

### 3 Modelo Geológico

Um dos componentes mais importantes para a caracterização do maciço rochoso é o modelo geológico. O objetivo do modelo geológico é compreender os eventos geodinâmicos que aconteceram no depósito, a partir dos dados obtidos de: sondagens, mapeamentos superficiais, características regionais, tipo de depósito para poder avaliar a distribuição e natureza dos solos e rochas e finalmente, caracterizar a geologia à escala da mina.

No modelo geológico é importante descrever propriamente o cenário físico do projeto, já que muitas minas estão localizadas em ambientes de climas severos e processos geomorfológicos relacionados que têm influência nas características da mina como a alteração e o intemperismo do depósito. Outro aspecto importante é reconhecer as principais características geomecânicas dos diferentes tipos de depósitos. Alguns dos tipos de depósitos de minério comumente encontrados são:

- Depósitos Porfíricos.
- Depósitos Epitermais.
- Depósitos de Skarn.
- Depósitos de Sulfetos Massivos Vulcanogênicos (VMS).

No caso da presente dissertação o tipo de depósito é porfírico com uma profundidade de aproximadamente 500m. Os depósitos epitermais se caracterizam por se formar a pequenas profundidades, tipicamente dentro de 1 km da superfície da terra em áreas vulcânicas. Eles são produto de atividades hidrotermais de baixa temperatura (50-300°C) geradas por intrusões subvulcânicas. Entre os atributos que mais influenciam a estabilidade de taludes são o alto grau de fraturamento e alteração, fazendo com que o modo de falha possa estar influenciado pelas estruturas.

Uma vez que as características regionais têm sido estabelecidas, cada tipo de rocha no site do projeto deve ser subdividido em unidades ou domínios baseados em uma combinação das seguintes características (Read & Stacey, 2009):

- Tipo de rocha (litologia);
- Estruturas maiores;
- Mineralização;
- Alteração, incluindo os eventos de pré- e pós-mineralização;
- Intemperismo;
- Propriedades geomecânicas.

Embora nunca se tenham registrado falhas em minas de grande escala devido à atividade sísmica, é recomendável tomar em conta os seus efeitos se a mina está localizada em uma região sísmicamente ativa, especialmente se há depósitos de solos moles.

### 3.1. Geologia Regional

O projeto está localizado na cordilheira Sul Oriental dos Andes no Peru (Ver Figura 3.1). A superfície do terreno varia aproximadamente entre os 4600 e 5100 msnm. A região está caracterizada por uma topografia irregular, com diferentes níveis de erosão. A configuração topográfica se deve provavelmente à diferença litológica, assim como aos processos geodinâmicos externos e internos como, por exemplo, a atividade glacial apresentada na zona que leva à formação de vales com forma típica de “U”.



Figura 3.1 – Localização do depósito de minério, observa-se os alinhamentos regionais com uma orientação predominante NO-SE (Google Earth).

O projeto se encontra dentro de cadeias vulcânicas na escala regional, e a zona é considerada de sistemas minerais de baixa sulfetação, outra característica do depósito é que a mineralização está albergada em veias, brechas e stockworks. Estas características são comuns nos depósitos epitermais. A geologia está constituída por seqüências sedimentares e vulcânicas, estas unidades estão cortadas por estruturas conformadas por sistemas de fraturas e falhas.

### **3.2. Geologia Local**

Desde o ponto de vista estratigráfico, o depósito está caracterizado principalmente por tufos, que têm sido depositados sobre uma seqüência de rochas sedimentares como xisto e arenito aparentemente não mineralizado. Todas as rochas estão cobertas de depósitos fluvioglaciais e coluviais.

Existem duas seqüências de tufos vulcânicos, uma antes da mineração (pré-minério) e outra depois do processo de mineração (pós-minério). Os tufos pós-minerais estão caracterizados por afloramentos rochosos com encostas íngremes. Os tufos pré-minerais têm declive suave que possuem solos residuais.

Segundo a interpretação geológica do depósito de minério, durante a deformação regional uma antiforma se desenvolveu e se curvaram os sedimentos mais plásticos. Os tufos vulcânicos foram mais frágeis, assim a sua deformação deu origem às falhas lítricas, que mergulham longe do eixo antiforma. Algumas áreas, imediatamente acima das falhas lítricas se tornaram brechadas. Estas áreas se tornaram hospedeiras para a mineralização posterior, quando os fluidos hidrotermais passaram pelas fraturas e falhas. Um esboço gráfico da interpretação geológica incluindo as falhas lítricas se apresenta na figura 3.2. A figura mostra como se formou o depósito ao longo do tempo numa seção transversal de direção SO-NE.

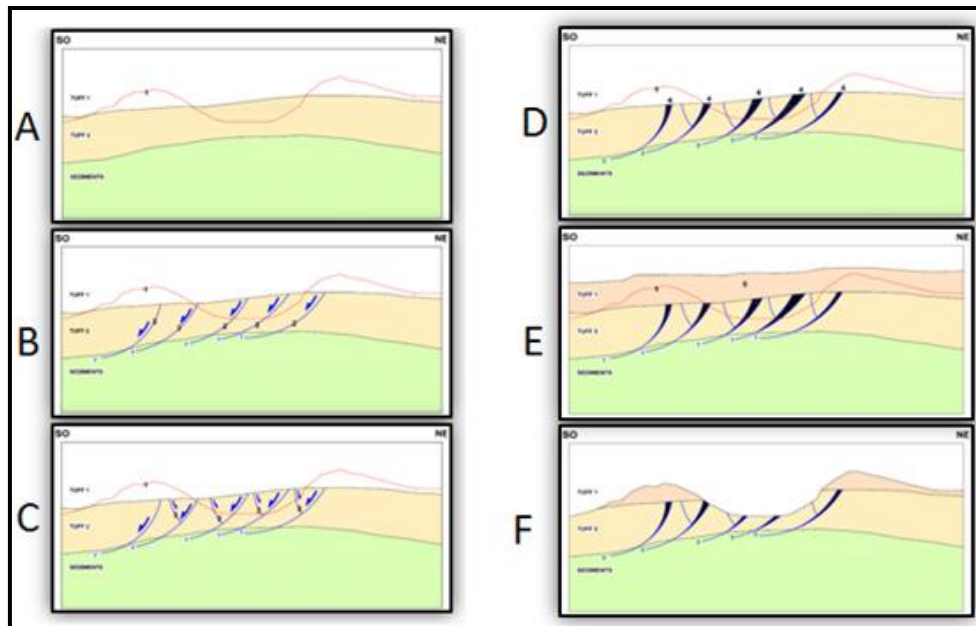


Figura 3.2 – (A) Depósitos de sedimentos e tufo (Tufo pré mineralizados). A linha vermelha é a topografia atual, (B) Formação das falhas lístricas principais no depósito de tufo, (C) Formação das falhas lístricas secundárias (opostas à orientação das falhas lístricas principais), (D) Brecha mineralizada nas falhas lístricas principais, (E) Seqüência de tufo após a mineralização (Tufo pós mineralizados), (F) Perfil geológico atual idealizado após os processos de erosão.

### 3.3.

#### Dados de entrada para a modelagem

Os dados de entrada para a modelagem geológica foram obtidos da informação da mina obtida nas etapas de exploração. Realizaram-se 502 sondagens e se obtiveram dados como: litologia, alteração, RQD, ensaios químicos, etc. Na presente dissertação se utilizaram os dados da litologia para a modelagem dos contatos litológicos, também se usou o RQD para a sua modelagem 3D para ter uma idéia do grau de fraturamento dentro do depósito.

A maior parte das sondagens está localizada dentro dos limites da mina e tem uma orientação SO-NE. Algumas sondagens não foram utilizadas na modelagem por estar localizadas fora dos limites da área de estudo.

No ano 2007 e 2008 se realizou um programa de investigação de campo, este programa consistiu no seguinte:

- Informação geomecânica detalhada registradas em nove sondagens inclinadas, o total do programa de perfuração foi de 2246 m.

- Mapeamento estrutural em 50 estações ao longo da área em estudo.
- Registro de algumas sondagens realizadas pela mina na etapa de exploração, para verificar a confiabilidade dos dados fornecidos.
- Coleção de amostras para realizar ensaios de laboratório.

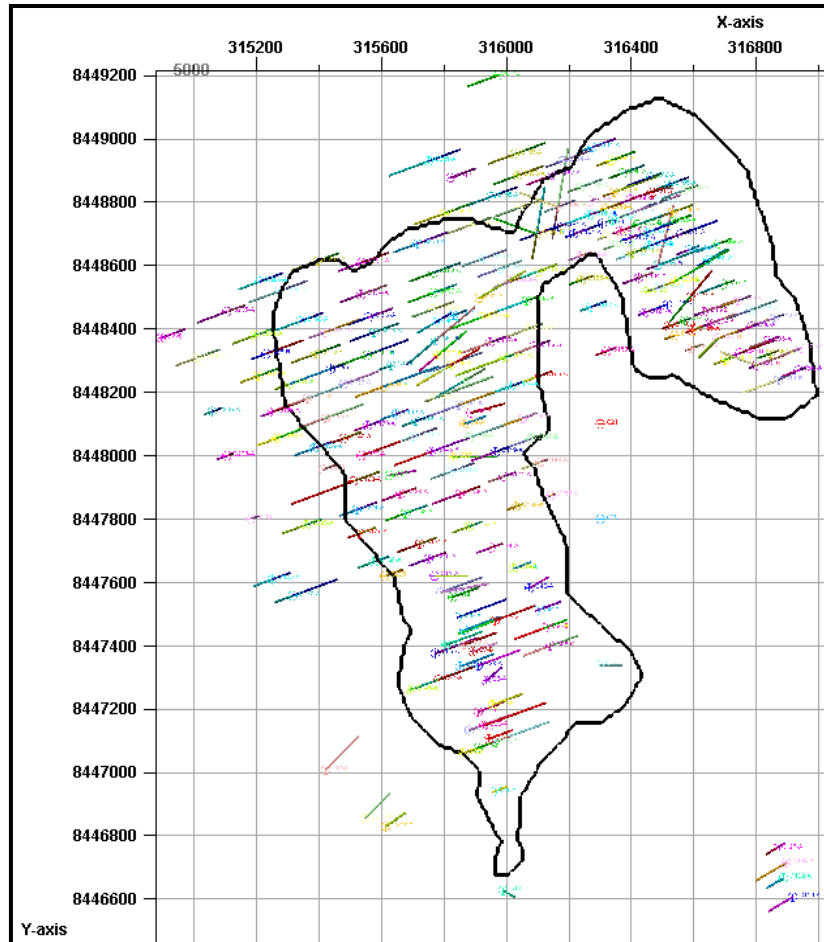


Figura 3.3 – Vista em planta das sondagens utilizadas para a modelagem geológica com o contorno da cava econômica final da mina.

### 3.3.1. Topografia e cava econômica final

O levantamento topográfico foi fornecido em arquivo digital \*.dwg, contendo curvas de nível a cada 5 metros nas coordenadas geográficas UTM (Universal Transversal de Mercator) (Figura 3.4). Também se forneceu a cava econômica final da mina, com curvas de nível a cada 2 metros, para uma melhor visualização se mostra a cada 10 metros na figura 3.5.

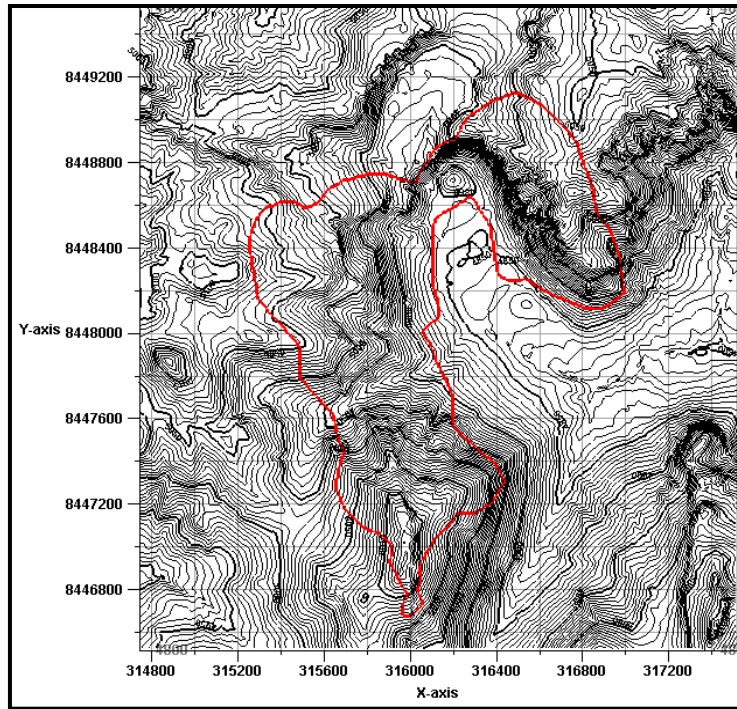


Figura 3.4 – Planta topográfica com curvas a cada 5 metros, com o limite da cava econômica final da mina.

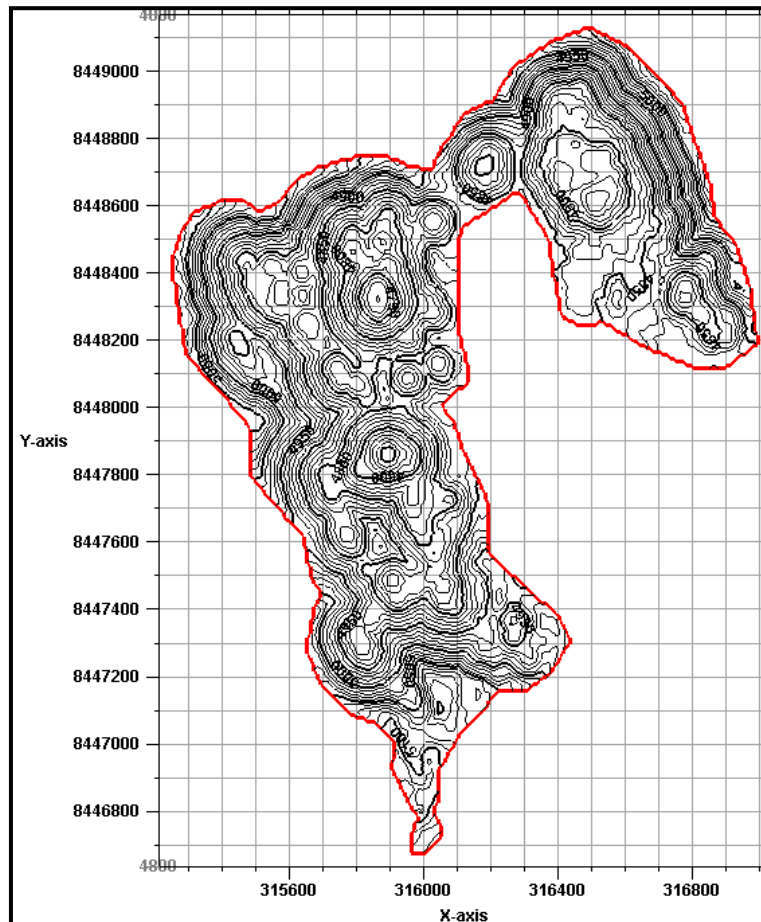


Figura 3.5 – Vista em planta da cava econômica final da mina.

### 3.3.2.

#### Mapeamento geológico-estrutural

Forneceu-se o relatório *Field Geological Analysis* (Nelson, 2006) que apresenta as observações geológicas estruturais realizadas em cada uma das zonas do depósito (Este, norte e sul). Algumas das observações são que a rocha hospedeira do depósito é predominantemente tufo riolítico, também existem corpos de andesita encontrados dentro de algumas veias. Explica-se o modelo de falhas lítricas como apropriado para explicar as características estruturais encontradas no depósito, este modelo será explicado no seguinte capítulo.

As figuras 3.6, 3.7 e 3.8 mostram os estereogramas com os pólos e/ou os grandes círculos das estruturas mapeadas nas zonas norte, este e sul do depósito.

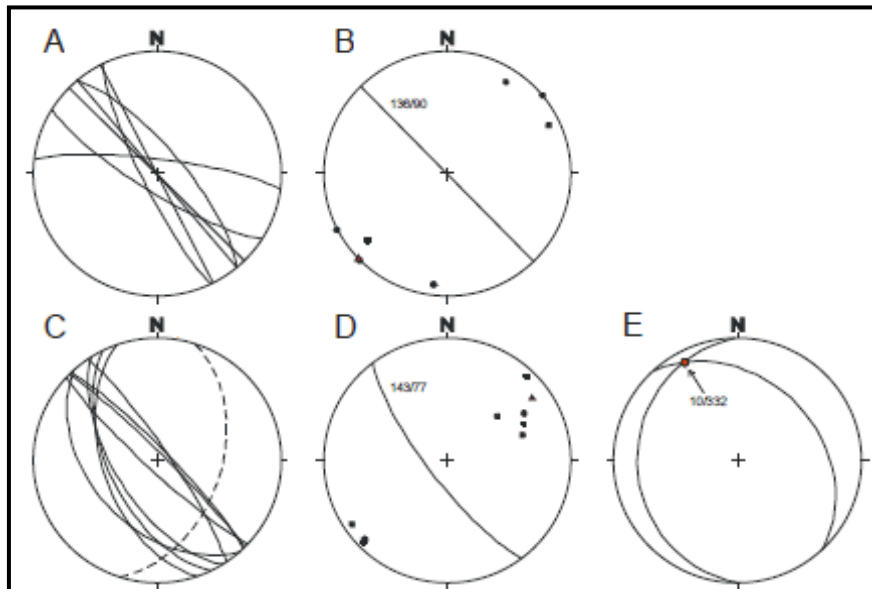


Figura 3.6 – Esterogramas mostrando as estruturas encontradas no depósito Norte (A) Juntas mostradas como grandes círculos, (B) Juntas mostradas como pólos e plano médio dos pólos, (C) Veias mostradas como grandes círculos, (D) Veias mostradas como pólos e plano médio dos pólos, (E) Estratos mostrados como grandes círculos (Nelson, 2006).

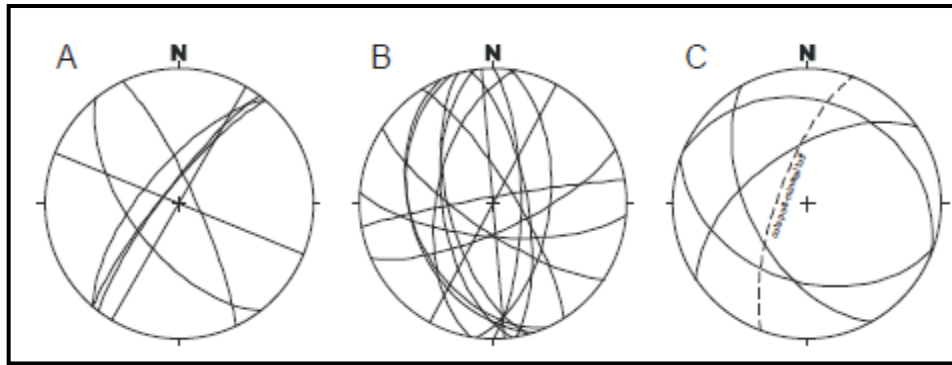


Figura 3.7 – Estereogramas mostrando as estruturas encontradas no depósito Este. (A) Juntas, (B) Veias e (C) Falhas (Nelson, 2006).

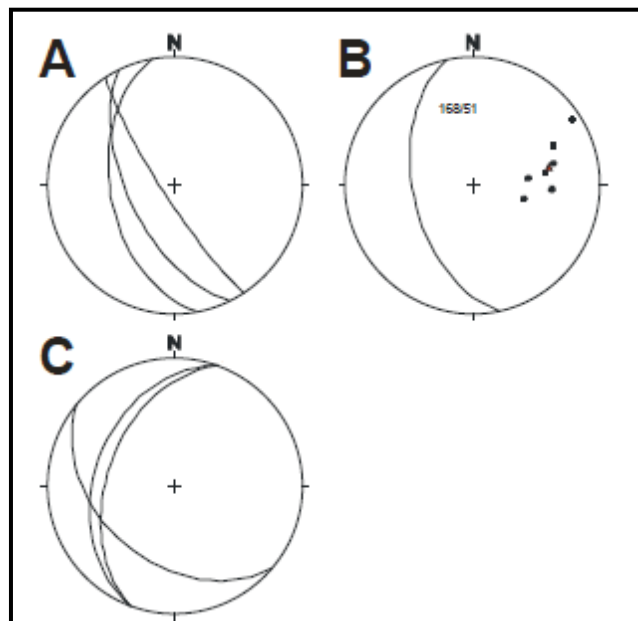


Figura 3.8 – Estereogramas mostrando as estruturas encontradas no depósito Sul (A) Veias mostradas como grandes círculos, (B) Veias mostradas como pólos e plano médio dos pólos, (C) Veias de prata mostradas como grandes círculos (Nelson, 2006).

### 3.3.3.

#### Perfis de sondagem

As nove sondagens realizadas no programa de investigação de campo foram orientadas de tal maneira que as sondagens passassem através das paredes dos taludes e assim avaliar posteriormente sua estabilidade com informação confiável. A localização das sondagens e a cava econômica final da mina se mostram na figura 3.9.



Os registros obtidos das sondagens contêm parâmetros geomecânicos como:

- Descrição da litologia e alteração por trechos
- Dureza
- RQD (*Rock Quality Designation*).
- Frequência de fraturas.
- Condição das juntas (JCR)
- Grau de alteração

Esta informação foi utilizada para classificar o maciço rochoso segundo o RMR (*Rock Mass Rating*) de Bieniawski (1989).

Os registros também incluem informação detalhada para cada junta encontrada como: orientação e mergulho da junta, material de recheio, espessura, forma, rugosidade, etc.

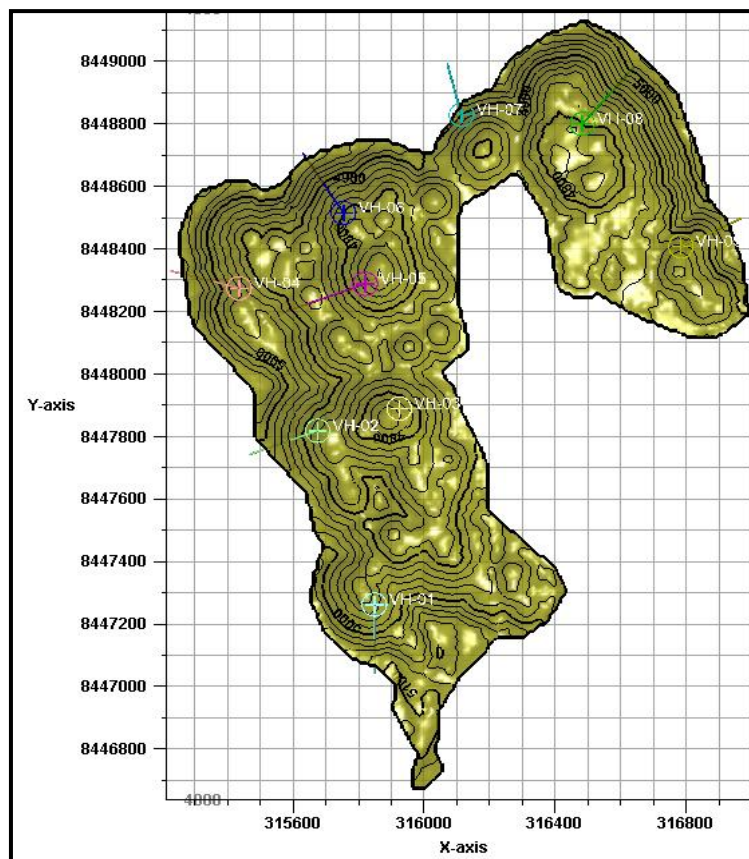


Figura 3.9 – Localização das sondagens geomecânicas orientadas e cava econômica final da mina.

**3.3.4.****Ensaio de laboratório**

O programa de laboratório em mecânica de rochas consistiu na determinação das propriedades físicas, ensaios de carga pontual, ensaios de compressão uniaxial e triaxial e ensaios de cisalhamento direto em juntas.

As propriedades físicas são apresentadas na tabela 3.1. Observa-se que os tufos apresentam um peso específico entre 21 e 24 kN/m<sup>3</sup>, a rocha sedimentar mostra um peso específico médio de 24.4 kN/m<sup>3</sup>.

Tabela 3.1 – Resultados dos ensaios de propriedades físicas

<b>Amostra</b>	<b>Profundidade (m)</b>	<b>Zona</b>	<b>Litologia</b>	<b>Porosidade aparente (%)</b>	<b>Absorção (%)</b>	<b>Peso específico aparente (kN/m<sup>3</sup>)</b>
VH-04_M13	143.60-144.20	Mineralizada	T. Andesítico	28.17	13.14	21.01
VH-04_M11	31.55-31.83	Mineralizada	T. Andesítico	4.51	1.94	22.76
VH-08_M08	201.12-201.50	Mineralizada	T. Andesítico	14.31	6.53	21.47
VH-09_M04	200.95-201.40	Mineralizada	T. Dacítico	9.74	4.13	23.12
VH-03_M01	9.63-9.98	Mineralizada	Tufo	14.47	6.75	21.00
VH-05_M07	128.34-128.90	Mineralizada	T. Dacítico	12.84	5.81	21.66
VH-05_M01	17.50-17.85	Pós Mineral	T. Andesítico	26.21	12.45	20.63
VH-08_M07	161.00-161.54	Pós Mineral	T. Dacítico	5.52	2.27	23.80
VH-08_M06	144.50-143.97	Pós Mineral	T. Dacítico	5.01	2.05	23.95
VH-06_M08	245.30-245.84	Pré Mineral	T. Dacítico	10.83	4.78	22.22
VH-06_M07	225.16-225.80	Pré Mineral	T. Dacítico	13.07	5.82	22.01
VH-06_M09	225.26-225.80	Pré Mineral	T. Dacítico	9.40	4.06	22.68
VH-03_M05	166.67-167.07	Pré Mineral	Sedimentar	1.78	0.71	24.63
VH-03_M04	159.50-159.86	Pré Mineral	Sedimentar	3.96	1.60	24.25
VH-02_M10	227.96-228.42	Pré Mineral	Tufo	16.02	7.22	21.75

Na tabela 3.2 se apresentam os resultados dos ensaios de carga pontual realizados.  $I_s(50)$  representa o índice de carga pontual e  $\sigma_{c1}$  representa a resistência à compressão não confinada equivalente. Para verificar os resultados nos ensaios de carga pontual se realizaram ensaios de compressão uniaxial (UCS) em algumas amostras que são mostradas na tabela mediante  $\sigma_c$ .

Em geral os resultados entre a resistência equivalente e os ensaios de compressão uniaxial mostram uma boa correlação, com exceção da amostra VH-04\_M05, na qual a diferença é considerável. Uma dureza média de R3 para o tufo pós-mineral e de R2-R3 para o tufo mineral pode ser considerada na escala do ISRM (*International Society for Rock Mechanics*).

Tabela 3.2 – Resultados dos ensaios de carga pontual.

<b>Amostra</b>	<b>Zona</b>	<b>Litologia</b>	<b>Profundidade (m.)</b>	<b>Is (50) (Mpa)</b>	<b><math>\sigma_{c1}</math> (Mpa)</b>	<b><math>\sigma_c</math> (Mpa)</b>	<b>ISRM Dureza</b>
VH-04_M01	Pós Mineral	T. Dacítico	9.20-9.60	0.82	20.0	12.54	R2
VH-04_M02	Pós Mineral	T. Dacítico	22.40-22.80	1.03	25.0		R2-R3
VH-04_M03	Pós Mineral	T. Dacítico	26.2-26.84	1.33	32.0	24.34	R2-R3
VH-04_M04	Pós Mineral	T. Dacítico	35.36-35.96	0.73	18.0		R2
VH-04_M05	Pós Mineral	T. Dacítico	43.20-43.79	0.51	12.0	20.93	R2
VH-04_M06	Pós Mineral	T. Dacítico	51.18-51.60	3.74	92.0	78.83	R4
VH-04_M08	Pós Mineral	T. Dacítico	59.73-59.95	0.56	14.0		R2
VH-04_M09	Pós Mineral	T. Dacítico	68.20-68.82	0.35	8.0	11.31	R2
VH-08_M03	Pós Mineral	T. Dacítico	80.0-80.56	1.41	35.2		R3
VH-05_M03	Pós Mineral	T. Andesítico	26.29 - 26.70	5.88	141.0		R5
VH-04_M16	Mineralizada	T. Dacítico	187.48-188.1	0.51	13.8		R2
VH-04_M15	Mineralizada	T. Dacítico	172.21-172.82	0.61	16.5		R2
VH-05_M10	Mineralizada	T. Dacítico	174.75-175.33	1.97	47.3		R3
VH-06_M06	Mineralizada	T. Dacítico	192.8-193.45	1.37	34.3		R3
VH-09_M03	Mineralizada	T. Dacítico	180.7-181.18	1.69	42.2		R3
VH-08_M10	Mineralizada	T. Andesítico	236.15-236.63	1.18	29.4		R3
VH-04_M12	Mineralizada	T. Andesítico	137.1-137.6	1.37	34.3		R3
VH-02_M04	Mineralizada	Tufo	116.32-116.73	0.44	11.3		R2
VH-02_M07	Mineralizada	Tufo	178.24-178.87	0.87	22.7		R2
VH-01_M02	Mineralizada	Tufo	41.05-41.48	0.12	3.2		R1
VH-04_M22	Pré Mineral	T. Dacítico	247.62-248.1	2.39	57.3		R4

$\sigma_{c1}$ : Resistência de compressão uniaxial equivalente.

$\sigma_c$ : Resistência de compressão uniaxial real.

Is(50): Índice de carga pontual.

Os ensaios de compressão uniaxial se apresentam na tabela 3.3 que mostra resultados similares ao ensaio de carga pontual, mostrando que uma dureza de R3 pode ser considerada para o tufo mineral e pós-mineral.

Tabela 3.3 – Resultados dos ensaios de compressão uniaxial (UCS)

<b>Amostra</b>	<b>Zona</b>	<b>Litologia</b>	<b>Profundidade (m)</b>	<b><math>\sigma_c</math> (Mpa)</b>	<b>ISRM Dureza</b>
VH-05_M01	Pós Mineral	T. Andesítico	17.50-17.85	21,34	R2
VH-08_M07	Pós Mineral	T. Dacítico	161.00-161.54	47,31	R3
VH-08_M06	Pós Mineral	T. Dacítico	144.50-143.97	85,77	R4
VH-04_M01	Pós Mineral	T. Dacítico	9.20-9.60	12,54	R2
VH-04_M03	Pós Mineral	T. Dacítico	26.20-26.84	24,34	R2-R3
VH-04_M05	Pós Mineral	T. Dacítico	43.20-43.79	20,93	R2
VH-04_M06	Pós Mineral	T. Dacítico	51.18-51.60	78,83	R4
VH-04_M09	Pós Mineral	T. Dacítico	68.20-68.82	11,31	R2
VH-04_M13	Mineralizada	T. Andesítico	143.60-144.20	18,95	R2
VH-04_M11	Mineralizada	T. Andesítico	31.55-31.83	22,07	R2
VH-08_M08	Mineralizada	T. Andesítico	201.12-211.50	29,67	R3
VH-05_M07	Mineralizada	T. Dacítico	128.34-128.90	25,84	R3
VH-09_M04	Mineralizada	T. Dacítico	200.95-201.40	45,08	R3
VH-03_M01	Mineralizada	Tufo	9.63-9.98	44,02	R3
VH-06_M07	Pré Mineral	T. Dacítico	225.16-225.80	33,01	R3
VH-06_M08	Pré Mineral	T. Dacítico	245.30-245.84	45,11	R3
VH-06_M09	Pré Mineral	T. Dacítico	225.26-225.80	54,02	R4

A tabela 3.4 mostra os resultados dos ensaios triaxiais realizados nas amostras para realizar a resistência da rocha intacta com confinamento.

Tabela 3.4 – Resultados dos ensaios triaxiais.

<b>Amostra</b>	<b>Zona</b>	<b>Litologia</b>	<b>Confinamento (Mpa)</b>	<b>Resistência (Mpa)</b>	<b><math>m_i</math></b>	<b>Ângulo atrito (°)</b>	<b>Coesão (Mpa)</b>
VH-06_M01	Pós Mineral	T. Dacítico	0,70	11,84	4,91	28,26	2,93
VH-09_M01	Pós Mineral	T. Dacítico	1,30	13,40			
VH-06_M02	Pós Mineral	T. Dacítico	2,60	17,15			
VH-07_M02	Pós Mineral	T. Dacítico	1,00	60,51	16,70	48,86	10,07
VH-08_M04	Pós Mineral	T. Dacítico	2,20	69,75			
VH-07_M08	Pós Mineral	T. Dacítico	4,50	85,51			
VH-05_M05	Pós Mineral	T. Andesítico	1,00	50,10	10,01	41,52	10,18
VH-05_M04	Pós Mineral	T. Andesítico	2,20	56,19			
VH-05_M02	Pós Mineral	T. Andesítico	4,50	67,38			
VH-05_M08	Mineralizada	T. Dacítico	2,00	35,45	4,18	26,52	9,46
VH-02_M08	Mineralizada	T. Dacítico	4,00	41,71			
VH-04_M19	Mineralizada	T. Dacítico	8,00	51,30			
VH-09_M02	Mineralizada	T. Dacítico	2,00	57,61	7,14	35,22	13,06
VH-07_M10	Mineralizada	T. Dacítico	4,00	65,79			
VH-08_M09	Mineralizada	T. Dacítico	8,00	80,09			

Tabela 3.4 – Resultados dos ensaios triaxiais. (Continuação)

<b>Amostra</b>	<b>Zona</b>	<b>Litologia</b>	<b>Confinamento (Mpa)</b>	<b>Resistência (Mpa)</b>	<b>mi</b>	<b>Ângulo atrito (°)</b>	<b>Coesão (Mpa)</b>
VH-05_M06	Mineralizada	T. Andesítico	2,00	35,09	9,62	36,01	7,11
VH-04_M10	Mineralizada	T. Andesítico	4,00	44,18			
VH-01_M12	Mineralizada	T. Andesítico	8,00	58,51			
VH-01_M04	Mineralizada	Tufo	2,00	47,28	11,72	40,00	8,92
VH-01_M04	Mineralizada	Tufo	4,00	57,01			
VH-01_M04	Mineralizada	Tufo	8,00	75,03			
VH-02_M02	Mineralizada	Tufo	1,20	19,79	11,17	36,85	3,86
VH-02_M03	Mineralizada	Tufo	2,50	26,10			
VH-01_M07	Mineralizada	Tufo	5,00	35,19			
VH-02_M09	Pré Mineral	T. Dacítico	2,20	26,11	8,60	31,60	5,44
VH-02_M09	Pré Mineral	T. Dacítico	4,50	34,61			
VH-02_M09	Pré Mineral	T. Dacítico	9,00	48,13			
VH-02_M10	Pré Mineral	Tufo	2,20	30,09	9,40	33,68	6,14
VH-02_M10	Pré Mineral	Tufo	4,50	39,49			
VH-02_M10	Pré Mineral	Tufo	9,00	54,11			

A Tabela 3.5 mostra os ensaios de cisalhamento direto realizado tanto em juntas naturais como em juntas simuladas para obter a resistência de cisalhamento das juntas.

Tabela 3.5 – Resultados dos ensaios de cisalhamento direto nas juntas simuladas e naturais.

<b>Amostra</b>	<b>Zona</b>	<b>Litologia</b>	<b>Tipo de descontinuidade</b>	<b>Ângulo atrito (°)</b>	<b>Coesão (Mpa)</b>
VH-05_M09	Mineralizada	T. Andesítico	Simulada	28.45	0.085
VH-04_M13	Mineralizada	T. Andesítico	Simulada	27.99	0.172
VH-06_M05	Mineralizada	T. Dacítico	Simulada	28.86	0.150
VH-05_M11	Mineralizada	T. Dacítico	Simulada	27.48	0.172
VH-01_M05	Mineralizada	Tufo	Simulada	29.07	0.156
VH-01_M09	Mineralizada	Tufo	Simulada	30.16	0.144
VH-05_M04	Pós Mineral	T. Andesítico	Simulada	30.70	0.082
VH-04_M07	Pós Mineral	T. Dacítico	Natural	30.40	0.098
VH-04_M21	Pré Mineral	T. Dacítico	Natural	31.76	0.116
VH-04_M20	Pré Mineral	T. Dacítico	Natural	31.93	0.123

Os resultados obtidos nos ensaios de propriedades físicas, nos ensaios de compressão uniaxial e os ensaios triaxiais foram utilizados para modelar a

rocha intacta posteriormente no PFC (Capítulo 5). Os ensaios de cisalhamento direto se utilizaram para modelar as estruturas (juntas) do depósito.

### 3.4. Modelagem geológica

A análise geotécnica de um depósito de minério, independentemente do método de mineração usado, depende da existência de um bom modelo geológico. Este deve ser criado pensando nas necessidades de outros profissionais que usaram essa informação como engenheiros geotécnicos, engenheiros de exploração, engenheiros de minas, etc.

O modelo geológico deve ser gerado com uma quantidade apropriada de detalhes necessários para satisfazer as necessidades dos futuros usuários. Uma quantidade com muitos detalhes vão fazer o processo de modelagem complexo e com uma má utilização de recursos, como o tempo requerido na coleção e no processamento dos dados. Uma quantidade de detalhes pequena vai fazer que o modelo seja muito simplificado.

Existem diversos tipos de modelos geológicos como o modelo de blocos, o modelo de armação de arame (*Wire frame model*), o modelo de polígonos, etc.

O modelo de blocos é bem usado para estimar os graus de minério com os dados obtidos das sondagens. No entanto, eles podem armazenar qualquer outra característica da rocha que possa ser medida ou definida numericamente.

O modelo de armação de arame é gerado a partir de contornos de polígonos, como na topografia de uma superfície. A primeira etapa consiste em classificar e armazenar os nós (pontos) dos polígonos de cada elevação dos polígonos. Os nós são em seguida conectados em um conjunto de triângulos (triangulação), cada nó é conectado aos nós das linhas dos polígonos localizados acima e abaixo em elevação, formando assim triângulos que podem ser sombreados segundo a orientação ou elevação.

Outro modelo amplamente usado é o de polígonos, que foi o utilizado na presente dissertação. Este modelo está conformado por um conjunto de polígonos em planos paralelos bidimensionais. Usualmente estes planos são criados com um espaçamento constante entre eles, as orientações dos planos comumente são horizontais e verticais (Figura 3.10).

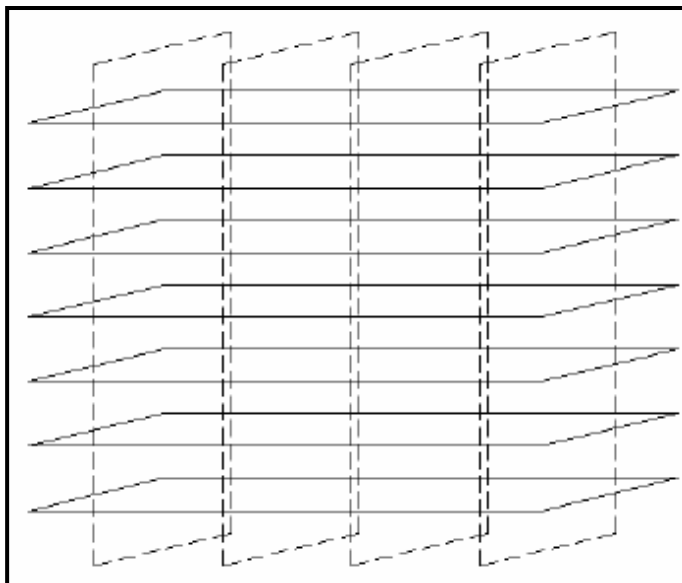


Figura 3.10 – Planos paralelos com orientação horizontal e vertical (Modelo de Polígonos).

Para a modelagem geológica se utilizou o programa computacional Minesight versão 3.5. Inicialmente se importaram os arquivos em formato \*.dxf da topografia e da cava econômica final, posteriormente se fez uma triangulação para obter as superfícies respectivas.

Logo, geraram-se os arquivos de entrada para a importação das sondagens. Estes arquivos contêm informação das coordenadas e orientações dos poços assim como dos registros da litologia, alteração e o RQD encontrado em cada intervalo de profundidade. Na figura 3.11 se mostra as sondagens contendo informação litológica.

Posteriormente se criaram planos transversais com as seguintes orientações: 25, 70, 115 e 160° assim também como planos horizontais. O espaçamento entre cada plano foi de 50 metros e um *clipping* (volume que pode ser projetado ao plano contendo informação das sondagens e dos polígonos) de 25 metros. Inicialmente vão se gerando os polígonos nos planos que têm informação mais confiável.

Como exemplo se mostra na figura 3.12 uma seção transversal contendo seis sondagens com informação da litologia e a possível interpretação baseada só nas sondagens da seção. O procedimento para a modelagem inclui realizar iterações múltiplas de um mínimo de duas seções transversais, para construir gradualmente um modelo geológico que concorde com os dados das sondagens e dos dados superficiais.

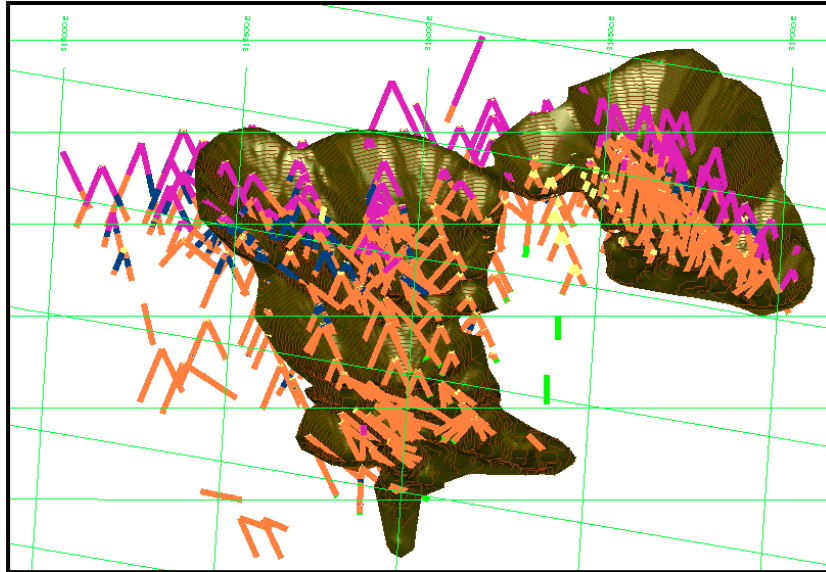


Figura 3.11 – Sondagens mostrando as litologias encontradas no depósito de minério e a cava econômica final da mina.

O processo da modelagem implica fazer interpretações de áreas com dados de alta confiabilidade primeiro, para depois gradualmente estender as interpretações a áreas com dados de confiabilidade média. A modelagem é um processo iterativo que requer de vários ciclos com todos os grupos de seções transversais que estão sendo modeladas.

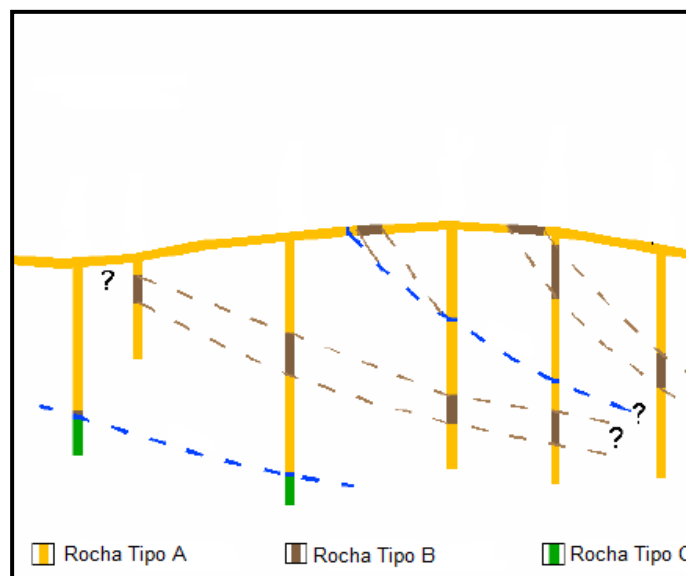


Figura 3.12 – Interpretação preliminar baseada na informação litológica nas sondagens da seção.

Durante o processo de modelagem a seção mostra também as interseções modeladas anteriormente nas outras seções transversais (com



outras orientações). As interseções são usualmente representadas como pontos ou triângulos com uma cor que permite ajudar ao modelador (Figura 3.13), assim os pontos adicionais ajudam a melhorar e gerar um modelo mais exato da geologia, baseado no uso de toda a informação tridimensional disponível (Ver figura 3.14).

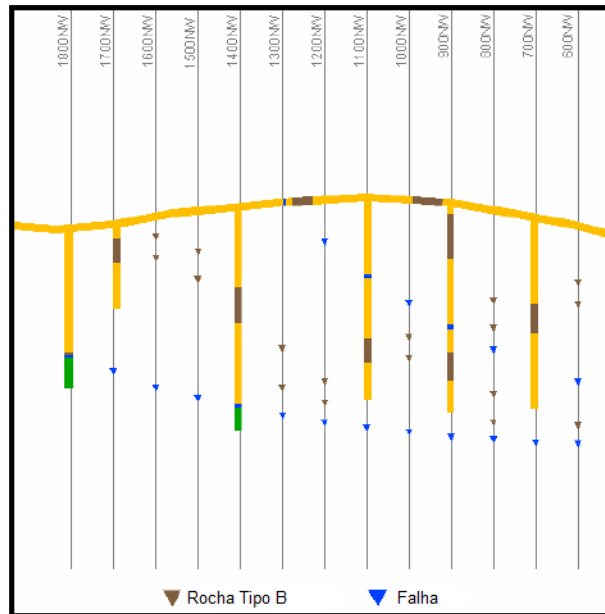


Figura 3.13 – Seção transversal mostrando também as interseções modeladas anteriormente em outras seções.

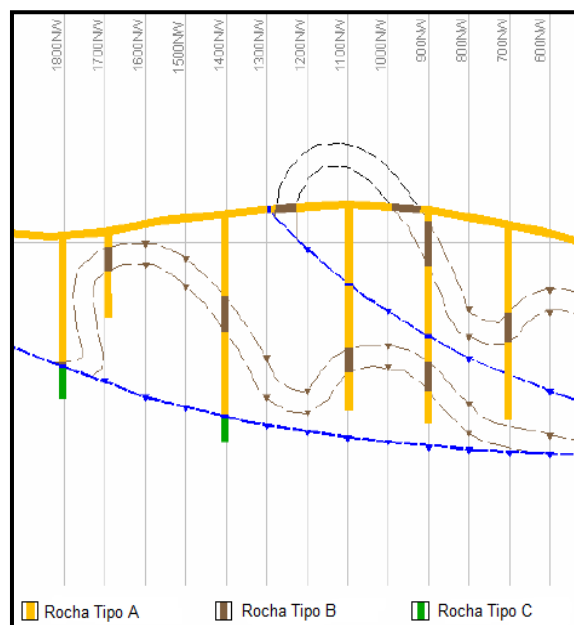


Figura 3.14 – Interpretação utilizando os dados das outras seções transversais.

Seguindo o mesmo procedimento para gerar as superfícies dos contactos litológicos: Sedimentar (pré mineralizado) – Tufo mineralizado e Tufo

mineralizado – Tufo pós mineralizado de cores verde e rosa respectivamente, se mostra na seguinte figura 3.15.

Posteriormente as superfícies de contacto modeladas foram estendidas até os limites da área em estudo como se vê nas figuras 3.16 e 3.17 para formar as regiões geológicas do depósito e posteriormente definir os domínios estruturais.

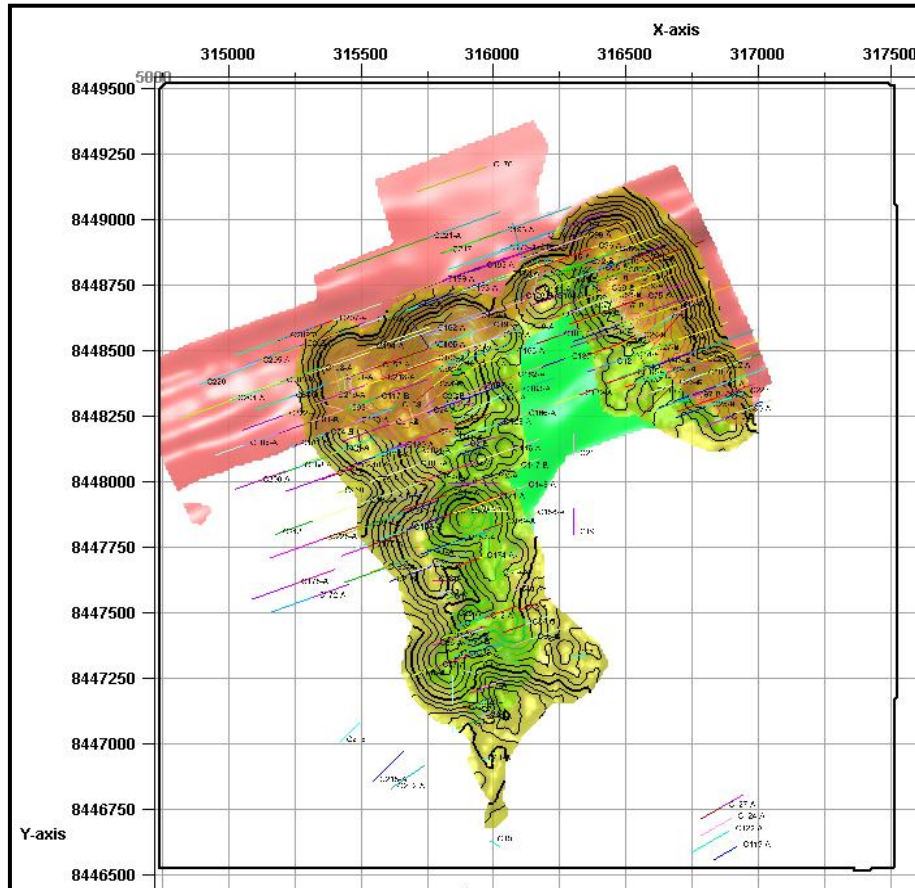


Figura 3.15 – Vista do plano horizontal mostrando os contatos geológicos, as sondagens e a cava econômica final da mina.

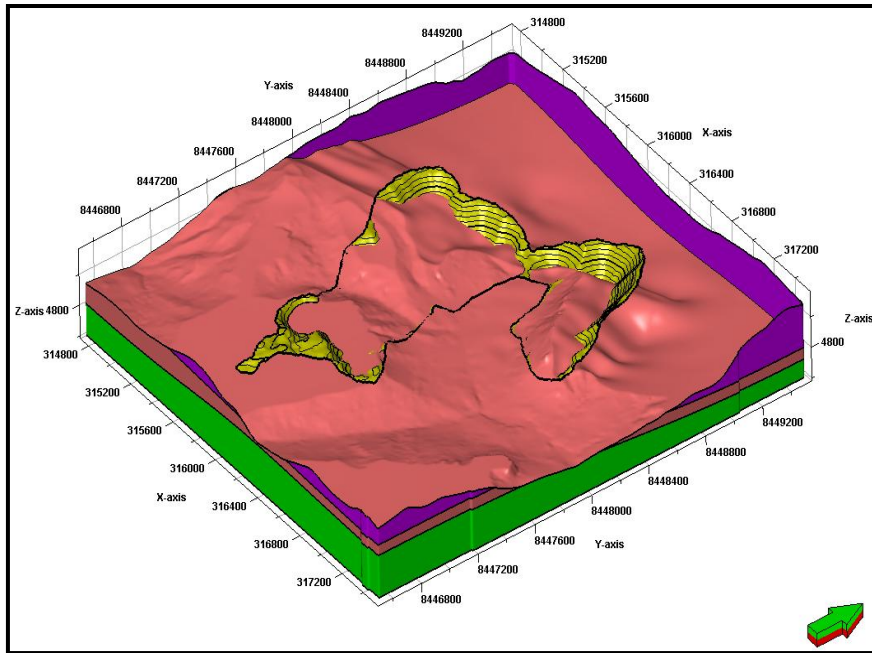


Figura 3.16 – Modelo sólido 3D mostrando a cava econômica final da mina e as zonas: pré-mineral (verde), mineral (rosa) e pós-mineral (roxo).

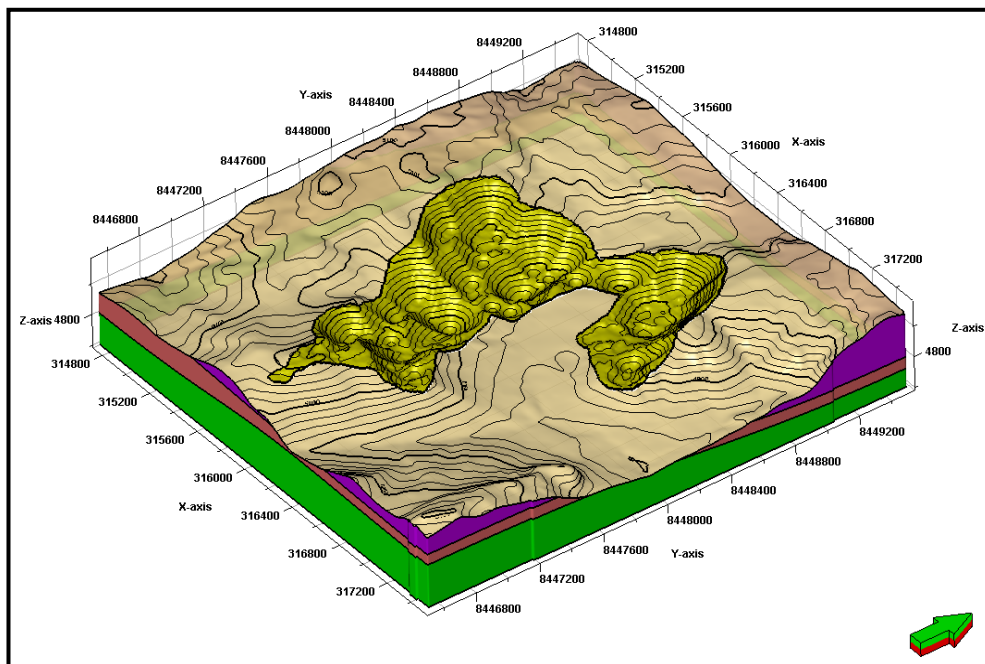


Figura 3.17 – Modelo geológico 3D mostrando a topografia do terreno e a cava econômica final da mina.