	16,20	0,7	0,3	-	-	74	69,58	4,29
	Obert and Durvall (1967)							0,78	0,22	-	-		70,76	4,37
	Bieniawski (1968)							0,64	0,36	-	-		68,69	4,24
	Salomon and Munro (1967)							-	-	0,46	0,66		48,41	2,99
50	Bunting (1911)	4	10	5	200	0,83	32,40	0,7	0,3	-	-	74	69,58	2,15
	Obert and Durvall (1967)							0,78	0,22	-	-		70,76	2,18
	Bieniawski (1968)							0,64	0,36	-	-		68,69	2,12
	Salomon and Munro (1967)							-	-	0,46	0,66		48,41	1,49
51	Bunting (1911)	4	10	5	400	0,83	64,80	0,7	0,3	-	-	74	69,58	1,07
	Obert and Durvall (1967)							0,78	0,22	-	-		70,76	1,09
	Bieniawski (1968)							0,64	0,36	-	-		68,69	1,06
	Salomon and Munro (1967)							-	-	0,46	0,66		48,41	0,75
52	Bunting (1911)	4	10	10	100	0,83	16,20	0,7	0,3	-	-	74	60,70	3,75
	Obert and Durvall (1967)							0,78	0,22	-	-		64,25	3,97
	Bieniawski (1968)							0,64	0,36	-	-		58,03	3,58
	Salomon and Munro (1967)							-	-	0,46	0,66		30,64	1,89
53	Bunting (1911)	4	10	10	200	0,83	32,40	0,7	0,3	-	-	74	60,70	1,87
	Obert and Durvall (1967)							0,78	0,22	-	-		64,25	1,98
	Bieniawski (1968)							0,64	0,36	-	-		58,03	1,79
	Salomon and Munro (1967)							-	-	0,46	0,66		30,64	0,95
54	Bunting (1911)	4	10	10	400	0,83	64,80	0,7	0,3	-	-	74	60,70	0,94
	Obert and Durvall (1967)							0,78	0,22	-	-		64,25	0,99
	Bieniawski (1968)							0,64	0,36	-	-		58,03	0,90
	Salomon and Munro (1967)							-	-	0,46	0,66		30,64	0,47
55	Bunting (1911)	8	4	4	100	0,50	5,40	0,7	0,3	-	-	74	96,23	17,82
	Obert and Durvall (1967)							0,78	0,22	-	-		90,30	16,72
	Bieniawski (1968)							0,64	0,36	-	-		100,67	18,64
	Salomon and Munro (1967)							-	-	0,46	0,66		77,16	14,29



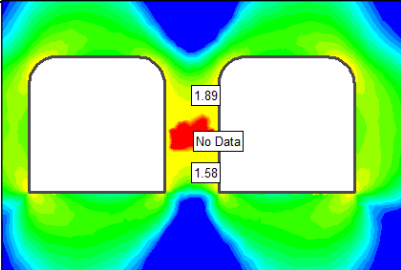
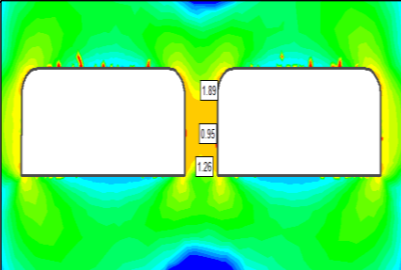
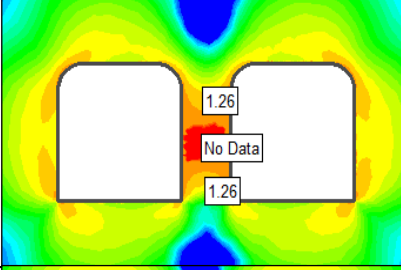
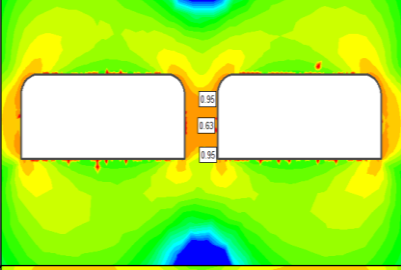
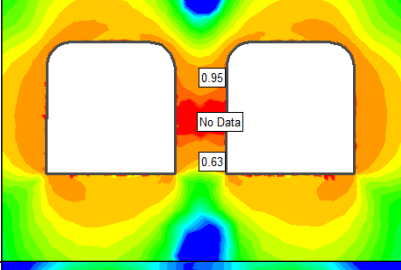
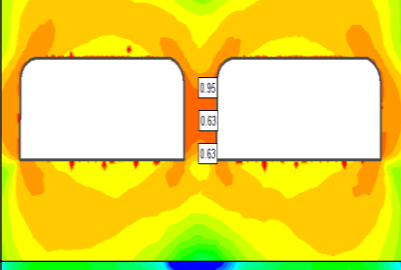
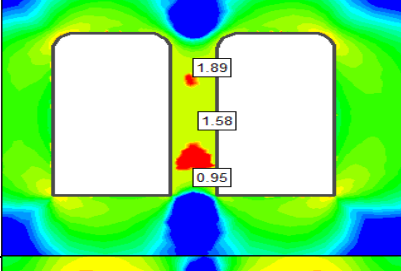
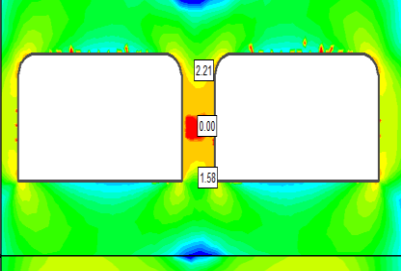
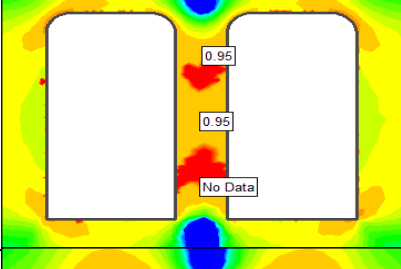
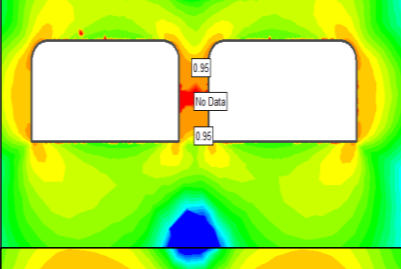
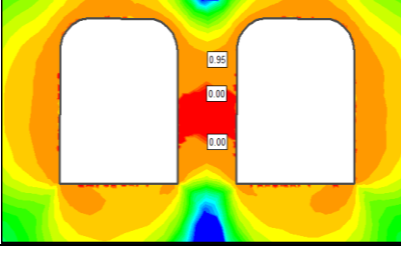
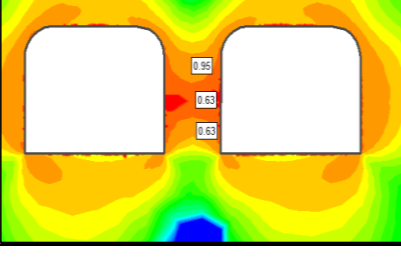
Teste	Método	Largura do pilar (m)	Largura da câmara (m)	Altura do Pilar (m)	Profundidade (m)	R	os - tensão no pilar (Mpa)	a	b	$\alpha$	$\beta$	K (Mpa)	op - resistência do pilar (Mpa)	Fator de Segurança
56	Bunting (1911)	8	4	4	200	0,50	10,80	0,7	0,3	-	-	74	96,23	8,91
	0,78							0,22	-	-	90,30		8,36	
	0,64							0,36	-	-	100,67		9,32	
	-							-	0,46	0,66	77,16		7,14	
57	Bunting (1911)	8	4	4	400	0,50	21,60	0,7	0,3	-	-	74	96,23	4,45
	0,78							0,22	-	-	90,30		4,18	
	0,64							0,36	-	-	100,67		4,66	
	-							-	0,46	0,66	77,16		3,57	
58	Bunting (1911)	8	4	5	100	0,50	5,40	0,7	0,3	-	-	74	87,34	16,17
	0,78							0,22	-	-	83,79		15,52	
	0,64							0,36	-	-	90,01		16,67	
	-							-	0,46	0,66	66,60		12,33	
59	Bunting (1911)	8	4	5	200	0,50	10,80	0,7	0,3	-	-	74	87,34	8,09
	0,78							0,22	-	-	83,79		7,76	
	0,64							0,36	-	-	90,01		8,33	
	-							-	0,46	0,66	66,60		6,17	
60	Bunting (1911)	8	4	5	400	0,50	21,60	0,7	0,3	-	-	74	87,34	4,04
	0,78							0,22	-	-	83,79		3,88	
	0,64							0,36	-	-	90,01		4,17	
	-							-	0,46	0,66	66,60		3,08	
61	Bunting (1911)	8	4	10	100	0,50	5,40	0,7	0,3	-	-	74	69,58	12,88
	0,78							0,22	-	-	70,76		13,10	
	0,64							0,36	-	-	68,69		12,72	
	-							-	0,46	0,66	42,15		7,81	
62	Bunting (1911)	8	4	10	200	0,50	10,80	0,7	0,3	-	-	74	69,58	6,44
	0,78							0,22	-	-	70,76		6,55	
	0,64							0,36	-	-	68,69		6,36	
	-							-	0,46	0,66	42,15		3,90	
63	Bunting (1911)	8	4	10	400	0,50	21,60	0,7	0,3	-	-	74	69,58	3,22
	0,78							0,22	-	-	70,76		3,28	
	0,64							0,36	-	-	68,69		3,18	
	-							-	0,46	0,66	42,15		1,95	
64	Bunting (1911)	8	5	4	100	0,56	6,08	0,7	0,3	-	-	74	96,23	15,84
	0,78							0,22	-	-	90,30		14,86	
	0,64							0,36	-	-	100,67		16,57	
	-							-	0,46	0,66	77,16		12,70	
65	Bunting (1911)	8	5	4	200	0,56	12,15	0,7	0,3	-	-	74	96,23	7,92
	0,78							0,22	-	-	90,30		7,43	
	0,64							0,36	-	-	100,67		8,29	
	-							-	0,46	0,66	77,16		6,35	
66	Bunting (1911)	8	5	4	400	0,56	24,30	0,7	0,3	-	-	74	96,23	3,96
	0,78							0,22	-	-	90,30		3,72	
	0,64							0,36	-	-	100,67		4,14	
	-							-	0,46	0,66	77,16		3,18	

Teste	Método	Largura do pilar (m)	Largura da câmara (m)	Altura do Pilar (m)	Profundidade (m)	R	os - tensão no pilar (Mpa)	a	b	$\alpha$	$\beta$	K (Mpa)	op - resistência do pilar (Mpa)	Fator de Segurança
67	Bunting (1911)	8	5	5	100	0,56	6,08	0,7	0,3	-	-	74	87,34	14,38
	Obert and Durvall (1967)							0,78	0,22	-	-		83,79	13,79
	Bieniawski (1968)							0,64	0,36	-	-		90,01	14,82
	Salomon and Munro (1967)							-	-	0,46	0,66		66,60	10,96
68	Bunting (1911)	8	5	5	200	0,56	12,15	0,7	0,3	-	-	74	87,34	7,19
	Obert and Durvall (1967)							0,78	0,22	-	-		83,79	6,90
	Bieniawski (1968)							0,64	0,36	-	-		90,01	7,41
	Salomon and Munro (1967)							-	-	0,46	0,66		66,60	5,48
69	Bunting (1911)	8	5	5	400	0,56	24,30	0,7	0,3	-	-	74	87,34	3,59
	Obert and Durvall (1967)							0,78	0,22	-	-		83,79	3,45
	Bieniawski (1968)							0,64	0,36	-	-		90,01	3,70
	Salomon and Munro (1967)							-	-	0,46	0,66		66,60	2,74
70	Bunting (1911)	8	5	10	100	0,56	6,08	0,7	0,3	-	-	74	69,58	11,45
	Obert and Durvall (1967)							0,78	0,22	-	-		70,76	11,65
	Bieniawski (1968)							0,64	0,36	-	-		68,69	11,31
	Salomon and Munro (1967)							-	-	0,46	0,66		42,15	6,94
71	Bunting (1911)	8	5	10	200	0,56	12,15	0,7	0,3	-	-	74	69,58	5,73
	Obert and Durvall (1967)							0,78	0,22	-	-		70,76	5,82
	Bieniawski (1968)							0,64	0,36	-	-		68,69	5,65
	Salomon and Munro (1967)							-	-	0,46	0,66		42,15	3,47
72	Bunting (1911)	8	5	10	400	0,56	24,30	0,7	0,3	-	-	74	69,58	2,86
	Obert and Durvall (1967)							0,78	0,22	-	-		70,76	2,91
	Bieniawski (1968)							0,64	0,36	-	-		68,69	2,83
	Salomon and Munro (1967)							-	-	0,46	0,66		42,15	1,73
73	Bunting (1911)	8	10	4	100	0,71	9,45	0,7	0,3	-	-	74	96,23	10,18
	Obert and Durvall (1967)							0,78	0,22	-	-		90,30	9,56
	Bieniawski (1968)							0,64	0,36	-	-		100,67	10,65
	Salomon and Munro (1967)							-	-	0,46	0,66		77,16	8,17
74	Bunting (1911)	8	10	4	200	0,71	18,90	0,7	0,3	-	-	74	96,23	5,09
	Obert and Durvall (1967)							0,78	0,22	-	-		90,30	4,78
	Bieniawski (1968)							0,64	0,36	-	-		100,67	5,33
	Salomon and Munro (1967)							-	-	0,46	0,66		77,16	4,08
75	Bunting (1911)	8	10	4	400	0,71	37,80	0,7	0,3	-	-	74	96,23	2,55
	Obert and Durvall (1967)							0,78	0,22	-	-		90,30	2,39
	Bieniawski (1968)							0,64	0,36	-	-		100,67	2,66
	Salomon and Munro (1967)							-	-	0,46	0,66		77,16	2,04
76	Bunting (1911)	8	10	5	100	0,71	9,45	0,7	0,3	-	-	74	87,34	9,24
	Obert and Durvall (1967)							0,78	0,22	-	-		83,79	8,87
	Bieniawski (1968)							0,64	0,36	-	-		90,01	9,52
	Salomon and Munro (1967)							-	-	0,46	0,66		66,60	7,05
77	Bunting (1911)	8	10	5	200	0,71	18,90	0,7	0,3	-	-	74	87,34	4,62
	Obert and Durvall (1967)							0,78	0,22	-	-		83,79	4,43
	Bieniawski (1968)							0,64	0,36	-	-		90,01	4,76
	Salomon and Munro (1967)							-	-	0,46	0,66		66,60	3,52

Teste	Método	Largura do pilar (m)	Largura da câmara (m)	Altura do Pilar (m)	Profundidade (m)	R	os - tensão no pilar (Mpa)	a	b	$\alpha$	$\beta$	K (Mpa)	op - resistência do pilar (Mpa)	Fator de Segurança
78	Bunting (1911)	8	10	5	400	0,71	37,80	0,7	0,3	-	-	74	87,34	2,31
	Obert and Durvall (1967)							0,78	0,22	-	-		83,79	2,22
	Bieniawski (1968)							0,64	0,36	-	-		90,01	2,38
	Salomon and Munro (1967)							-	-	0,46	0,66		66,60	1,76
79	Bunting (1911)	8	10	10	100	0,71	9,45	0,7	0,3	-	-	74	69,58	7,36
	Obert and Durvall (1967)							0,78	0,22	-	-		70,76	7,49
	Bieniawski (1968)							0,64	0,36	-	-		68,69	7,27
	Salomon and Munro (1967)							-	-	0,46	0,66		42,15	4,46
80	Bunting (1911)	8	10	10	200	0,71	18,90	0,7	0,3	-	-	74	69,58	3,68
	Obert and Durvall (1967)							0,78	0,22	-	-		70,76	3,74
	Bieniawski (1968)							0,64	0,36	-	-		68,69	3,63
	Salomon and Munro (1967)							-	-	0,46	0,66		42,15	2,23
81	Bunting (1911)	8	10	10	400	0,71	37,80	0,7	0,3	-	-	74	69,58	1,84
	Obert and Durvall (1967)							0,78	0,22	-	-		70,76	1,87
	Bieniawski (1968)							0,64	0,36	-	-		68,69	1,82
	Salomon and Munro (1967)							-	-	0,46	0,66		42,15	1,12

## Anexo 2 – Resultados obtidos pelo software.

Teste	Largura do pilar (m)	Largura da câmara (m)	Altura do Pilar (m)	Profundidade (m)	Resultado no Phase2 para Fator de Segurança	Teste	Largura do pilar (m)	Largura da câmara (m)	Altura do Pilar (m)	Profundidade (m)	Resultado no Phase2 para Fator de Segurança
1	2	4	4	100		7	2	4	10	100	
2	2	4	4	200		8	2	4	10	200	
3	2	4	4	400		9	2	4	10	400	
4	2	4	5	100		10	2	5	4	100	
5	2	4	5	200		11	2	5	4	200	
6	2	4	5	400		12	2	5	4	400	

Teste					Resultado no Phase2 para Fator de Segurança	Teste					Resultado no Phase2 para Fator de Segurança
Largura do pilar (m)	Largura da câmara (m)	Altura do Pilar (m)	Profundidade (m)	Largura do pilar (m)		Largura da câmara (m)	Altura do Pilar (m)	Profundidade (m)			
13	2	5	5	100		19	2	10	4	100	
14	2	5	5	200		20	2	10	4	200	
15	2	5	5	400		21	2	10	4	400	
16	2	5	10	100		22	2	10	5	100	
17	2	5	10	200		23	2	10	5	200	
18	2	5	10	400		24	2	10	5	400	

Teste	Largura do pilar (m)	Largura da câmara (m)	Altura do Pilar (m)	Profundidade (m)	Resultado no Phase2 para Fator de Segurança	Teste	Largura do pilar (m)	Largura da câmara (m)	Altura do Pilar (m)	Profundidade (m)	Resultado no Phase2 para Fator de Segurança
25	2	10	10	100		31	4	4	5	100	
26	2	10	10	200		32	4	4	5	200	
27	2	10	10	400		33	4	4	5	400	
28	4	4	4	100		34	4	4	10	100	
29	4	4	4	200		35	4	4	10	200	
30	4	4	4	400		36	4	4	10	400	

Teste	Largura do pilar (m)	Largura da câmara (m)	Altura do Pilar (m)	Profundidade (m)	Resultado no Phase2 para Fator de Segurança	Teste	Largura do pilar (m)	Largura da câmara (m)	Altura do Pilar (m)	Profundidade (m)	Resultado no Phase2 para Fator de Segurança
37	4	5	4	100		43	4	5	10	100	
38	4	5	4	200		44	4	5	10	200	
39	4	5	4	400		45	4	5	10	400	
40	4	5	5	100		46	4	10	4	100	
41	4	5	5	200		47	4	10	4	200	
42	4	5	5	400		48	4	10	4	400	

Teste	Largura do pilar (m)	Largura da câmara (m)	Altura do Pilar (m)	Profundidade (m)	Resultado no Phase2 para Fator de Segurança	Teste	Largura do pilar (m)	Largura da câmara (m)	Altura do Pilar (m)	Profundidade (m)	Resultado no Phase2 para Fator de Segurança
49	4	10	5	100		55	8	4	4	100	
50	4	10	5	200		56	8	4	4	200	
51	4	10	5	400		57	8	4	4	400	
52	4	10	10	100		58	8	4	5	100	
53	4	10	10	200		59	8	4	5	200	
54	4	10	10	400		60	8	4	5	400	



Teste					Resultado no Phase2 para Fator de Segurança	Teste					Resultado no Phase2 para Fator de Segurança
Largura do pilar (m)	Largura da câmara (m)	Altura do Pilar (m)	Profundidade (m)	Largura do pilar (m)		Largura da câmara (m)	Altura do Pilar (m)	Profundidade (m)			
61	8	4	10	100		67	8	5	5	100	
62	8	4	10	200		68	8	5	5	200	
63	8	4	10	400		69	8	5	5	400	
64	8	5	4	100		70	8	5	10	100	
65	8	5	4	200		71	8	5	10	200	
66	8	5	4	400		72	8	5	10	400	

Teste	Largura do pilar (m)	Largura da câmara (m)	Altura do Pilar (m)	Profundidade (m)	Resultado no Phase2 para Fator de Segurança	Teste	Largura do pilar (m)	Largura da câmara (m)	Altura do Pilar (m)	Profundidade (m)	Resultado no Phase2 para Fator de Segurança
73	8	10	4	100		78	8	10	5	400	
74	8	10	4	200		79	8	10	10	100	
75	8	10	4	400		80	8	10	10	200	
76	8	10	5	100		81	8	10	10	400	
77	8	10	5	200							