

5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1. Modelagem geológica da área

Neste estudo utilizaram-se 162 sondagens, das quais 96 sondagens são curtas (feitos no interior da mina) e 66 sondagens são longas (feitos desde a superfície). Cada uma das sondagens contém dados de coordenadas, inclinação, litologia, RQD, recuperação e teores de Ag, Au, Pb, Zn (os quais não foram entregues pela mineradora). Porém, nesta pesquisa só vai-se utilizar os dados de litologia e RQD.

Mapeamentos topográficos feitos pelo Departamento de Planejamento das operações no interior da mina e na superfície, encontram-se em formato digital DXF.

A base de dados da Mineradora encontra-se em formato DBF (MsAccess). Estes dados são armazenados através de uma interface elaborada em Power builder (Velarde, 2006), garantindo que a base de dados somente seja modificada e fiscalizada por o administrador.

A base de dados da mineradora Bateas entregue para este trabalho contém os campos que se apresenta na seguinte tabela:

Tabela 5-1 Campos da Base de dados da Mineradora Bateas.

CAMPO	CARACTERÍSTICAS
BHID	Nome da sondagem
X, Y e Z	Coordenadas UTM
From	Início do intervalo da sondagem
To	Fim do intervalo da sondagem
Length	Comprimento do intervalo
TD	Comprimento da sondagem
ID Veta	Nome da estrutura econômica
Sample_I	Número da amostra
Potencia	Potência aparente da rocha
Codigo_L	Código litológico
T_medido	Intervalo medido
Por_Recu	Recuperação em %
RQD	RQD
Por_RQD	RQD expresso em decimais

A modelagem geológica - geométrica foi elaborado no pacote DATAMINE propriedade da empresa Minera Bateas.

As coordenadas das sondagens são relativas e não são coordenadas UTM. Estas coordenadas são usadas para proteger a segurança da informação da mineradora.

Nas Figura 5-1, Figura 5-2 e Figura 5-3 podemos observar as sondagens e suas posições no espaço. Cada uma das cores identifica um tipo de rocha.

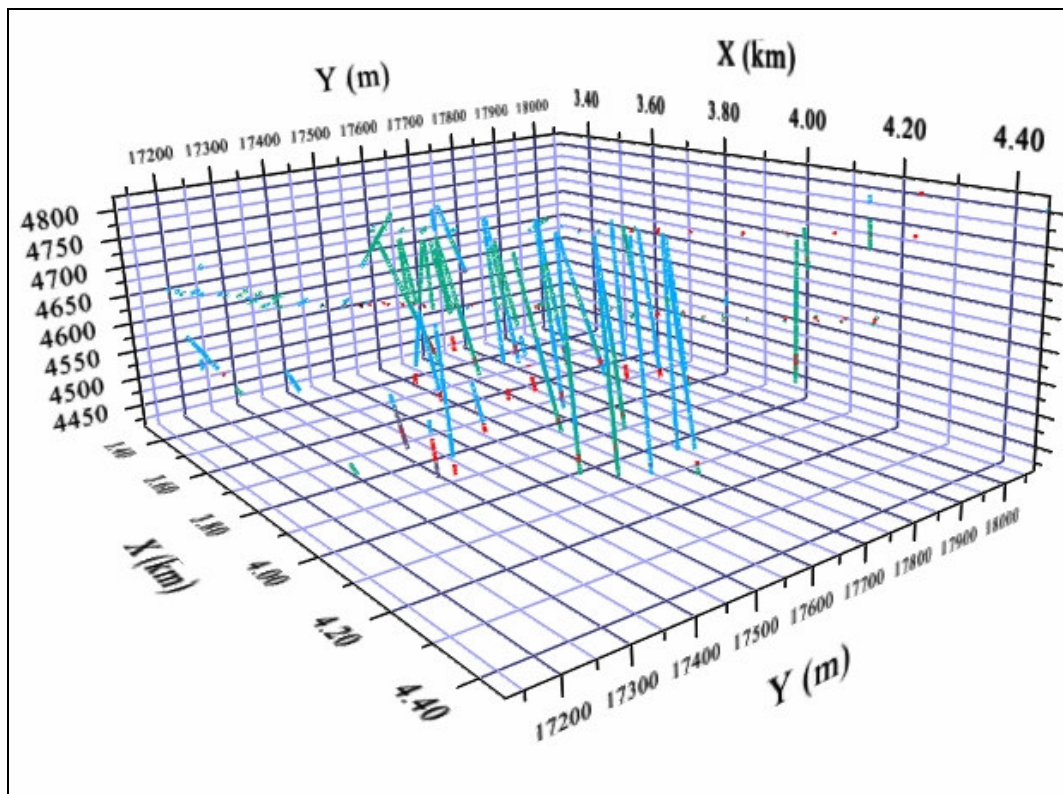


Figura 5-1 Sondagens efetuadas no veio Animas.

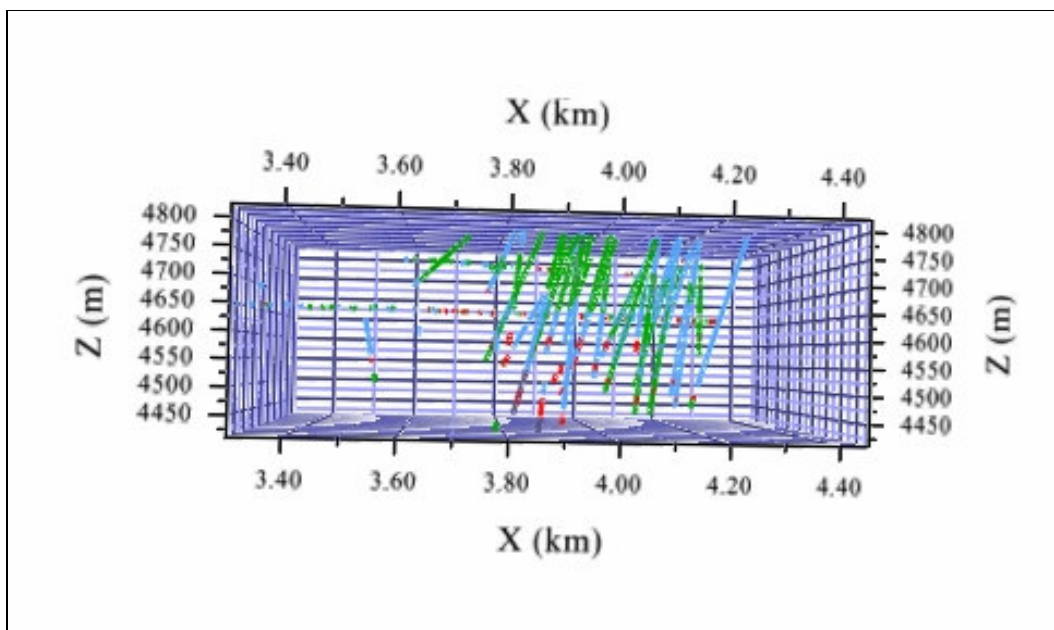


Figura 5-2 Vista vertical (Leste-Oeste) das sondagens efetuadas no veio Animas.

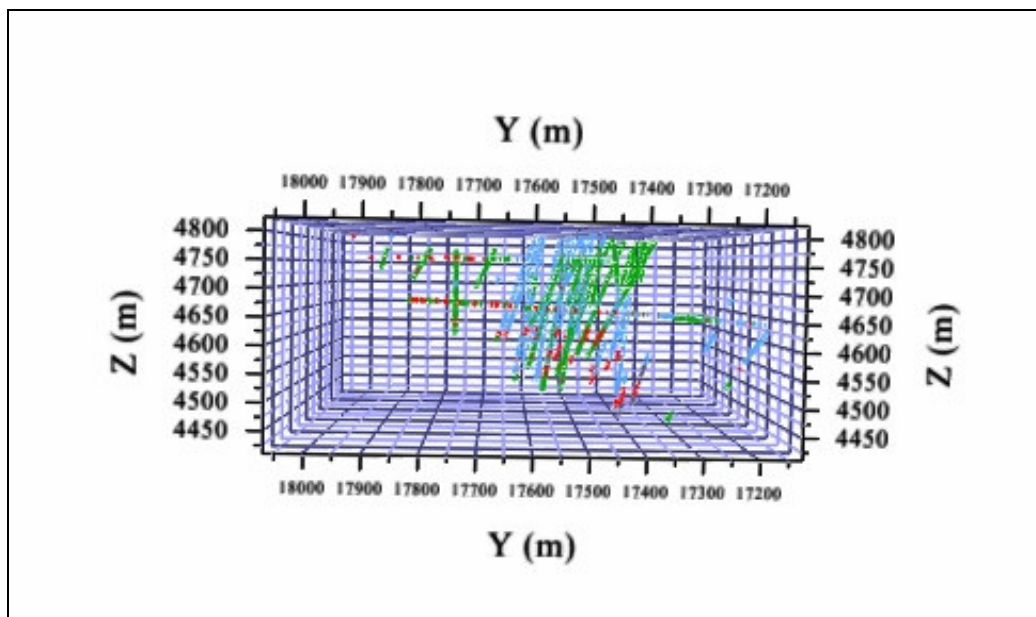


Figura 5-3 Vista vertical (Norte-Sul) das sondagens efetuadas no veio Animas.

No veio Animas existem três níveis principais de extração de minério, cada um deles estão distanciados por 50 metros. A Figura 5-4 mostra os três níveis principais.

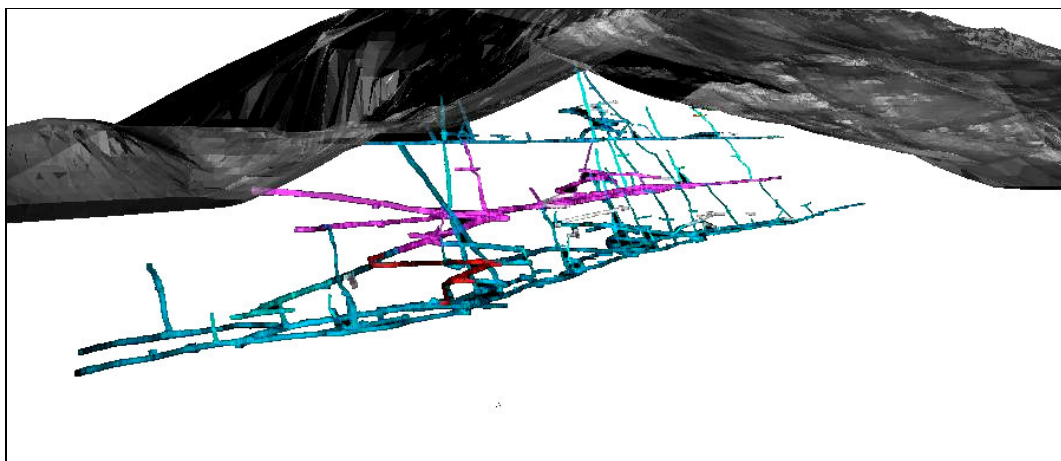


Figura 5-4 Níveis 7,8 e 9 do veio Animas.

A partir dos mapeamentos geológicos estruturais por níveis (Figura 5-5, Figura 5-6 e Figura 5-7), modelaram-se os sólidos das zonas de falhas por nível. Seguindo as recomendações do capítulo quatro e cinco do presente trabalho. As linhas azuis representam as falhas geológicas identificadas em cada nível de produção.

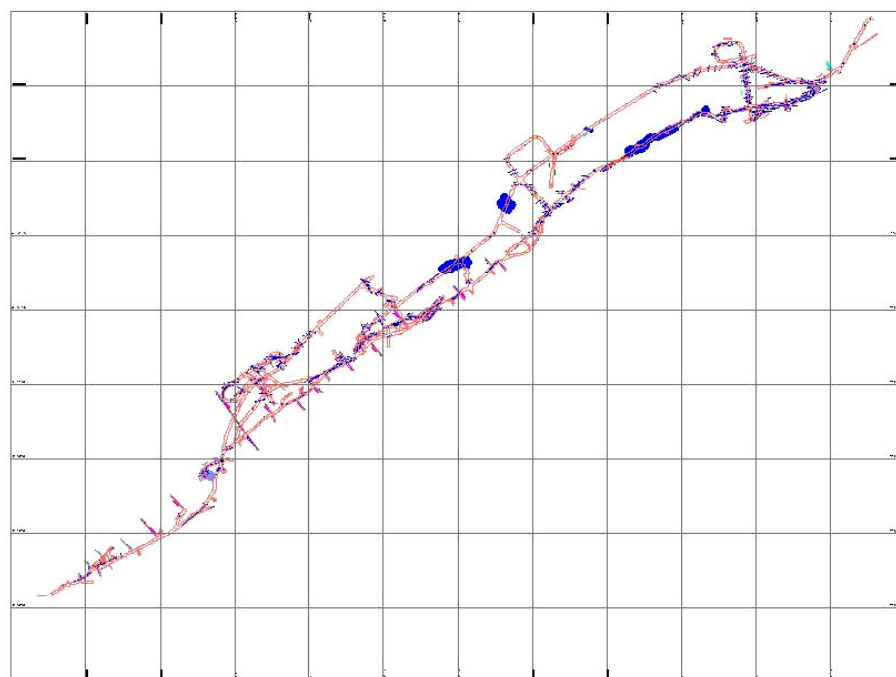


Figura 5-5 Zonas de falha no nível 7.

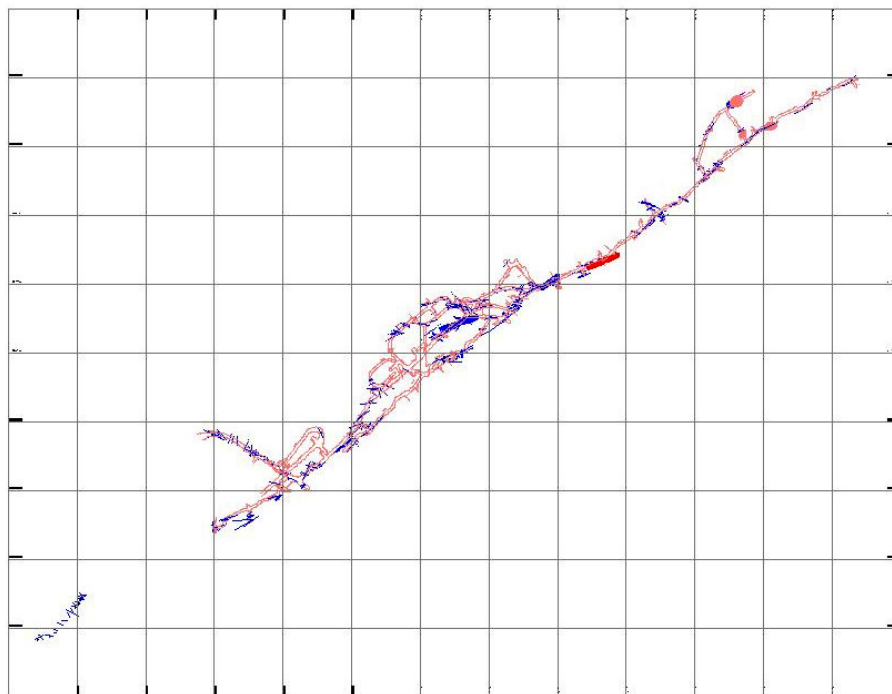


Figura 5-6 Zonas de falha no nível 8.

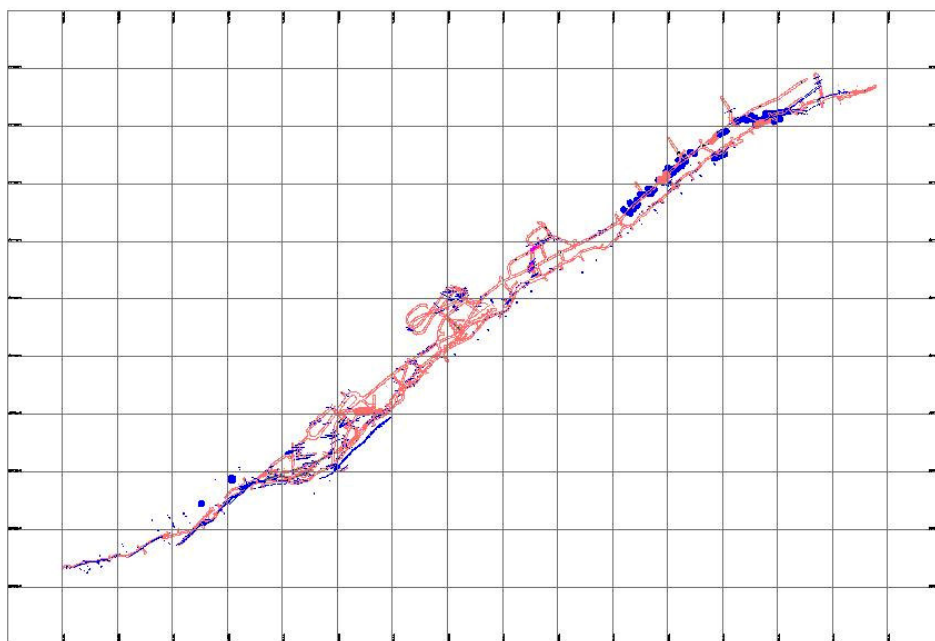


Figura 5-7 Zonas de falha do nível 9.

5.1.1.

Modelagem geométrica

Pesquisadores como Folle & et. al. (2008), não realizam uma modelagem geológica das unidades geológicas antes da estimativa do parâmetro geotécnico, porém, eles consideram a tendência vertical própria dos dados no momento da estimativa. O método geoestatístico que leva em conta essa tendência é a Krigagem Universal.

Neste caso utilizaremos a OK e SGS, por tanto devemos realizar a modelagem geométrica do veio Animas (utilizaremos o método dos perfis para a criação dos sólidos) para uma melhor predição do RQD.

Para esta etapa do trabalho utilizaremos o pacote **DATAMINE** desenvolvido pela empresa Mineral Industries Computing Ltda em Inglaterra. A licença utilizada neste trabalho é DATAMINE V2. Este programa permite realizar a criação de sólidos tridimensionais, análise estatística, análise geoestatística, desenho de operações de mineração e desenho de uma barragem de rejeitos. Porém, apresenta uma desvantagem nas suas ferramentas de estimativa de recursos minerais, já que somente tem cinco métodos numéricos.

5.1.1.1.

Perfis horizontais e verticais

Para a modelagem geológica da área de estudo foram utilizados perfis horizontais e verticais, na Tabela 5-2 e a Tabela 5-3 se mostram as características principais dos perfis.

Tabela 5-2 Características dos perfis verticais.

Perfil	Ponto esquerdo		Ponto Direito		Elevação dos Perfis		Influência dos Perfis	
	Norte	Leste	Norte	Leste	Mínima Elevação (m)	Máxima Elevação (m)	Atrás (m)	Na frente (m)
0AN	17,206.50	3,295.40	17,134.90	3,349.60	4376	4910	15	15
1AN	17,224.60	3,319.40	17,153.00	3,373.50	4376	4910	15	15
2AN	17,242.70	3,343.30	17,171.10	3,397.40	4376	4910	15	15
3AN	17,260.80	3,367.00	17,189.00	3,421.40	4376	4910	15	15
4AN	17,278.90	3,391.10	17,207.30	3,445.00	4376	4910	15	15
5AN	17,297.00	3,415.00	17,225.00	3,469.00	4376	4910	15	15
6AN	17,315.00	3,439.00	17,243.50	3,493.00	4376	4910	15	15
7AN	17,333.20	3,462.90	17,261.60	3,517.10	4376	4910	15	15
8AN	17,351.30	3,486.90	17,279.70	3,541.00	4376	4910	15	15
9AN	17,369.00	3,510.80	17,297.80	3,564.90	4376	4910	15	15
10AN	17,387.50	3,534.70	17,315.90	3,588.90	4376	4910	15	15
11AN	17,405.60	3,558.70	17,333.90	3,612.80	4376	4910	15	15
12AN	17,423.70	3,582.60	17,352.00	3,636.70	4376	4910	15	15
13AN	17,441.70	3,606.50	17,370.10	3,660.70	4376	4910	15	15
14AN	17,460	3,631	17,388	3,685	4376	4910	15	15
15AN	17,477.90	3,654.40	17,406.00	3,708.50	4376	4910	15	15
16AN	17,496.00	3,678.30	17,424.40	3,732.40	4376	4910	15	15
17AN	17,514.00	3,702.20	17,442.50	3,756.40	4376	4910	15	15
18AN	17,532.20	3,726.00	17,460.60	3,780.30	4376	4910	15	15
19AN	17,550.30	3,750.00	17,478.60	3,804.00	4376	4910	15	15
20AN	17,568.00	3,774.00	17,496.80	3,828.10	4376	4910	15	15
21AN	17,586.50	3,797.90	17,514.80	3,852.00	4376	4910	15	15
22AN	17,604.60	3,821.90	17,532.90	3,876.00	4376	4910	15	15
23AN	17,622.70	3,845.80	17,551.00	3,899.90	4376	4910	15	15
24AN	17,640.80	3,869.80	17,569.20	3,923.90	4376	4910	15	15
25AN	17,658.90	3,893.70	17,587.20	3,947.80	4376	4910	15	15
26AN	17,676.90	3,917.60	17,605.30	3,971.70	4376	4910	15	15
27AN	17,695.00	3,941.60	17,623.40	3,995.70	4376	4910	15	15
28AN	17,713.00	3,965.50	17,641.50	4,019.33	4376	4910	15	15
29AN	17,731.20	3,989.40	17,659.60	4,043.60	4376	4910	15	15
30AN	17,749.00	4,013.30	17,677.70	4,067.00	4376	4910	15	15
31AN	17,767.40	4,037.30	17,695.80	4,091.40	4376	4910	15	15
32AN	17,785.50	4,061.00	17,713.90	4,115.00	4376	4910	15	15
33AN	17,803.60	4,085.10	17,731.90	4,139.30	4376	4910	15	15
34AN	17,821.70	4,109.10	17,750.10	4,163.20	4376	4910	15	15
35AN	17,839.80	4,133.00	17,768.20	4,187.10	4376	4910	15	15
36AN	17,857.90	4,156.90	17,786.20	4,211.00	4376	4910	15	15
37AN	17,875.90	4,180.90	17,804.30	4,235.00	4376	4910	15	15
38AN	17,894.00	4,204.70	17,822.00	4,258.90	4376	4910	15	15
39AN	17,912.20	4,228.70	17,840.50	4,282.80	4376	4910	15	15
40AN	17,930.25	4,252.60	17,858.60	4,306.80	4376	4910	15	15
41AN	17,984.30	4,276.60	17,876.70	4,330.30	4376	4910	15	15

Tabela 5-3 Características dos perfis horizontais.

Perfil	Elevação dos Perfis		Influência dos Perfis		Elevação de Referência (m)
	Mínima Elevação (m)	Máxima Elevação (m)	Acima (m)	Em baixo (m)	
0HO	4830	4850	10	10	4840
1HO	4810	4830	10	10	4820
2HO	4790	4810	10	10	4800
3HO	4770	4790	10	10	4770
4HO	4750	4770	10	10	4760
5HO	4730	4750	10	10	4740
6HO	4710	4730	10	10	4720
7HO	4690	4710	10	10	4700
8HO	4670	4690	10	10	4680
9HO	4650	4670	10	10	4660
10HO	4630	4650	10	10	4640
11HO	4610	4630	10	10	4620
12HO	4590	4610	10	10	4600
13HO	4570	4590	10	10	4580
14HO	4550	4570	10	10	4560
15HO	4530	4550	10	10	4540
16HO	4510	4530	10	10	4530

Aparte dos 42 perfis verticais criou-se dois perfis entre cada perfil com denominação AN. Desta maneira se seguirão os critérios da modelagem geológica do capítulo anterior.

Os perfis horizontais foram utilizados para completar a modelagem geológica em zonas onde somente se tinham sondagens longas (comprimento maior a 100 metros).

Na Tabela 5-4 mostra-se o número de amostras utilizado por cada litologia na modelagem geológica.

Tabela 5-4 Número de amostras por códigos litológicos.

Características litológicas	Códigos litológicos	Número de amostras
Conglomerado vulcânico	AGV	55
Andesito porfíritico	ANDPORF	1839
Brecha	BX	285
Tufos vulcânicos	TBLP	1596
Veio Animas	V	2089

5.1.1.2. Criação dos sólidos geológicos

Criaram-se cinco sólidos que representam as principais litologias do veio Animas. A seguir se mostram os modelos geométricos das cinco litologias:

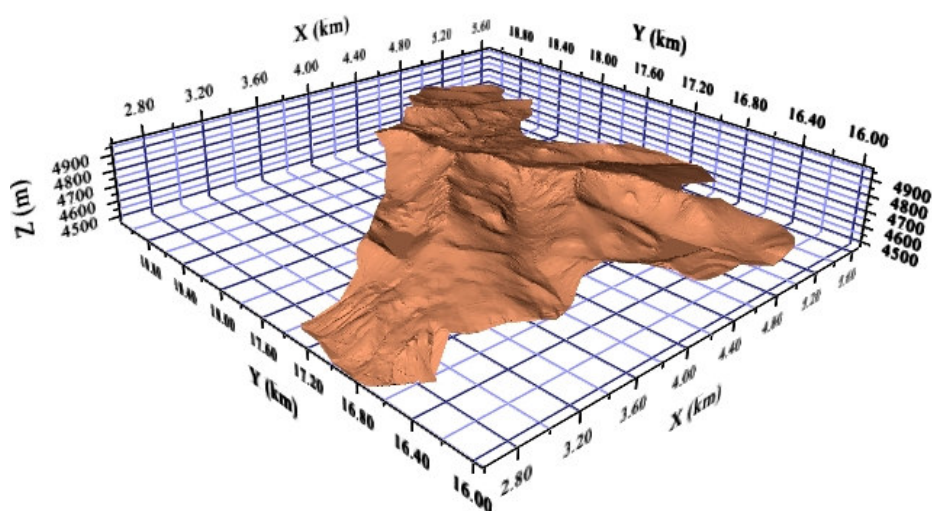


Figura 5-8 Topografia 3D da área de produção.

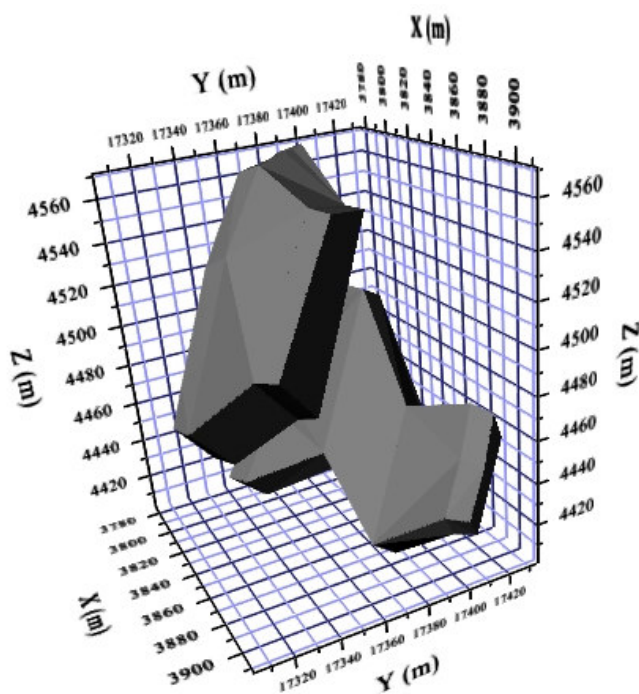


Figura 5-9 Modelo geológico AGV.

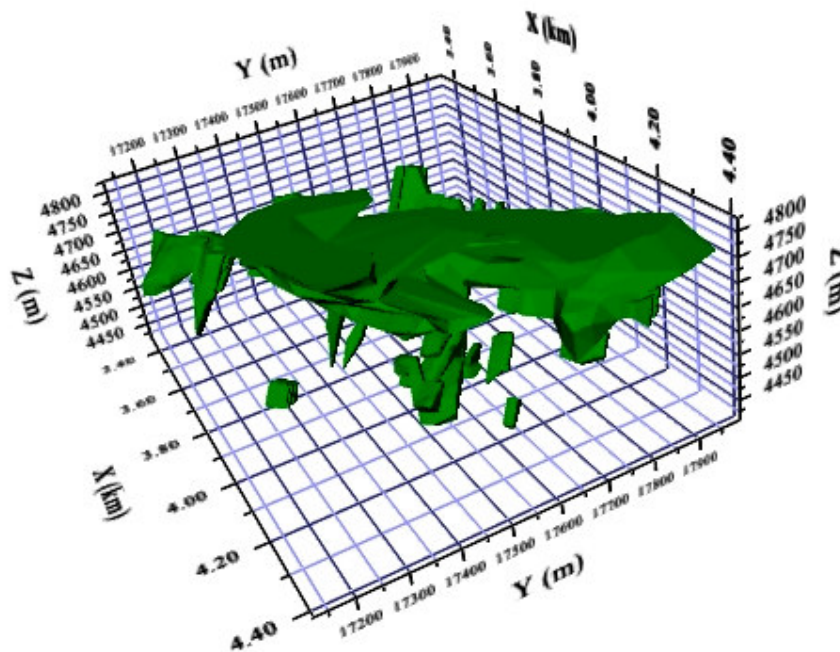


Figura 5-10 Modelo geológico ANDPORF.

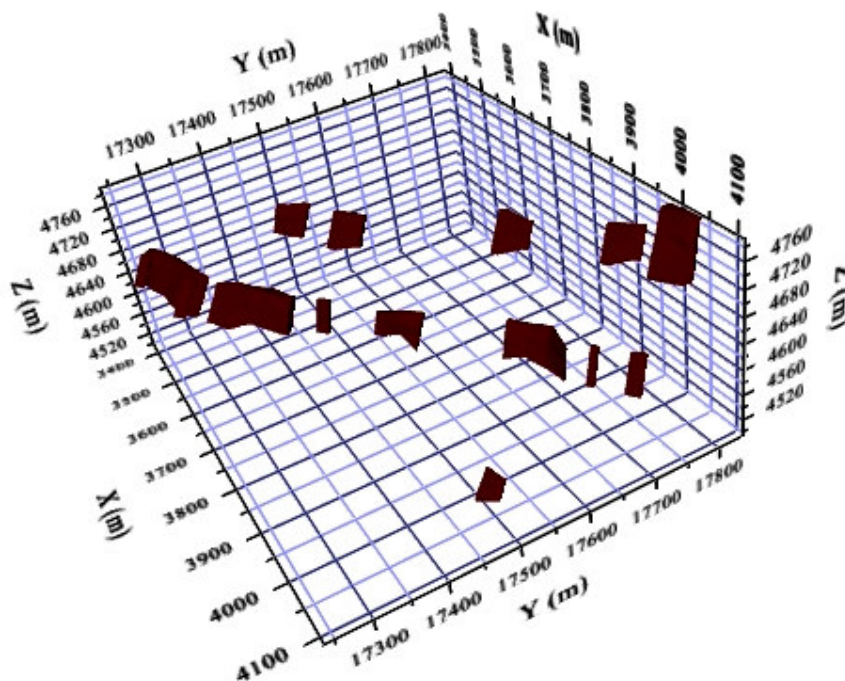


Figura 5-11 Modelo geológico BX.

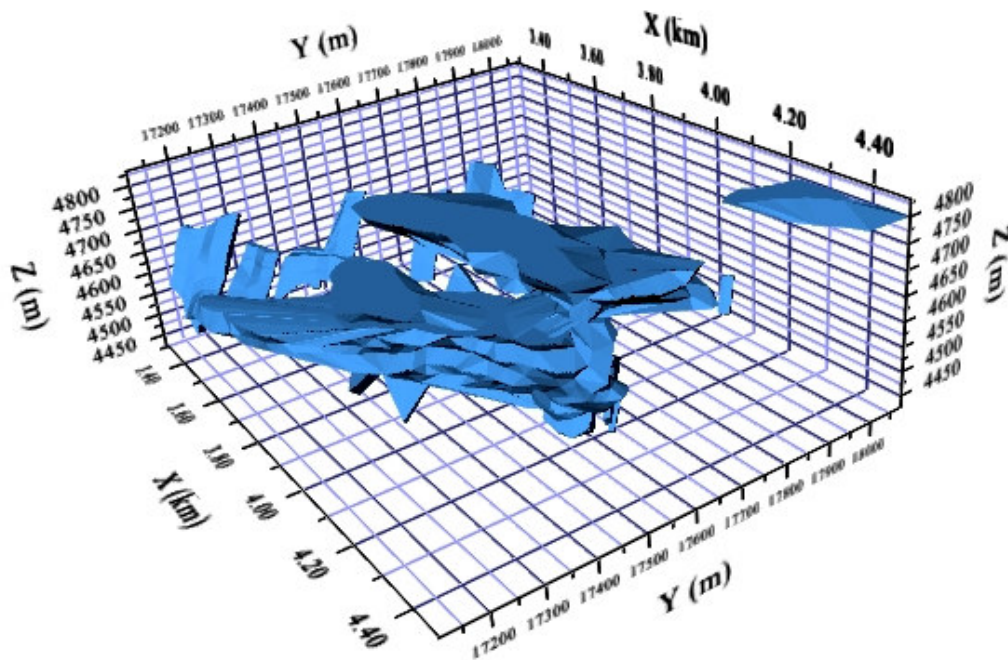


Figura 5-12 Modelo geológico TBLP.

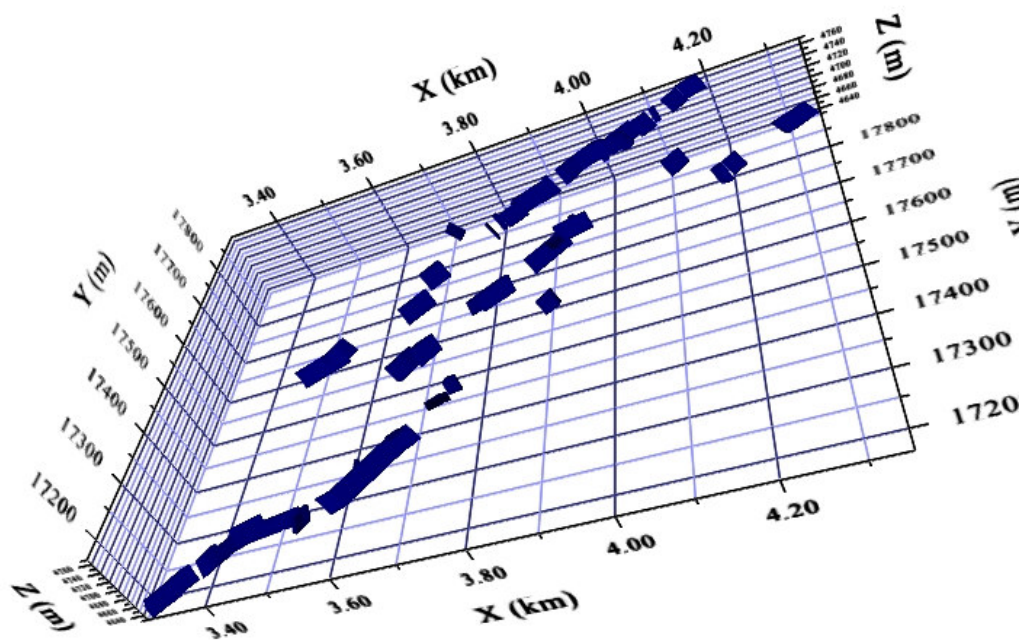


Figura 5-13 Modelo geológico das zonas de falha do veio Animas.

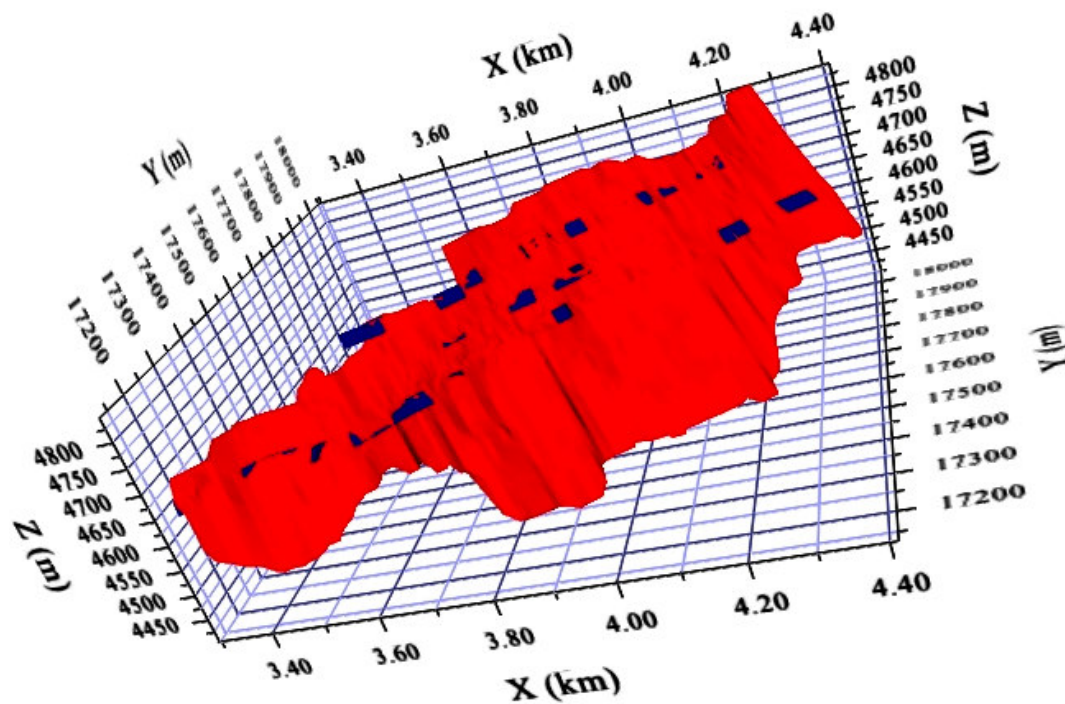


Figura 5-14 Modelo geológico V e suas zonas de falha.

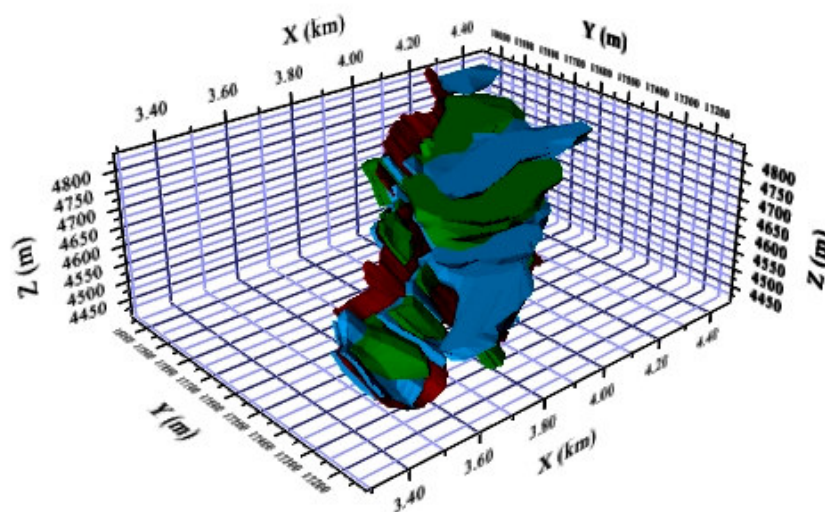


Figura 5-15 Todos os modelos geológicos.

A Figura 5-14 mostra o veio Animas (cor vermelho) e suas zonas de falha (cor Azul).

5.1.2. Modelagem Numérica

Nesta etapa do trabalho utilizaremos o pacote **ISATIS V7**, ele foi desenvolvido por Geovariances na França. A principal vantagem são as múltiplas ferramentas estatísticas e geoestatísticas. Uma grande desvantagem é que o pacote não permite realizar a modelagem geológica tridimensional de um depósito mineral.

5.1.2.1. Regularização

A regularização realizou-se a partir dos dados originais a uma distancia de 1,5 metros.

As seguintes figuras mostram as posições de cada compósito por tipo de rocha. No momento de fazer regularização das amostras só são consideradas aquelas que têm teores de RQD. As amostras que não tem este valor e somente tem o código litológico serão excluídas da regularização.

Tabela 5-5 Número de amostras regularizadas por código litológico.

Características litológicas	Códigos litológicos	Número de amostras regularizadas
Conglomerado vulcânico	AGV	58
Andesito porfiritico	ANDPORF	1979
Brecha	BX	38
Tufos vulcânicos	TBLP	1748
Veio Animas	V	446

A Figura 5-16, Figura 5-17, Figura 5-18, Figura 5-19 e Figura 5-20 mostram a distribuição espacial das amostras regularizadas

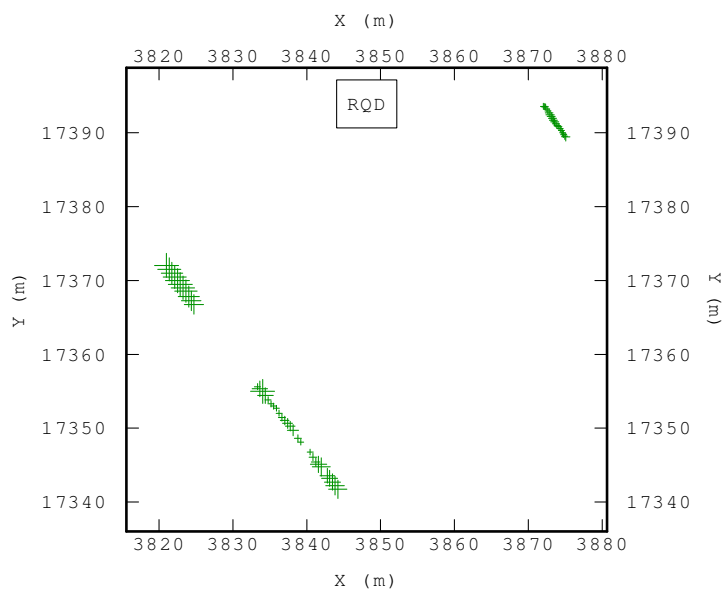


Figura 5-16 Amostras regularizadas da litologia AGV.

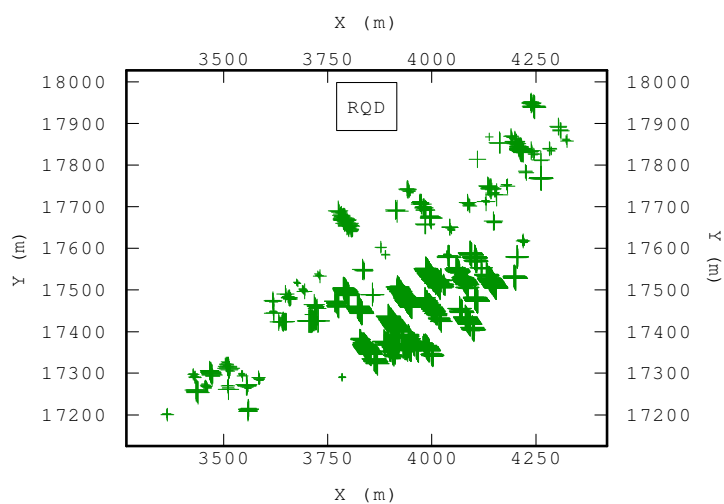


Figura 5-17 Amostras regularizadas da litologia ANDPORF.

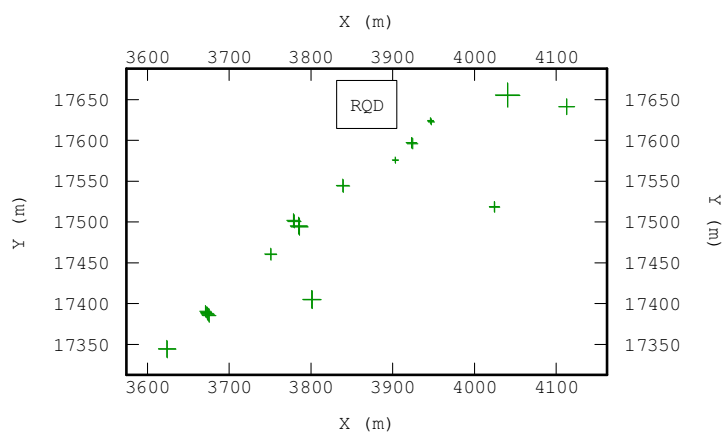


Figura 5-18 Amostras regularizadas da litologia BX.

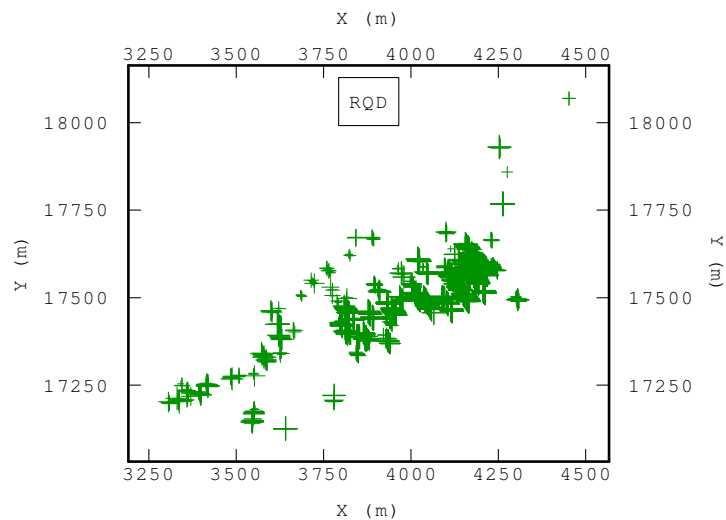


Figura 5-19 Amostras regularizadas da litologia TBLP.

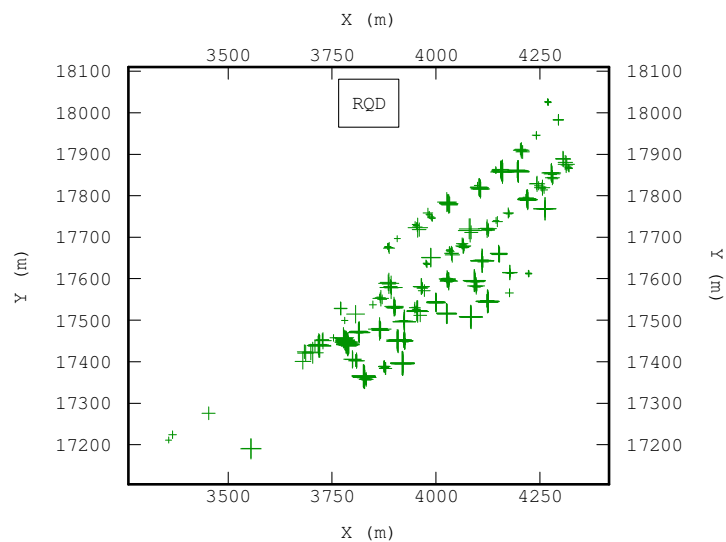


Figura 5-20 Amostras regularizadas da litologia V.

5.1.2.2. Modelo de blocos

O bloco unitário que utilizaremos para as litologias com códigos AGV, ANDPORF, BX e TBLP têm as seguintes dimensões: 10 metros na direção vertical, 6 metros na direção Norte-Sul e 6 metros na direção Leste-Oeste. Devido a que estas litologias são rochas encaixantes e não contêm mineralização.

O bloco unitário ortogonal que utilizaremos para a litologia com código V tem as seguintes dimensões: 6 metros na direção vertical, 3 metros na direção Norte-Sul e 3 metros na direção Leste-Oeste. Devido a que esta litologia é econômica e precisa de um maior detalhe, desta maneira o bloco unitário representara melhor as irregularidades do contorno.

O tamanho do bloco foi eleito devido ao avanço diário de extração de minério que é de 3 metros.

Ao inicio criamos um modelo protótipo, este modelo é um paralelepípedo de grande tamanho e, cujo objetivo é cobrir todo o volume dos sólidos geológicos. Nas tabelas desde a

Tabela 5-6 até a Tabela 5-10 mostram-se as características de cada um dos modelos protótipo.

Tabela 5-6 Características do modelo protótipo da litologia AGV.

COORDENADA	MÍNIMO	MÁXIMO	DISTÂNCIA (m)	TAMANHO DO BLOCO (m)	NÚMERO DE BLOCOS
X	3775	3915	140	6	23
Y	17302	17434	132	6	22
Z	4400	4570	170	10	17
TOTAL BLOCOS					8727

Tabela 5-7 Características do modelo protótipo da litologia ANDPORF.

COORDENADA	MÍNIMO	MÁXIMO	DISTÂNCIA (m)	TAMANHO DO BLOCO (m)	NÚMERO DE BLOCOS
X	3330	4420	1090	6	182
Y	17120	18000	880	6	147
Z	4400	4840	440	10	44
TOTAL BLOCOS					1172356

Tabela 5-8 Características do modelo protótipo da litologia BX.

COORDENADA	MÍNIMO	MÁXIMO	DISTÂNCIA (m)	TAMANHO DO BLOCO (m)	NÚMERO DE BLOCOS
X	3377	4112	735	6	123
Y	17236	17838	602	6	100
Z	4493	4791	298	10	30
TOTAL BLOCOS					366267

Tabela 5-9 Características do modelo protótipo da litologia TBLP.

COORDENADA	MÍNIMO	MÁXIMO	DISTÂNCIA (m)	TAMANHO DO BLOCO (m)	NÚMERO DE BLOCOS
X	3290	4480	1190	6	198
Y	17109	18076	967	6	161
Z	4426	4833	407	10	41
TOTAL BLOCOS					1300964

Tabela 5-10 Características do modelo protótipo da litologia V.

COORDENADA	MÍNIMO	MÁXIMO	DISTÂNCIA (m)	TAMANHO DO BLOCO (m)	NÚMERO DE BLOCOS
X	3295	4415	1120	3	373
Y	17130	18060	930	3	310
Z	4405	4845	440	6	73
TOTAL BLOCOS					8487111

A partir destes modelos selecionou-se o volume exato de cada um dos sólidos geológico, nos quais serão feitos os processos de estimativa e simulação geoestatística.

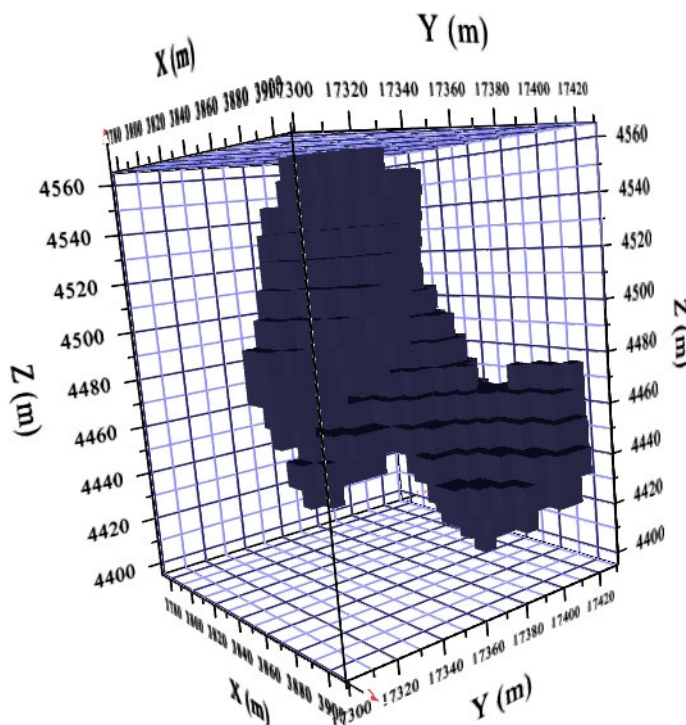


Figura 5-21 Malha de blocos litologia AGV.

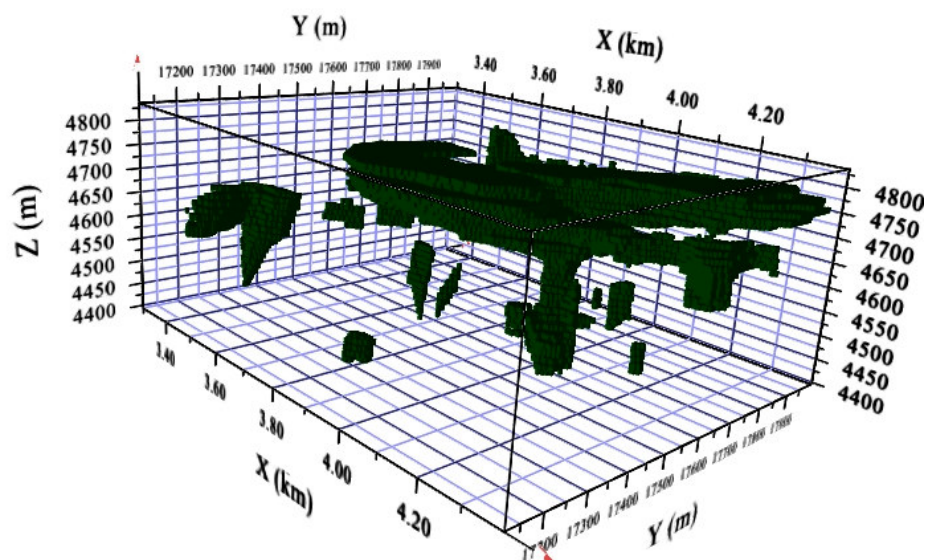


Figura 5-22 Malha de blocos litologia ANDPORA.

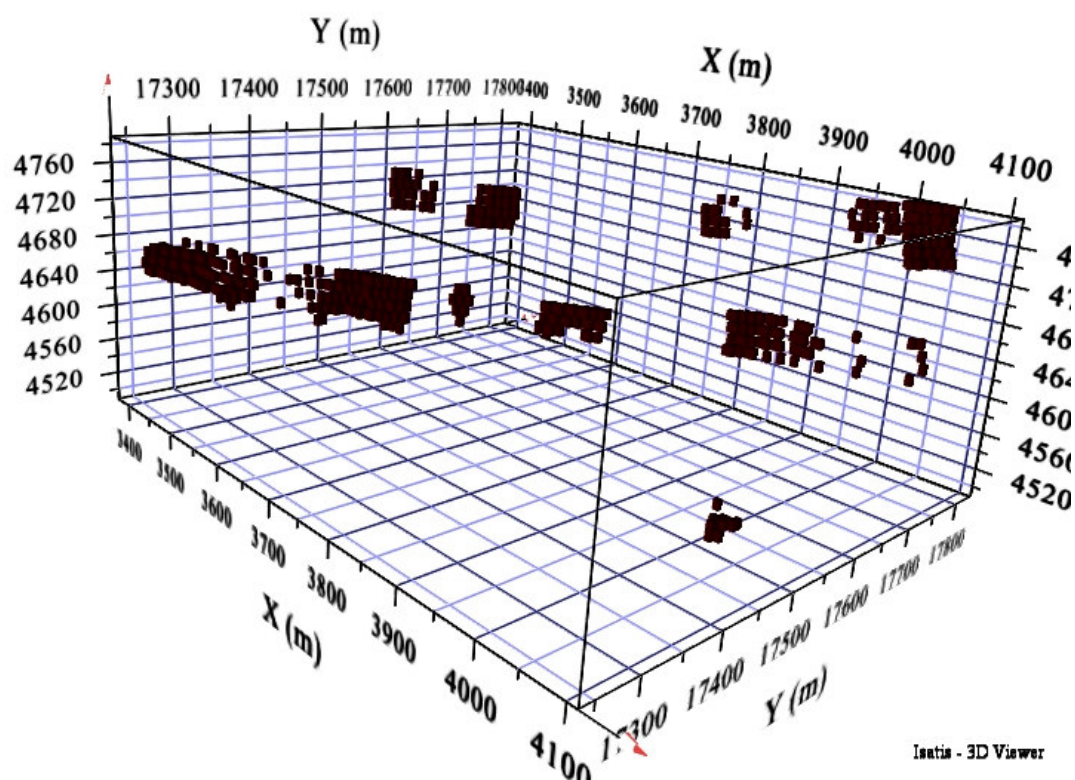


Figura 5-23 Malha de blocos litologia BX.

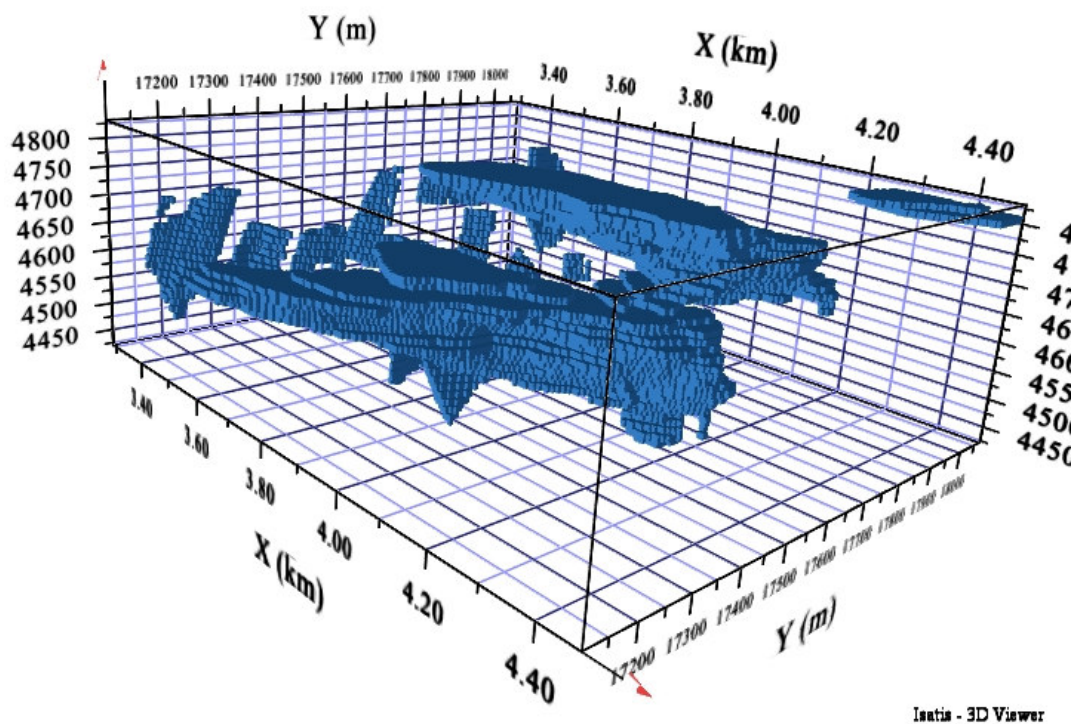


Figura 5-24 Malha de blocos litologia TBLP.

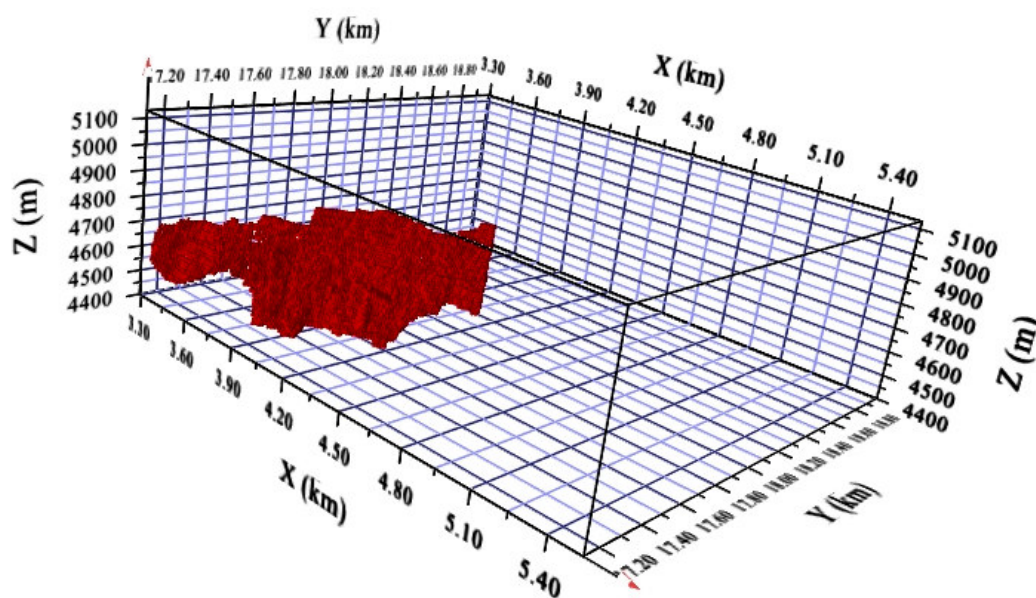


Figura 5-25 Malha de blocos litologia V.

5.2. Estatística básica

5.2.1. Estatística descritiva

A Tabela 5-11 mostra as principais medidas estatísticas da variável RQD das amostras regularizadas por código litológico.

Tabela 5-11 Estatística descritiva das amostras regularizadas por código litológico.

	VARIÁVEL	AMOSTRAS	MINIMO	MAXIMO	MEDIA	DESV. PADRAO	VARIANCIA	CURTOSE
AGV	RQD	58	0.00	90.32	28.33	33.15	1098.79	1.93
ANDPDRF	RQD	1979	0.00	100.00	69.86	29.14	849.36	2.90
BX	RQD	38	0.00	77.15	30.14	18.46	340.92	3.38
TBLP	RQD	1748	0.00	100.00	72.23	29.00	840.92	3.03
V	RQD	446	0.00	100.00	42.92	30.58	935.12	1.82

As medidas de dispersão e de forma são diferentes em cada código litológico. A curtose indica que as amostras regularizadas dos códigos litológicos AGV, ANDPDRF e V apresentam uma distribuição platicúrtica e as amostras regularizadas de tipo litológico TBLP e BX apresentam uma distribuição leptocúrtica.

5.2.2. Estatística básica das amostras regularizadas originais e desagregadas

Analizou-se as amostras regularizadas originais e as desagregadas de cada litologia. A desagregação foi feita com uma janela móbil igual o tamanho de cada bloco unitário.

A Figura 5-27 até Figura 5-30 mostram os histogramas das amostras regularizadas originais e desagregadas com uma janela móbil de 6 metros no eixo X (Leste-Oeste), 6 metros no eixo Y (Norte-Sul) e 10 metros na direção vertical.

A Figura 5-30 mostra o histograma das amostras regularizadas originais e das amostras regularizadas desagregadas com uma janela móbil de 3 metros no eixo X (Leste-Oeste), 3 metros no eixo Y (Norte-Sul) e 6 metros na direção vertical.

Como podemos observar a média e o desvio padrão das amostras regularizadas originais e desagregadas varia muito pouco, o que significa que não existe um agrupamento preferencial que possa dar um bias à estimativa. Por isso, os cálculos dos variogramas experimentais foram elaborados com compósitos originais.

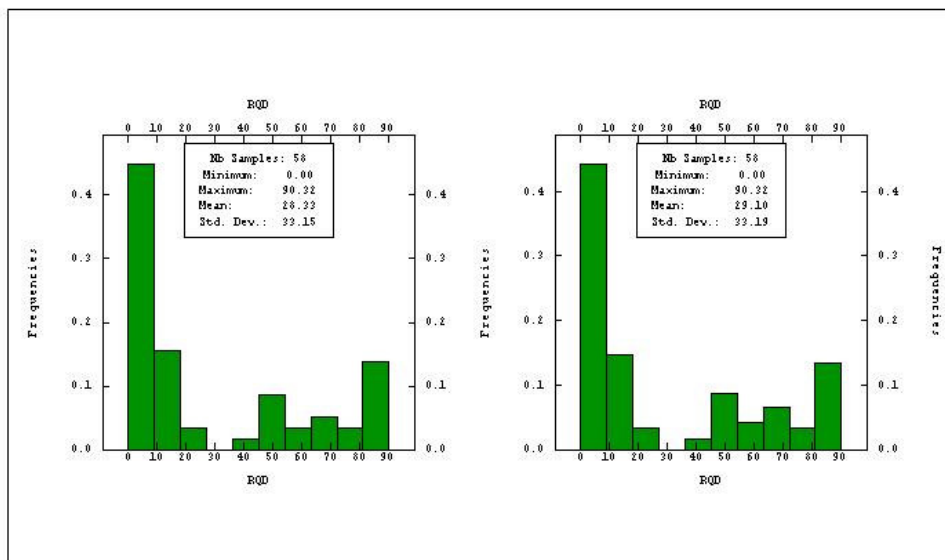


Figura 5-26 Histograma das amostras regularizadas originais e desagregadas da litologia AGV

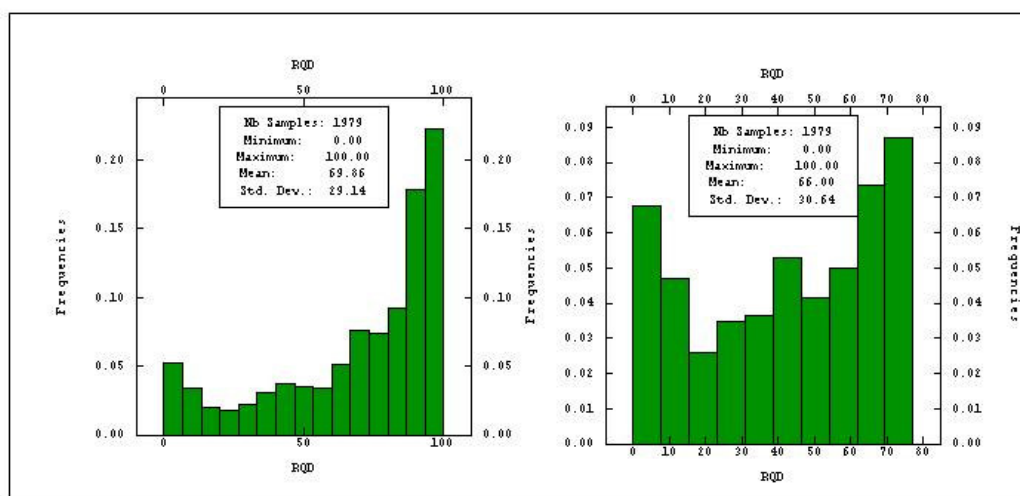


Figura 5-27 Histograma das amostras regularizadas originais e desagregadas da litologia ANDPORF

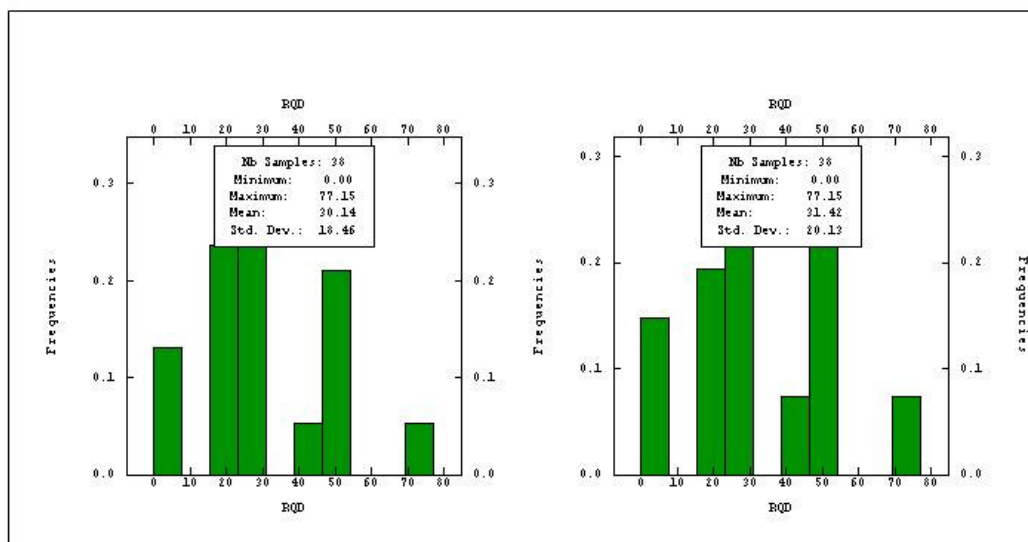


Figura 5-28 Histograma das amostras regularizadas originais e desagregadas da litologia BX

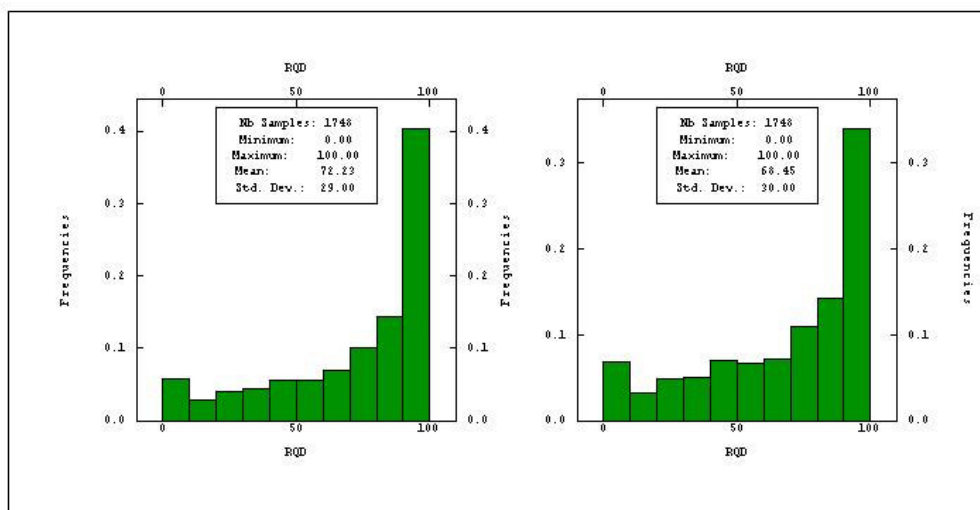


Figura 5-29 Histograma das amostras regularizadas originais e desagregadas da litologia TBLP

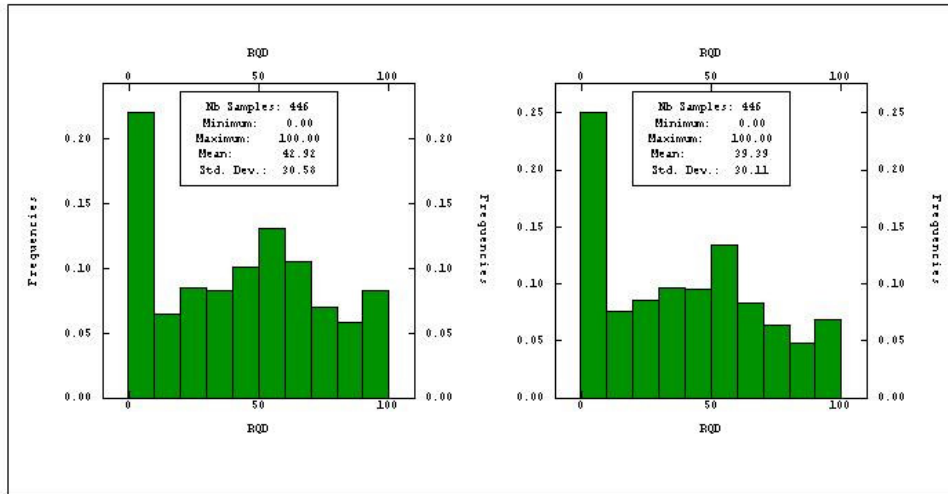


Figura 5-30 Histograma das amostras regularizadas originais e desagregadas da litologia V

Podemos observar que em quase todas as litologias os valores de RQD que apresentam maior frequência relativa estão por acima de 85 ou perto de 10.

5.2.3.

Transformação a uma variável normalmente distribuída por litologia

O problema de não ter uma distribuição normal nos dados originais pode ser solucionada com uma transformação desses dados. A transformação deve dar como resultado uma distribuição normal com media 0 e desvio padrão 1.

Esta transformação não é difícil conceptualmente, os teores se transformam baseando-se na distribuição acumulativa dos dados originais e a distribuição normal. Os dados se transformam em base ao percentil equivalente. Por exemplo, o percentil número 10 dos dados originais determina-se no percentil número 10 da distribuição normal. Graficamente esta distribuição pode ser vista graficando à distribuição acumulativa dos dados originais e da variável normal gaussiana.

Tabela 5-12 Comparativa dos valores originais e gaussianos.

	DADOS ORIGINAIS		DADOS GAUSSIANOS			
	MINIMO	MAXIMO	MINIMO	MAXIMO	MEDIA	DESVIO PADRAO
AGV	0.00	90.32	-2.21	2.21	0.00	0.98
ANDPORF	0.00	100.00	-3.35	3.35	0.00	1.00
BX	0.00	77.15	-2.04	2.04	0.00	0.97
TBLP	0.00	100.00	-3.31	3.31	0.00	1.00
V	0.00	100.00	-2.91	2.91	0.00	1.00

Depois de realizar a simulação os dados gaussianos são transformados através da função inversa em seus valores originais.

5.3. Variografia

É a principal ferramenta da geoestatística e serve para medir o grau de continuidade de uma variável em estudo.

5.3.1. Calculo dos Variogramas experimentais por litologia

Calculou-se variogramas experimentais omnidirecionais e direcionais por cada um dos tipos de litologia.

5.3.1.1. Variograma experimental omnidirecional

Os variogramas omnidirecionais foram calculados com os seguintes parâmetros:

Tabela 5-13 Parâmetros utilizados para o calculo do variograma experimental.

Valor do Lag	3 metros
Número de Lags	40
Tolerância (Lag)	0.5

5.3.1.2.

Variograma experimental direcional

Somente foram calculados os variogramas experimentais das litologias ANDPORF, TBLP E V, já que estas possuem mais de 400 amostras, o que permite um bom cálculo dos variogramas direcionais.

O variograma experimental direcional foi calculado em três direções, elas são determinadas pelas características do veio Animas, já que o parâmetro RQD tem muito relacionamento com as características geológico-estruturais do depósito.

A Tabela 5-15 mostra as três direções onde foram calculados os variogramas. A primeira direção é igual à direção do veio Animas, a segunda é igual a mergulho do veio Animas e a terceira direção é perpendicular às duas direções anteriores. A Figura 5-31 mostra o vetor U que tem uma direção N 40° L.

Tabela 5-14 Parâmetros utilizados para o cálculo dos variogramas direcionais.

Valor do Lag	3 metros
Número de Lags	40
Tolerância (Lag)	0.5
Tolerância angular (Graus)	45

Tabela 5-15 Atitude dos variogramas direcionais.

Número de variograma direcional	Azimut	Mergulho
1	N40°	0°
2	N130°	(-)45°
3	N130°	45°

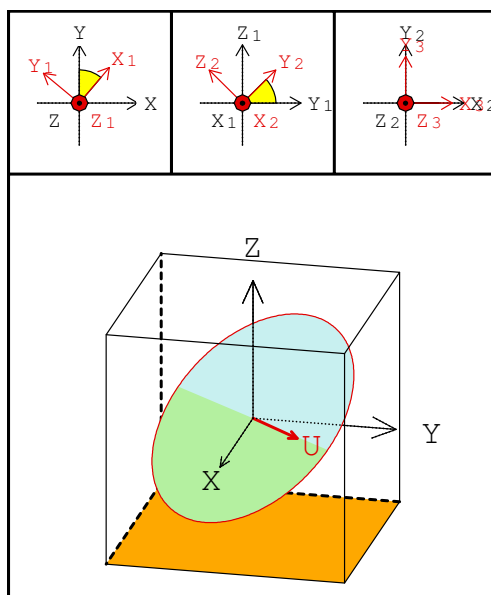


Figura 5-31 Rotação de eixos – variograma direcional.

5.3.2.

Modelagem dos variogramas experimentais por litologia

5.3.2.1.

Modelagem dos variogramas experimentais omnidirecionais

Modelamos os variogramas omnidirecionais para obter o valor do efeito pepita de cada litologia.

Tabela 5-16 Modelos variográficos dos variogramas omnidirecionais - Dados originais.

Código litológico	Efeito pepita	Modelo 1	Patamar 1	Alcance 1	Modelo 2	Patamar 2	Alcance 2
AGV	162	Gaussiano	710	50	Esférico	253	65
ANDPORF	80	Exponencial	400	35	Esférico	150	80
BX	0	Gaussiano	100	13	Exponencial	120	55
TBLP	90	Esférico	200	10	Gaussiano	300	100
V	100	Esférico	500	10	Esférico	330	35

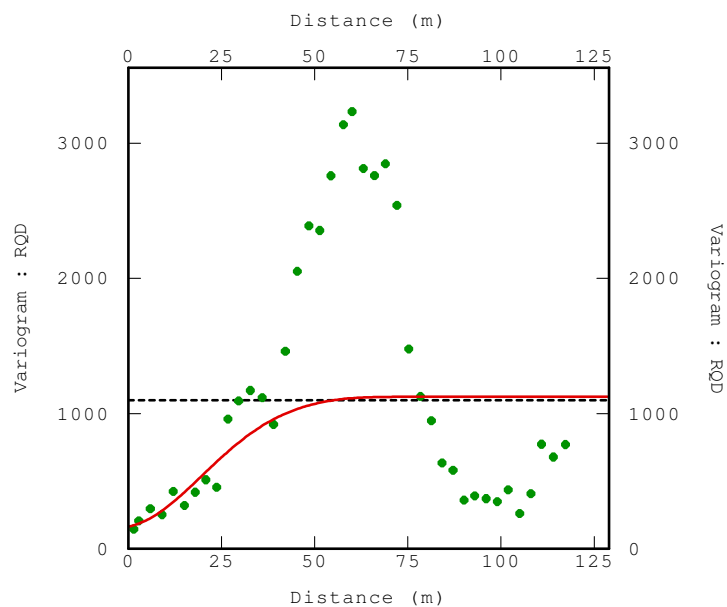


Figura 5-32 Variograma omnidirecional litologia AGV.

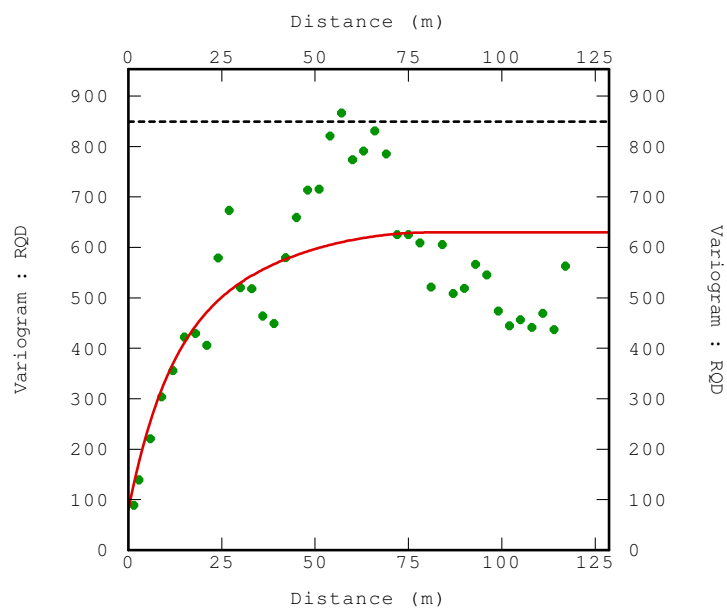


Figura 5-33 Variograma omnidirecional litologia ANDPORG.

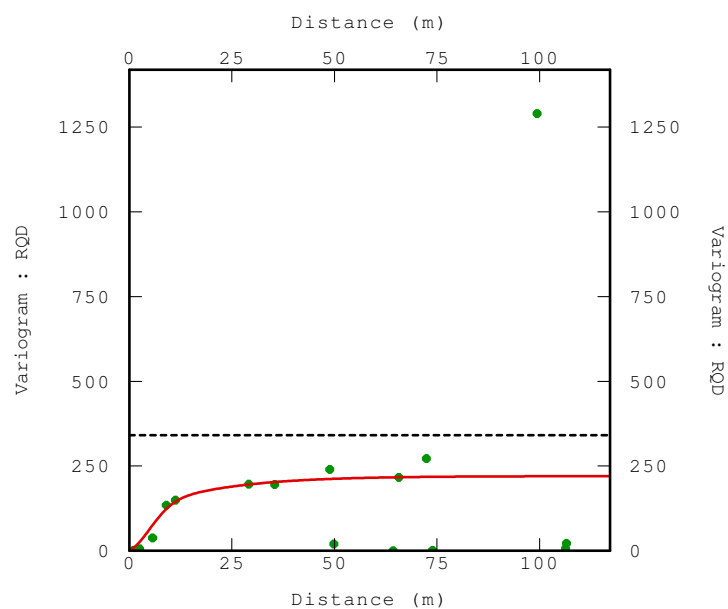


Figura 5-34 Variograma omnidirecional litologia BX.

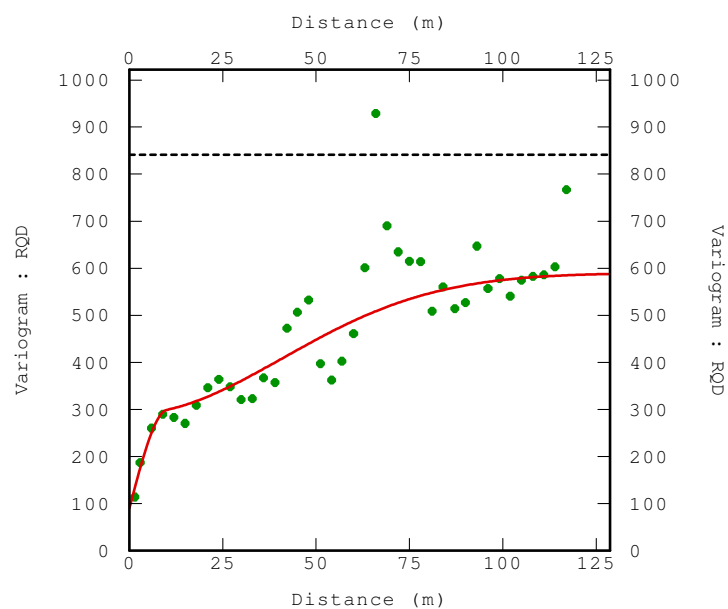


Figura 5-35 Variograma omnidirecional litologia TBLP.

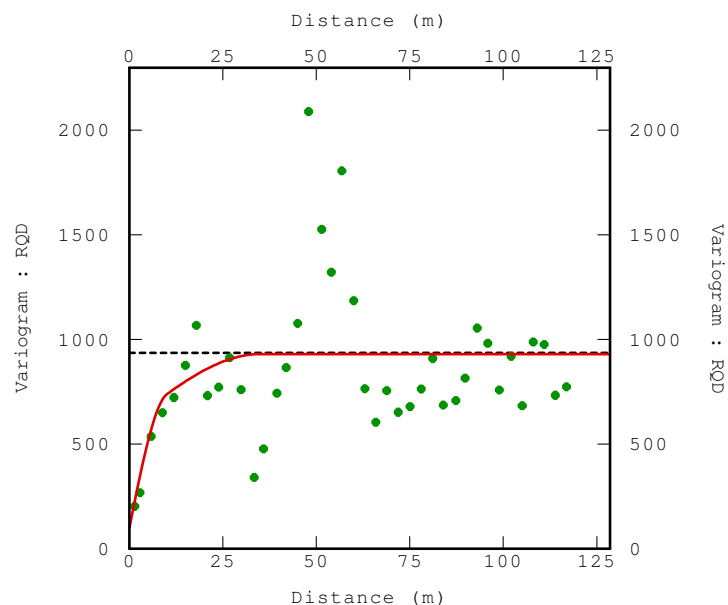


Figura 5-36 Variograma omnidirecional litologia V.

As seguintes figuras mostram os variogramas omnidirecionais das amostras regularizadas transformadas.

A Tabela 5-17 mostra as características principais da modelagem variográfica omnidirecional, este foi elaborado a partir do variogramas experimentais calculado com as amostras regularizadas transformadas.

Tabela 5-17 Modelos variográficos dos variogramas omnidirecionais - Dados transformados.

Código litológico	Efeito pepita	Modelo	Patamar 1	Alcance	Modelo	Patamar 2	Alcance
AGV	0,1	Gaussiano	0,5	5	Gaussiano	0,38	60
ANDPORF	0,1	Exponencial	0,42	30	Esférico	0,25	60
BX	0	Gaussiano	0,2	8	Esférico	0,25	40
TBLP	0,1	Gaussiano	0,3	8	Exponencial	0,32	70
V	0,2	Gaussiano	0,4	7	Esférico	0,2	0 2

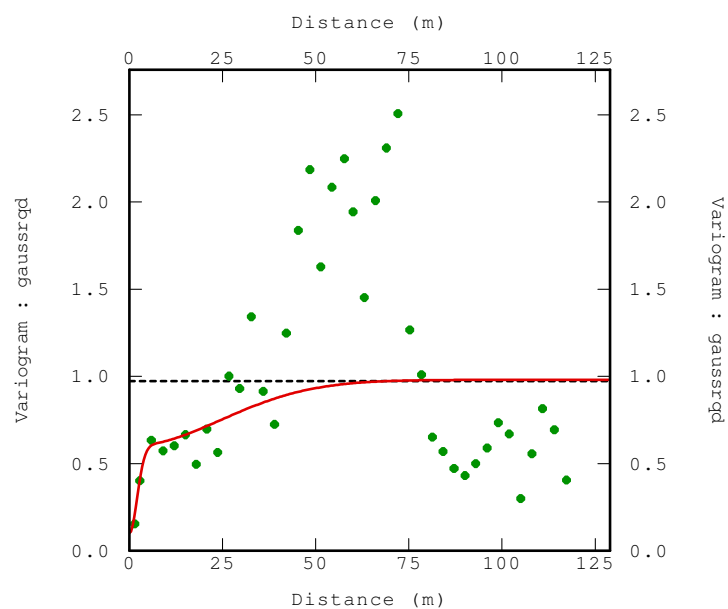


Figura 5-37 Variograma omnidirecional litologia AGV.

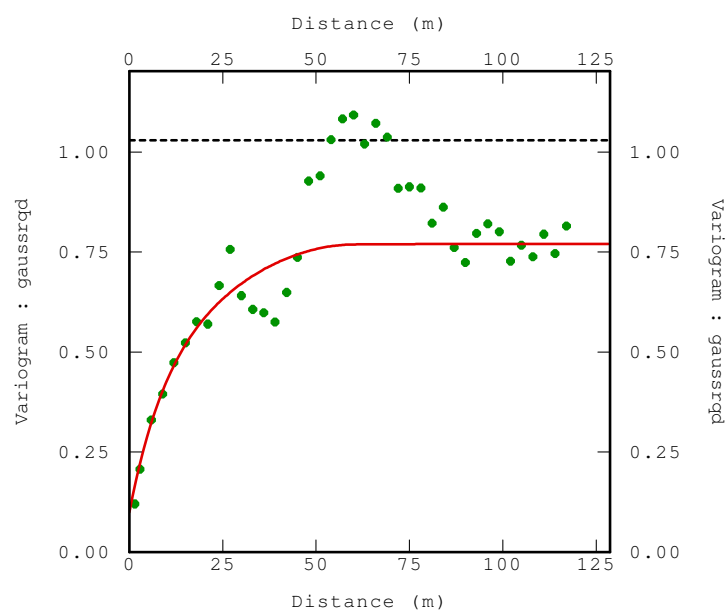


Figura 5-38 Variograma omnidirecional litologia ANDPORA.

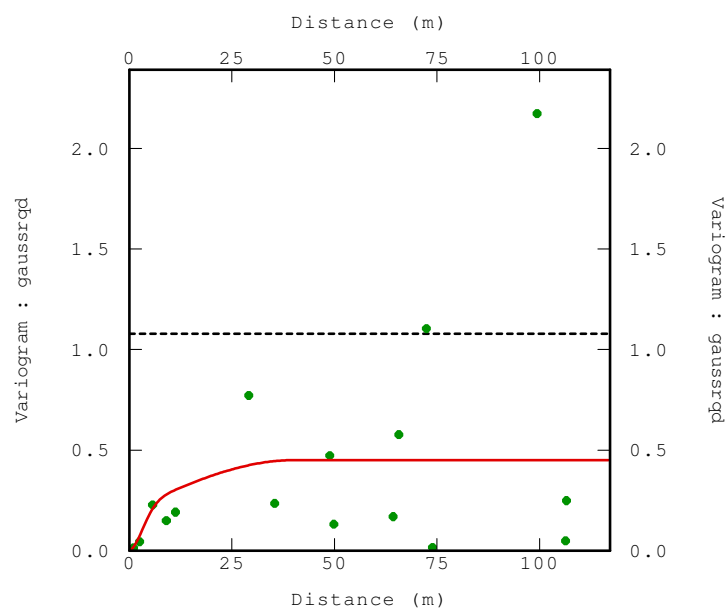


Figura 5-39 Variograma omnidirecional litologia BX.

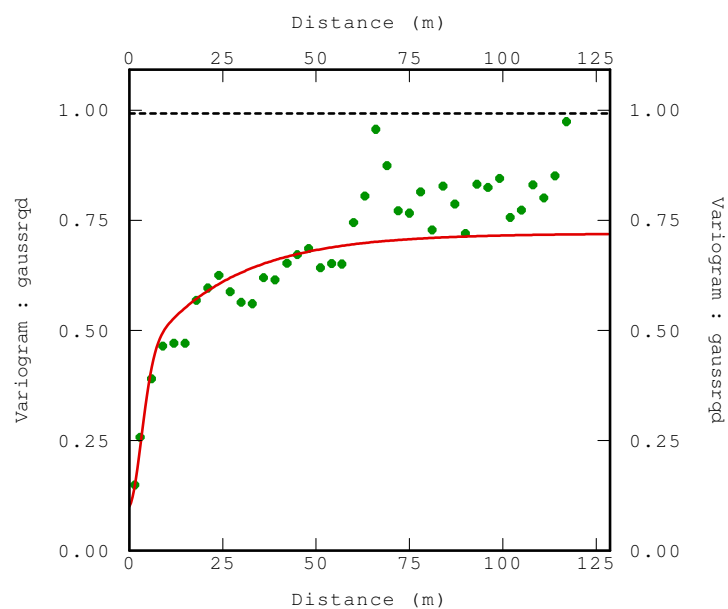


Figura 5-40 Variograma omnidirecional litologia TBLP.

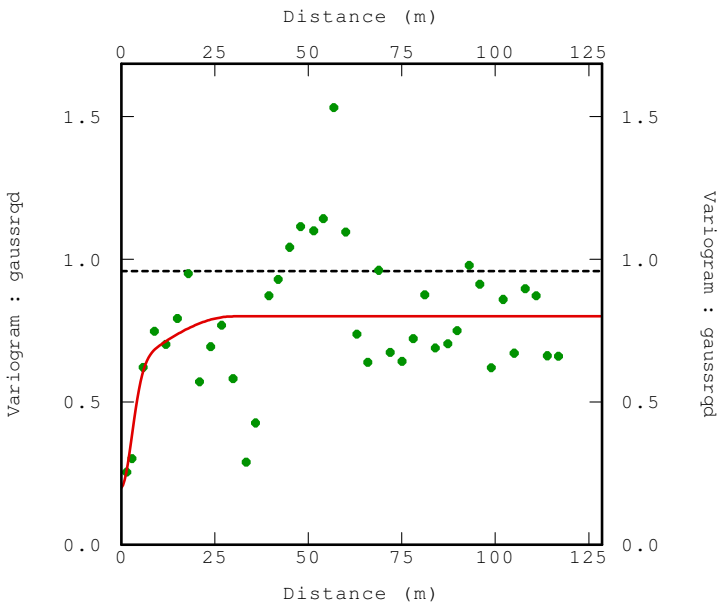


Figura 5-41 Variograma omnidirecional litologia V.

5.3.2.2. Modelagem dos variogramas experimentais direcionais

Os modelos dos variogramas direcionais consideram o efeito pepita encontrado nos variogramas omnidirecionais.

A Tabela 5-18 mostra as características principais da modelagem variográfica dos variogramas experimentais direcionais calculados a partir das amostras regularizadas.

Tabela 5-18 Modelos variográficos dos variogramas direcionais – Dados originais.

Código litológico	Direção	Efeito pepita	Modelo 1	Patamar 1	Alcance 1	Modelo 2	Patamar 2	Alcance 2
ANDPORF	1	80	Esférico	300	20	Esférico	300	35
	2		Esférico		5	Esférico		15
	3		Esférico		35	Esférico		80
TBLP	1	90	Esférico	200	15	Exponencial	300	30
	2		Esférico		25	Exponencial		35
	3		Esférico		5	Exponencial		65
V	1	100	Esférico	450	15	Esférico	360	30
	2		Esférico		25	Esférico		40
	3		Esférico		10	Esférico		35

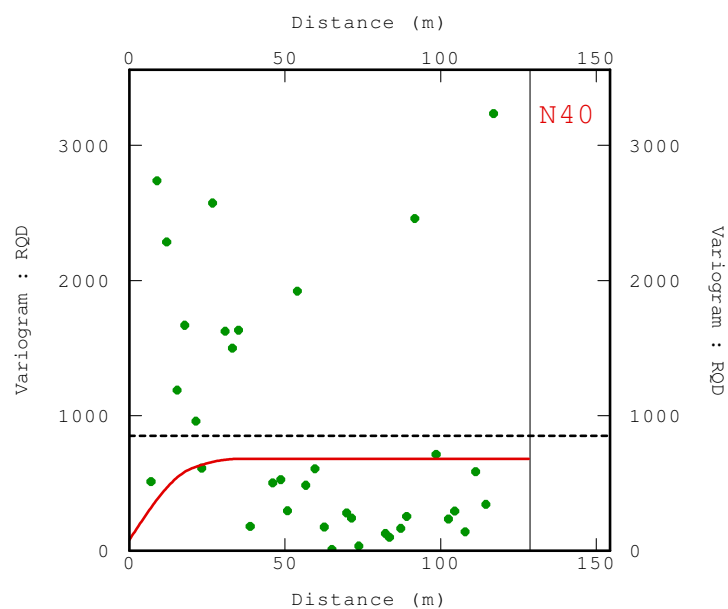


Figura 5-42 Variograma na direção 1 da litologia ANDPORA.

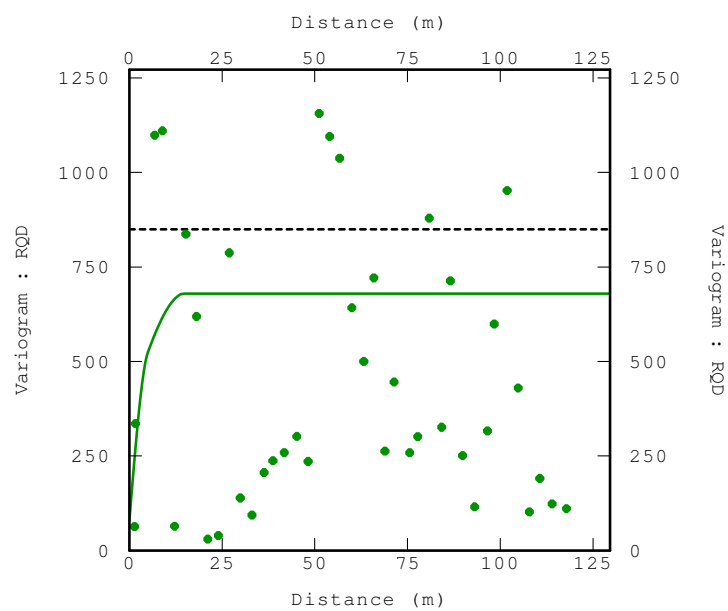


Figura 5-43 Variograma na direção 2 da litologia ANDPORA.

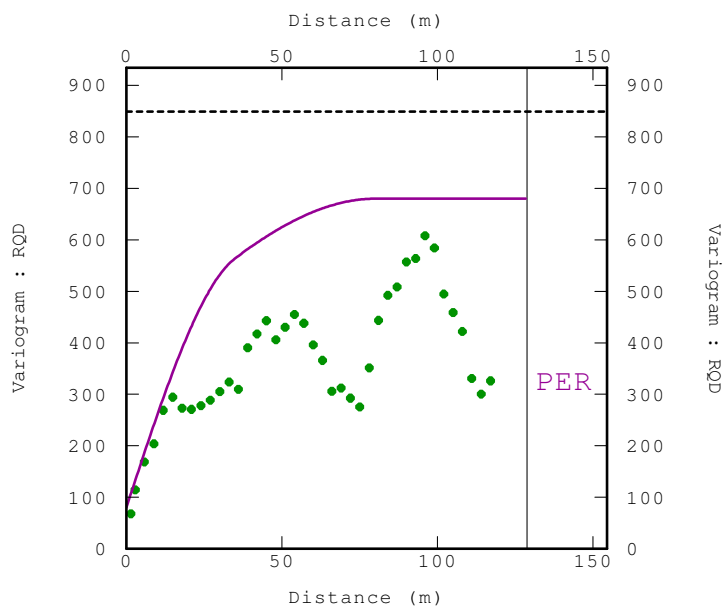


Figura 5-44 Variograma na direção 3 da litologia ANDPORA.

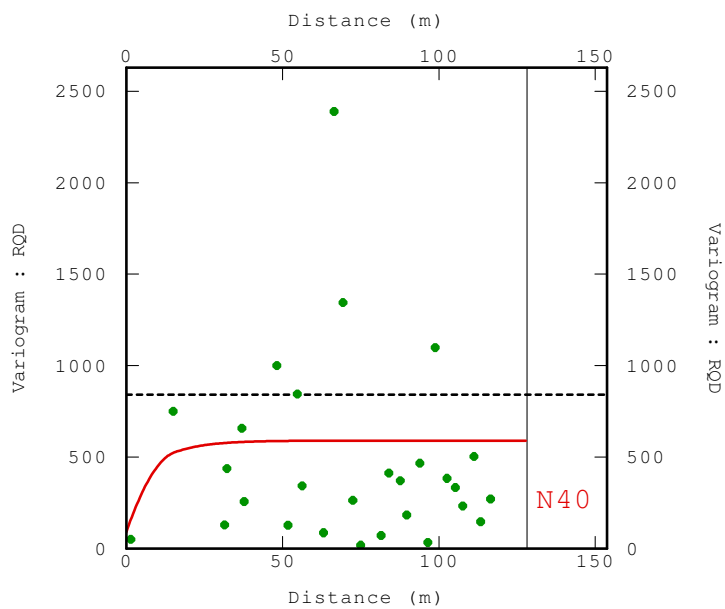


Figura 5-45 Variograma na direção 1 da litologia TBLP.

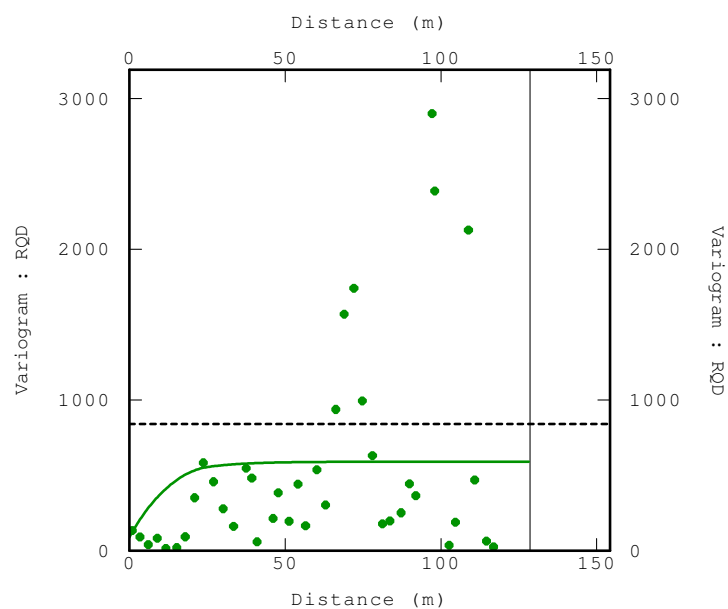


Figura 5-46 Variograma na direção 2 da litologia TBLP.

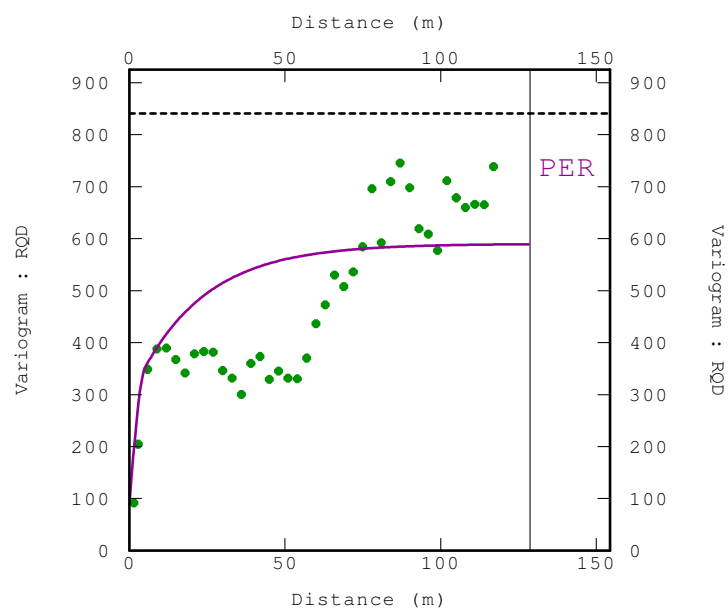


Figura 5-47 Variograma na direção 3 da litologia TBLP.

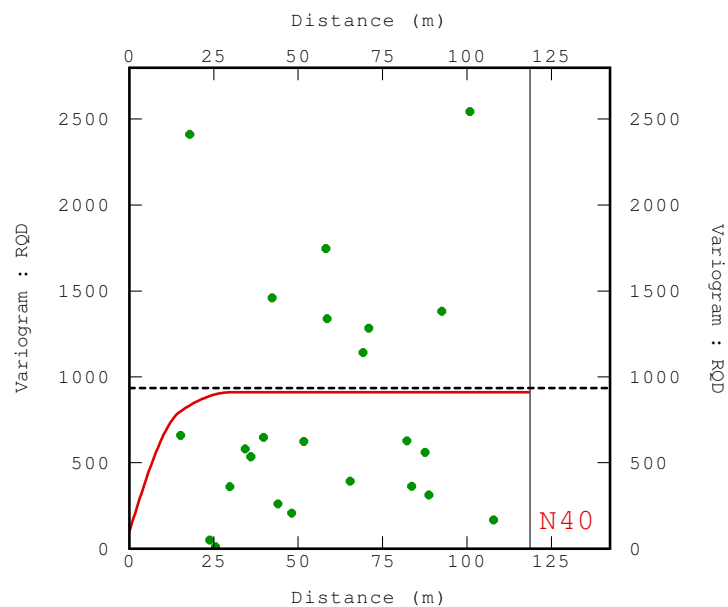


Figura 5-48 Variograma na direção 1 da litologia V.

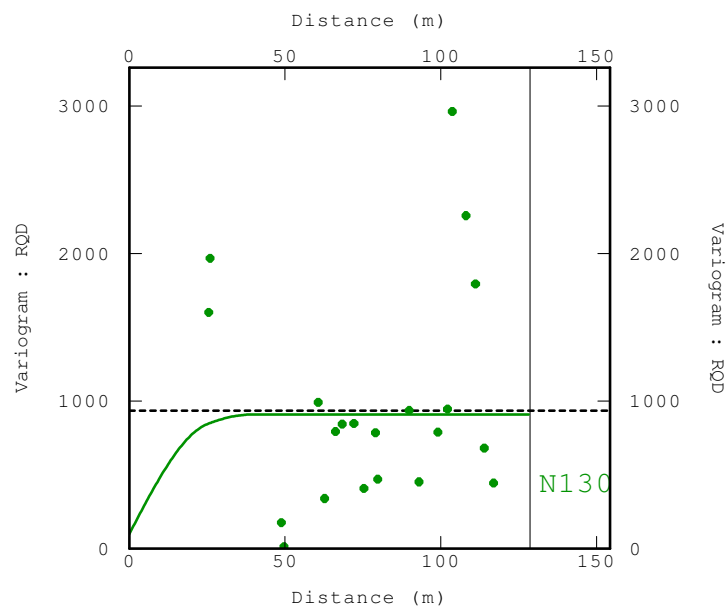


Figura 5-49 Variograma na direção 2 da litologia V.

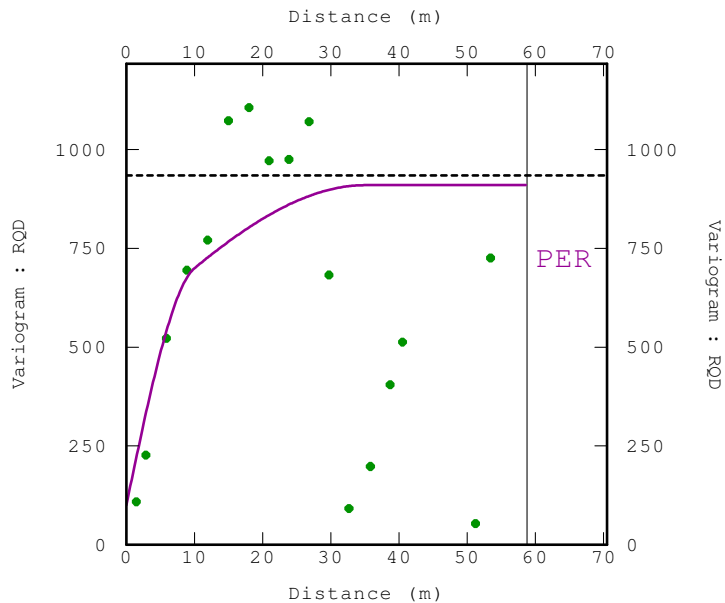


Figura 5-50 Variograma na direção 3 da litologia V.

As seguintes figuras mostram os variogramas direcionais das amostras regularizadas transformadas

A Tabela 5-19 mostra as características principais da modelagem variográfica direcional, este foi elaborado a partir do variogramas experimentais calculado com as amostras regularizadas transformadas.

Tabela 5-19 Modelos variográficos dos variogramas direcionais – Dados transformados.

Código litológico	Direção	Efeito pepita	Modelo	Patamar 1	Alcance	Modelo	Patamar 2	Alcance
ANDPORF	1	0,1	Esférico	0,4	20	Gaussiano	0,1	21
	2		Esférico		20	Gaussiano		21
	3		Esférico		20	Gaussiano		60
TBLP	1	0,1	Gaussiano	0,4	35	Esférico	0,2	36
	2		Gaussiano		15	Esférico		35
	3		Gaussiano		5	Esférico		55
V	1	0,1	Esférico	0,4	15	Esférico	0,5	20
	2		Esférico		25	Esférico		30
	3		Esférico		10	Esférico		34

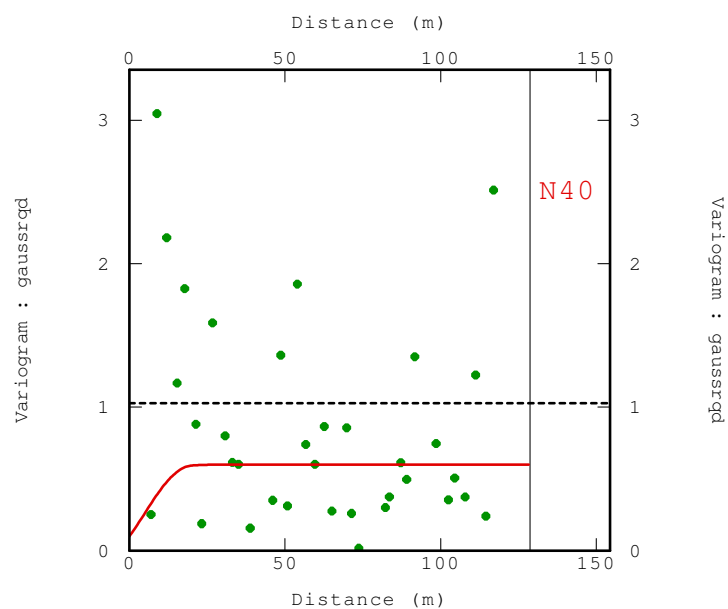


Figura 5-51 Variograma na direção 1 da litologia ANDPORA.

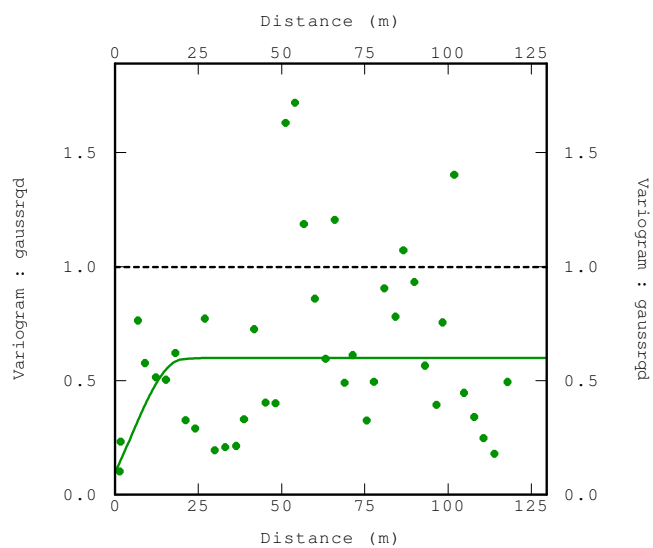


Figura 5-52 Variograma na direção 2 da litologia ANDPORA.

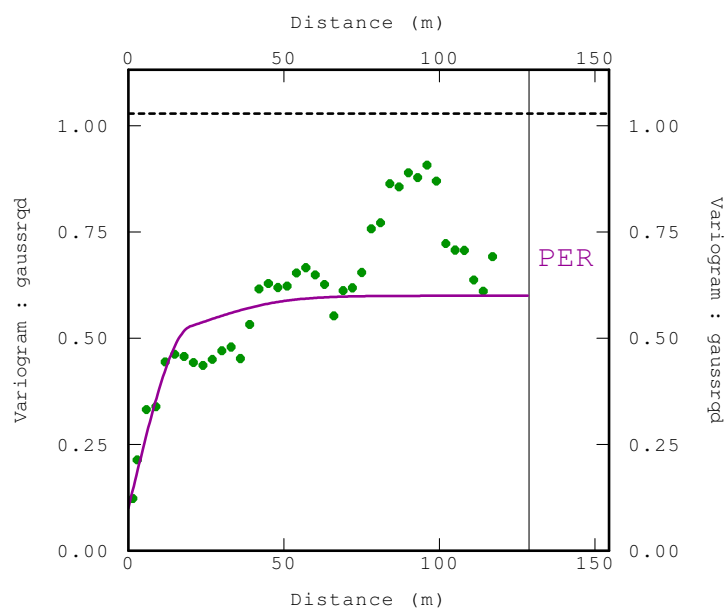


Figura 5-53 Variograma na direção 3 da litologia ANDPORA.

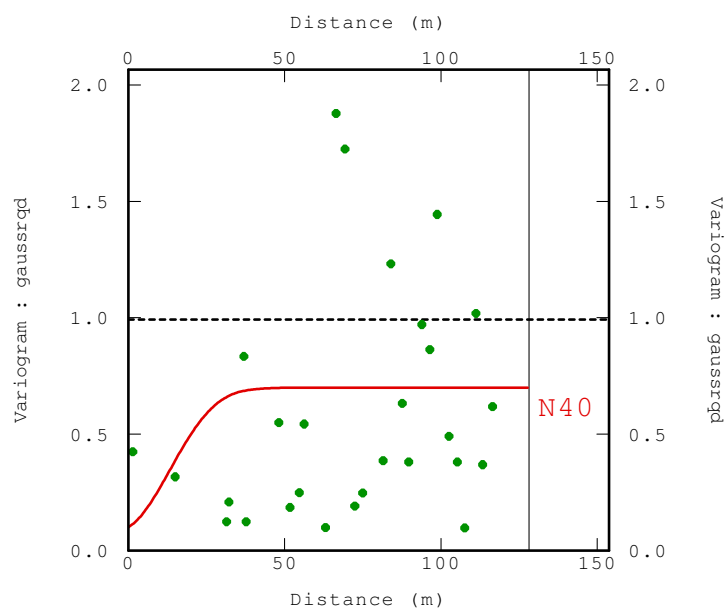


Figura 5-54 Variograma na direção 1 da litologia TBLP.

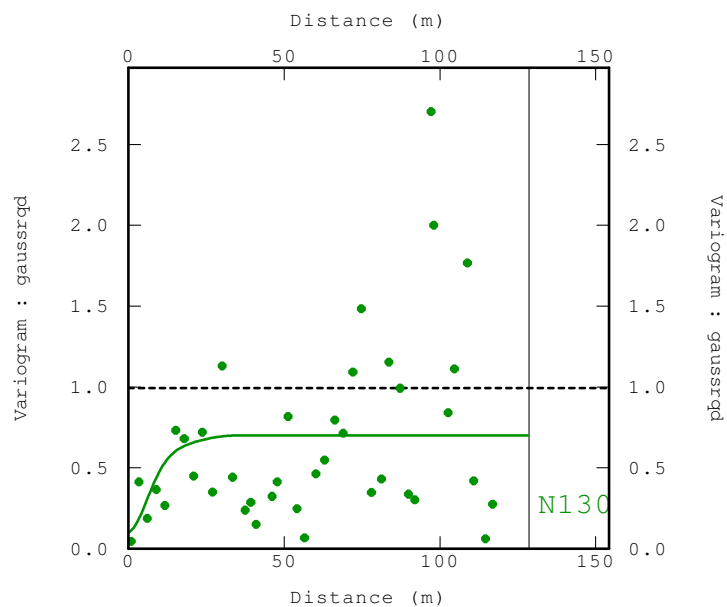


Figura 5-55 Variograma na direção 2 da litologia TBLP.

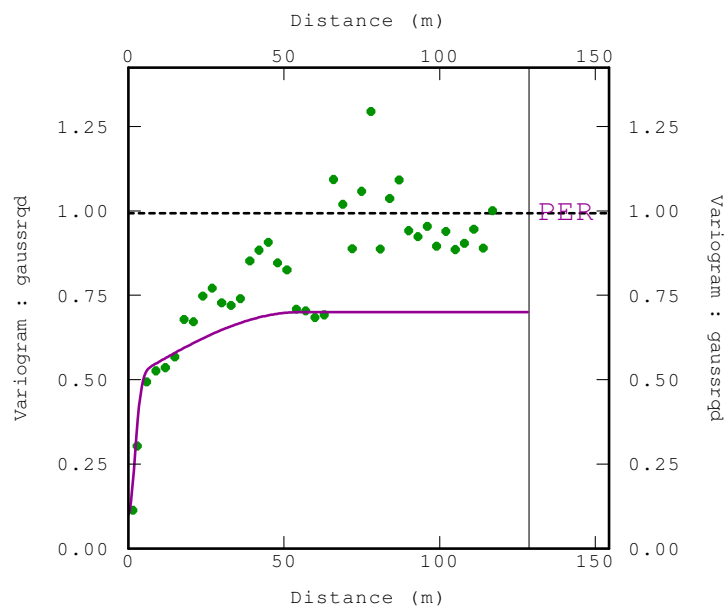


Figura 5-56 Variograma na direção 3 da litologia TBLP.

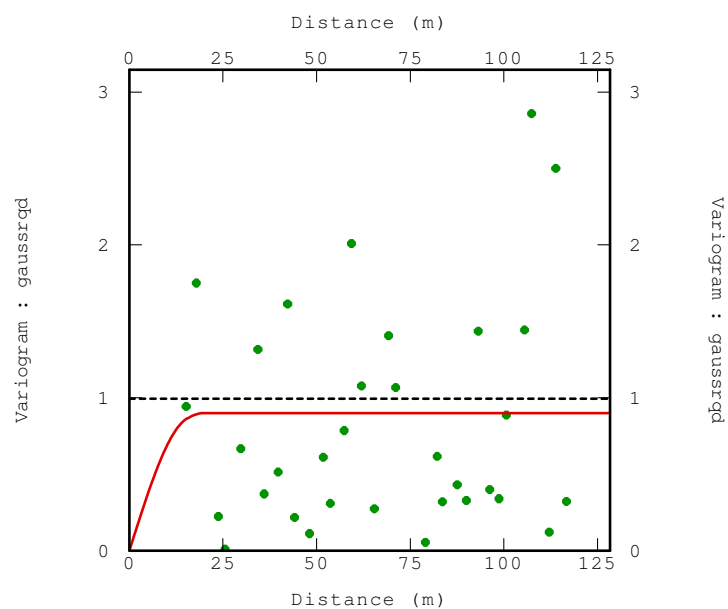


Figura 5-57 Variograma na direção 1 da litologia V.

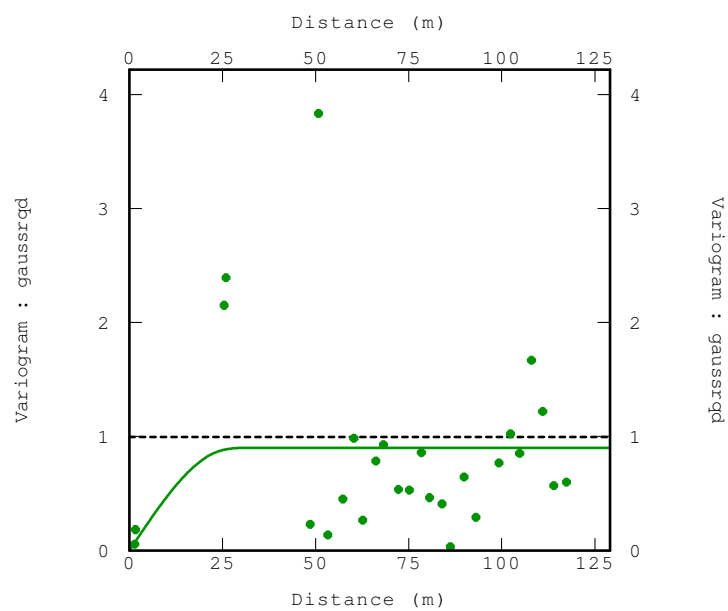


Figura 5-58 Variograma na direção 2 da litologia V.

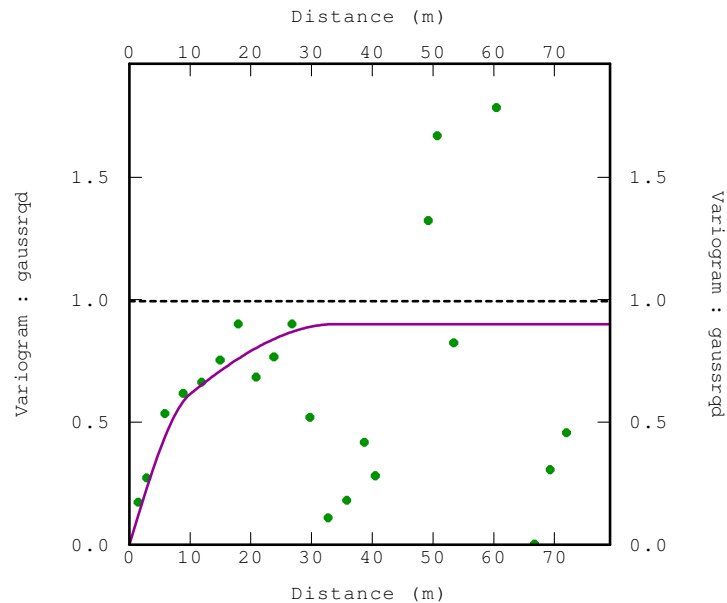


Figura 5-59 Variograma na direção 3 da litologia V.

5.4. Validação cruzada e vizinhança de estimativa

5.4.1. Validação cruzada dos dados originais

A partir da metodologia explicada no capítulo anterior, avaliou-se diferentes configurações de vizinhanças para cada tipo litológico.

As seguintes figuras mostram os resultados obtidos com as vizinhanças que tinham melhor correlação entre os dados estimados e os dados reais como se mostra na Tabela 5-23.

A Tabela 5-20, Tabela 5-21 e Tabela 5-22 mostram as características principais dos parâmetros de estimativa.

Cada uma das direções do volume de procura coincide com as direções da Tabela 5-15.

Tabela 5-20 Volume de procura por código litológico.

Código litológico	Volume de procura (metros)		
	1	2	3
AGV	195	195	195
ANDPORF	105	45	240
BX	165	165	165
TBLP	90	105	195
V	90	120	105

Tabela 5-21 Características do número de amostras utilizado na estimativa (OK-IQD).

Código litológico	Número de setores	Mínimo número de amostras	Ótimo número de amostras por setor
AGV	1	2	2
ANDPORF	1	2	3
BX	1	2	2
TBLP	1	2	3
V	1	2	3

Tabela 5-22 Número de sub-blocos por código litológico.

Código litológico	Número de sub-blocos por direção		
	X	Y	Z
AGV	2	2	2
ANDPORF	2	2	2
BX	2	2	2
TBLP	2	2	2
V	1	1	1

O erro reduzido ER é $\left\{ (\hat{V}(x_i) - V(x_i)) / \sigma_k(x_i) \right\}$.

Tabela 5-23 Coeficiente de correlação por código litológico.

	AGV		ANDPORF		BX		TBLP		V	
	Valor real	ER	Valor real	ER	Valor real	ER	Valor real	ER	Valor real	ER
Valor Estimado	0.925	0.039	0.933	0.015	0.99	-0.24	0.904	0.07	0.837	0.125

Tabela 5-24 Estatística do erro reduzido (ER) por código litológico.

	MIN	MAX	MEDIA	DESVIO PADRÃO
AGV	-2.670	4.150	0.032	0.783
ANDPORF	-4.015	3.801	-0.001	0.699
BX	-0.620	0.620	-0.006	0.226
TBLP	-4.445	4.061	0.008	0.727
V	-3.832	2.954	0.039	0.890

A Tabela 5-24 mostra a estatística do erro reduzido, que nos servira para analisar o valor médio e desvio padrão por cada código litológico.

Como podemos observar todos os códigos litológicos apresentam um erro com media perto de 0 e com desvio padrão perto de 1. Esses valores são ideais segundo o item 4.3.4.

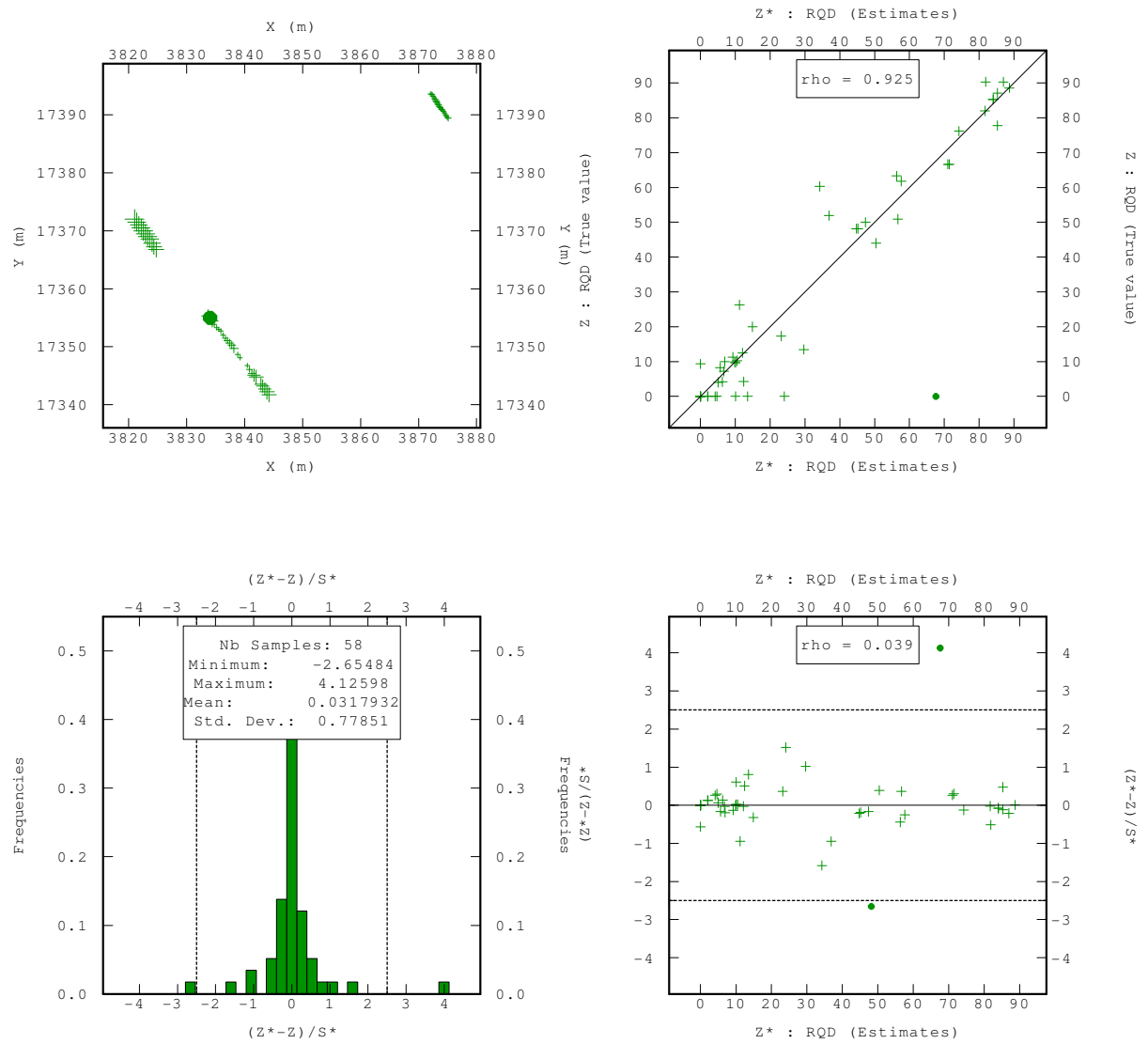


Figura 5-60 Validação cruzada das amostras regularizadas da litologia AGV.

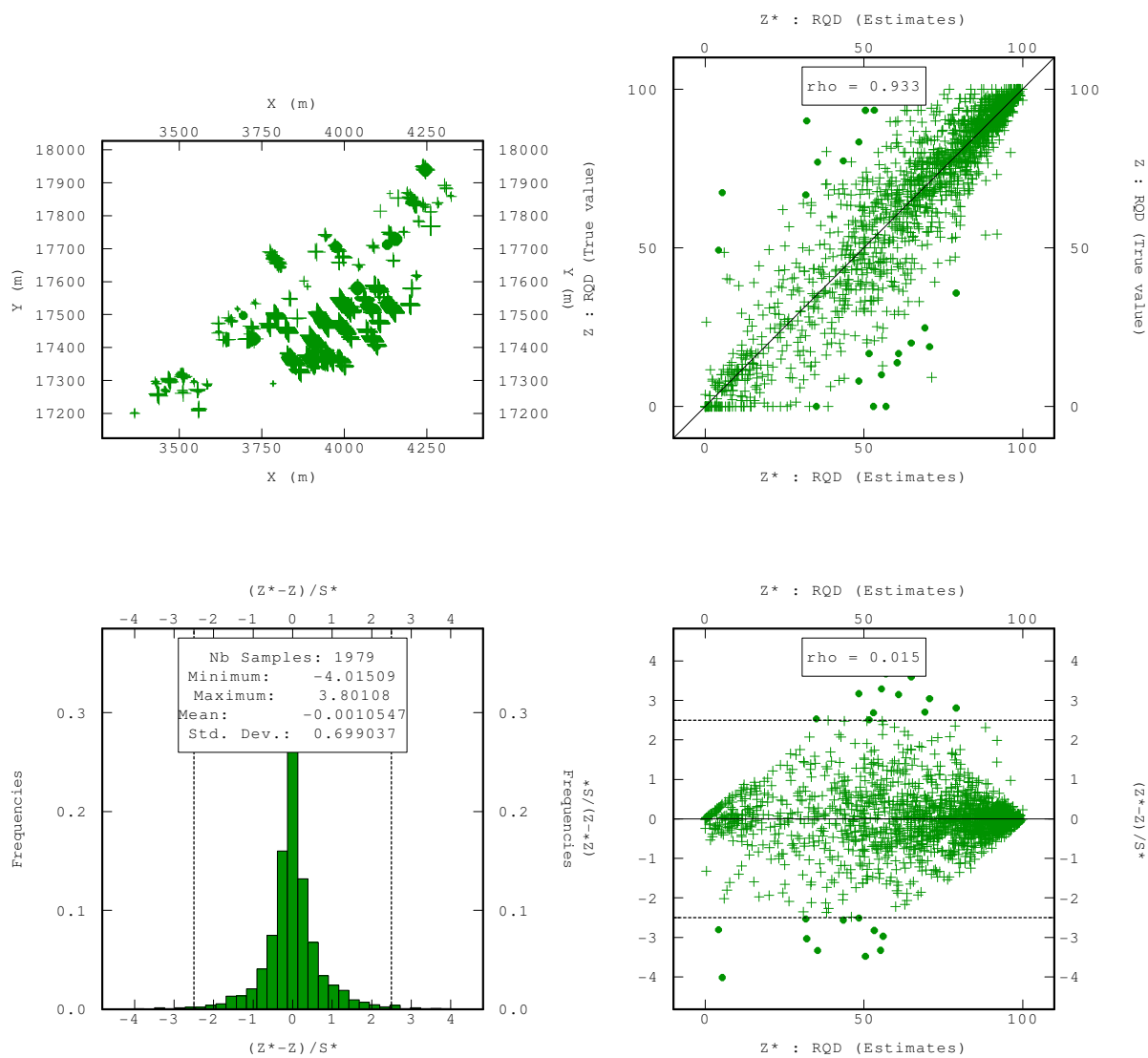


Figura 5-61 Validação cruzada das amostras regularizadas da litologia ANDPORF.

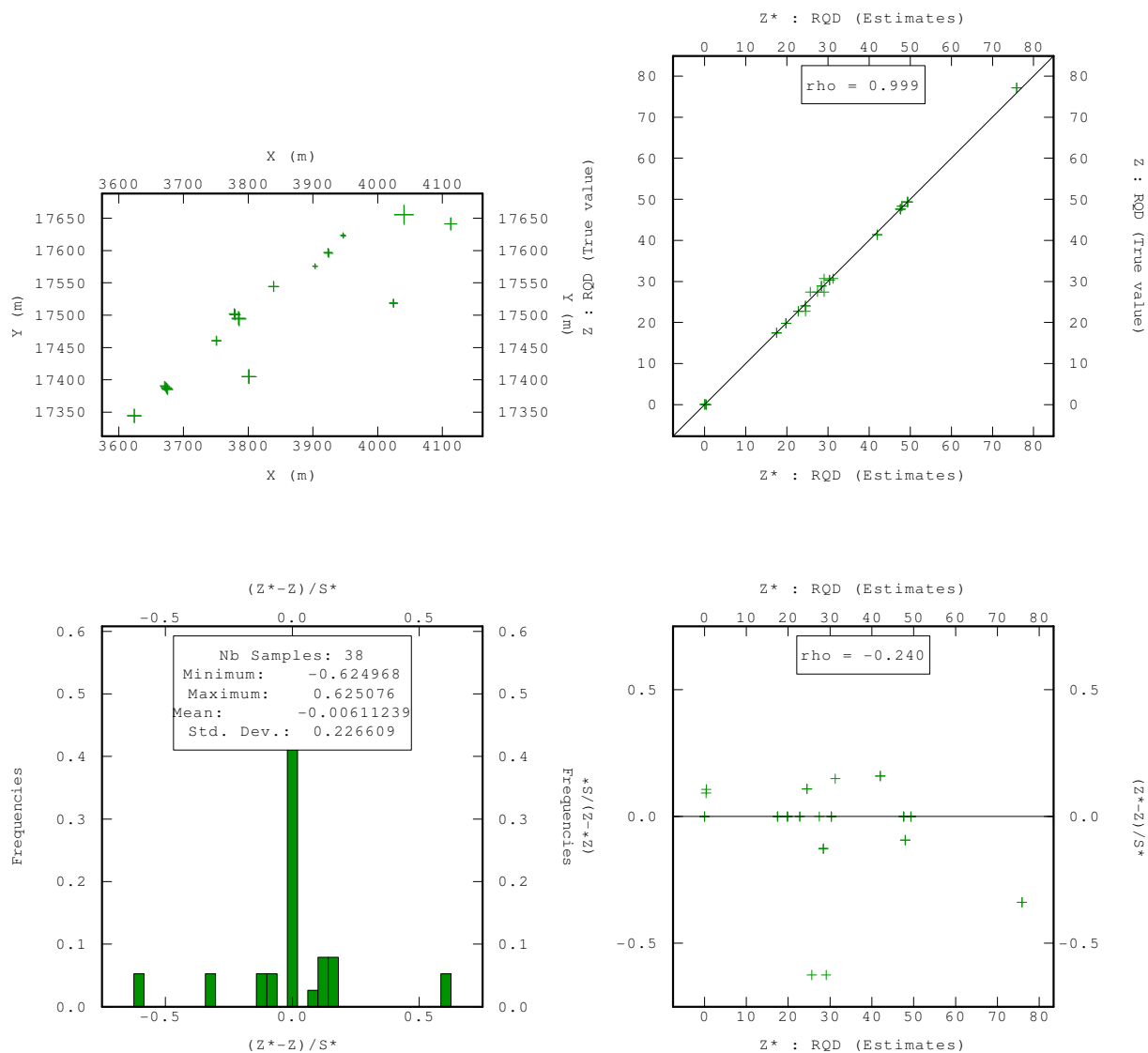


Figura 5-62 Validação cruzada das amostras regularizadas da litologia BX.

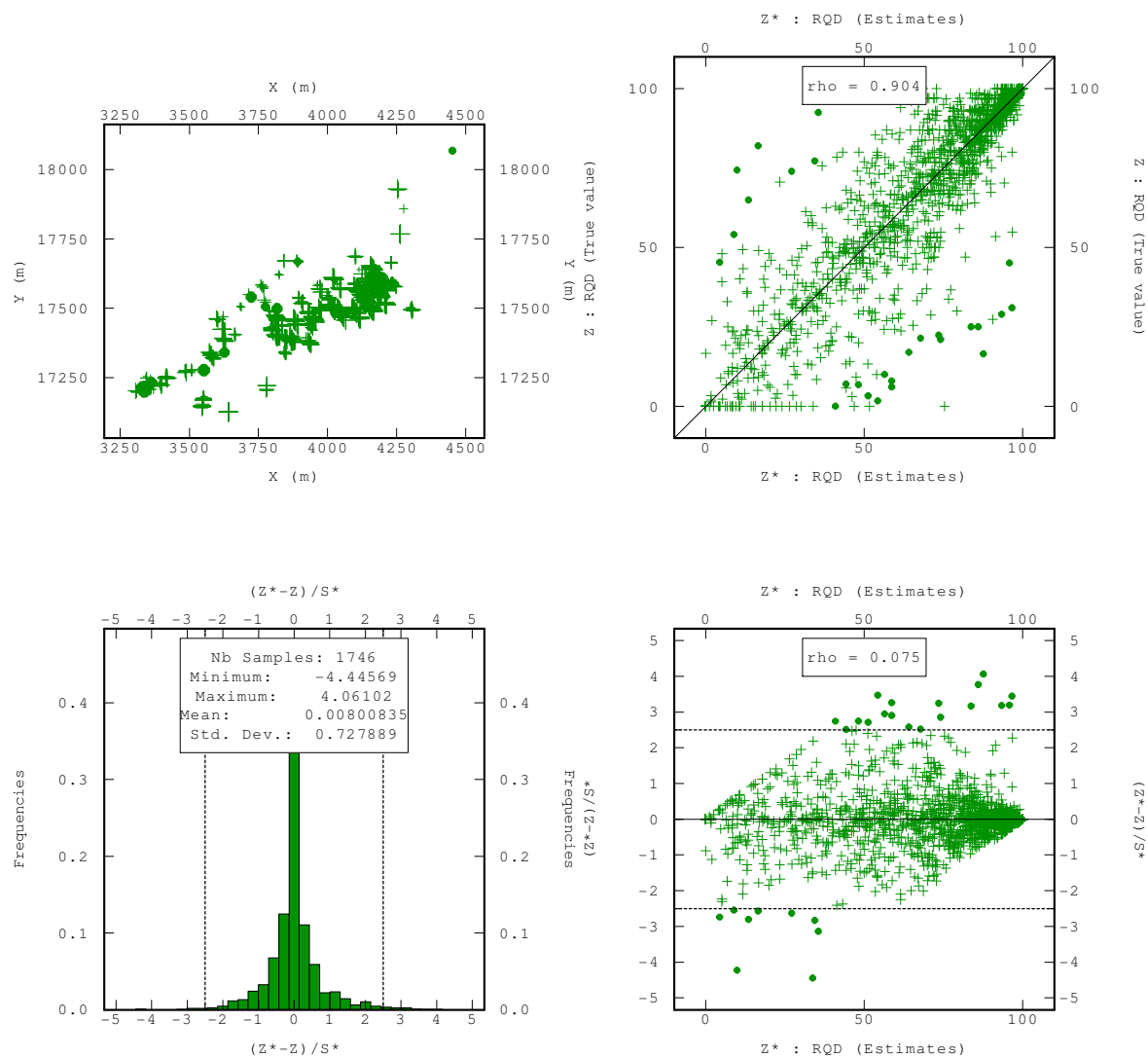


Figura 5-63 Validação cruzada das amostras regularizadas da litologia TBLP.

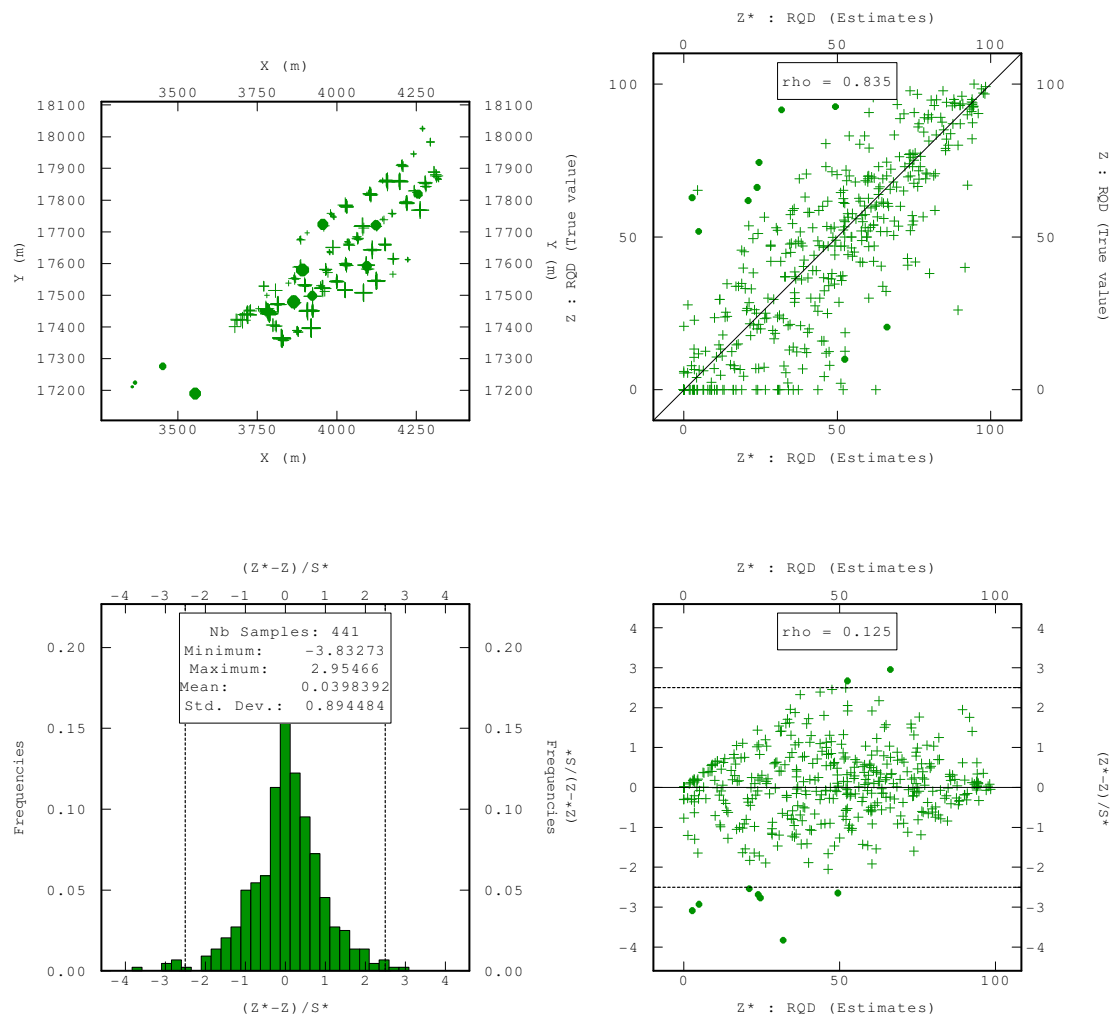


Figura 5-64 Validação cruzada das amostras regularizadas da litologia V.

5.4.2. Validação cruzada dos dados transformados

A partir da metodologia explicada no capítulo anterior, avaliou-se diferentes configurações de vizinhanças para cada tipo litológico.

As seguintes figuras mostram os resultados obtidos com as vizinhanças que tinham melhor correlação entre os dados transformados estimados e os dados transformados reais como se mostra na Tabela 5-28.

A Tabela 5-25, Tabela 5-26 e Tabela 5-27 mostram as características principais dos parâmetros de estimativa.

Devido a que os dados transformados são usados na SGS, usou-se na validação cruzada o método SK (Krigagem simples) para avaliar a performance das diferentes vizinhanças (média igual a zero).

Tabela 5-25 Volume de procura por código litológico.

Código litológico	Volume de procura (metros)		
	1	2	3
AGV	180	180	180
ANDPORF	63	63	180
BX	120	120	120
TBLP	108	105	165
V	60	90	102

Tabela 5-26 Características do número de amostras utilizado na estimativa de KS.

Código litológico	Número de setores	Mínimo número de amostras	Ótimo número de amostras por setor
AGV	1	2	4
ANDPORF	1	2	3
BX	1	2	2
TBLP	1	2	3
V	1	2	3

Tabela 5-27 Número de sub-blocos por código litológico.

Código litológico	Número de sub-blocos por direção		
	X	Y	Z
AGV	2	2	2
ANDPORF	2	2	2
BX	2	2	2
TBLP	2	2	2
V	1	1	1

Tabela 5-28 Coeficiente de correlação por código litológico.

	AGV		ANDPORF		BX		TBLP		V	
	Valor real	ER	Valor real	ER	Valor real	ER	Valor real	ER	Valor real	ER
Valor Estimado	0.883	0.026	0.929	0.03	0.98	0.067	0.911	0.043	0.833	0.143

Tabela 5-29 Estatística do erro reduzido (ER) por código litológico.

	MIN	MAX	MEDIA	DESVIO PADRÃO
AGV	-2.322	2.803	0.019	0.888
ANDPORF	-4.927	4.425	0.000	0.806
BX	-3.304	3.600	-0.002	1.210
TBLP	-7.420	5.860	0.009	0.867
V	-5.700	5.980	0.045	1.370

Como podemos observar todos os códigos litológicos apresentam um erro com media perto de 0 e com desvio padrão perto de 1. Esses valores são ideais segundo o item 4.3.4.

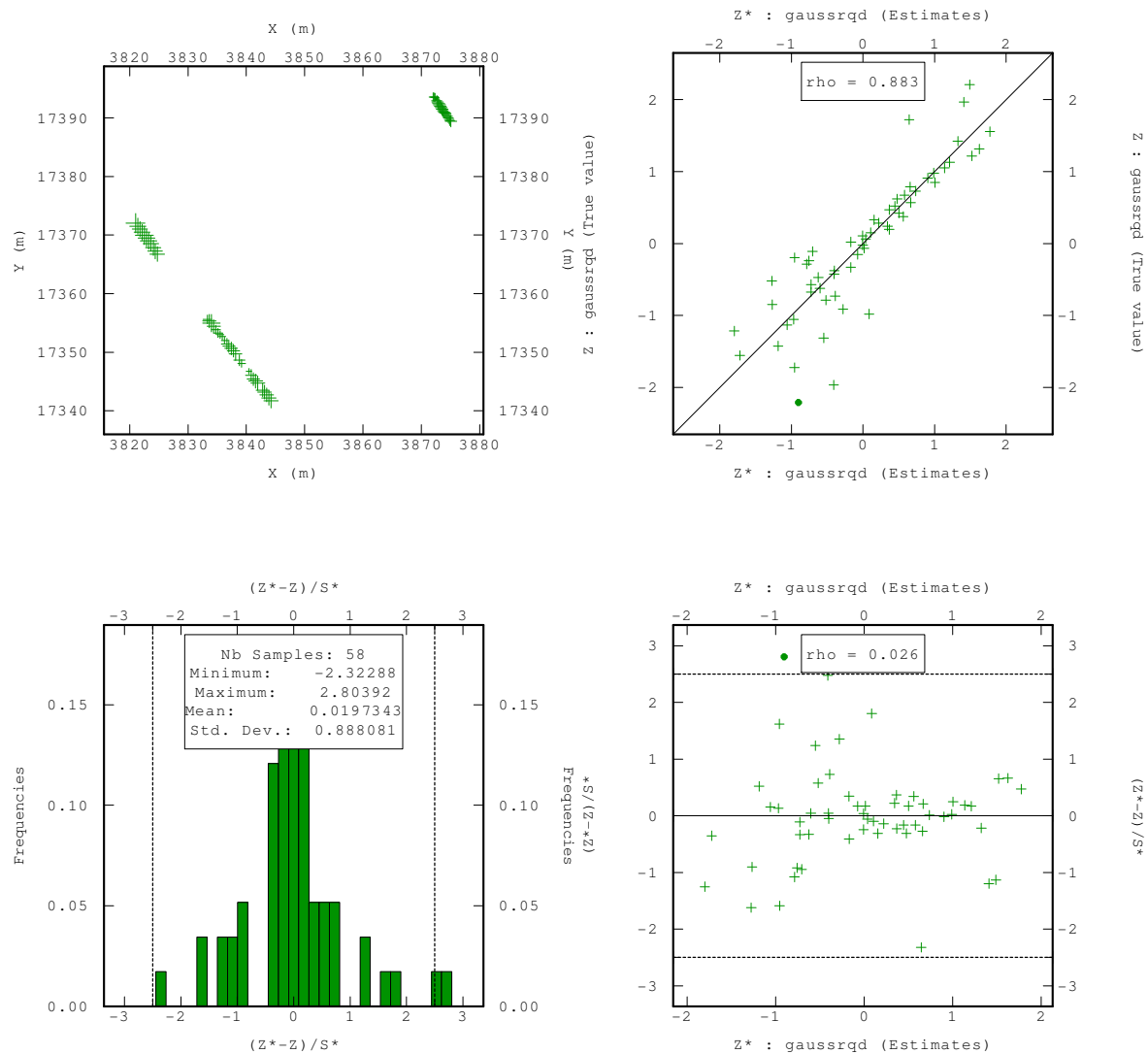


Figura 5-65 Validação cruzada das amostras regularizadas transformados da litologia AGV.

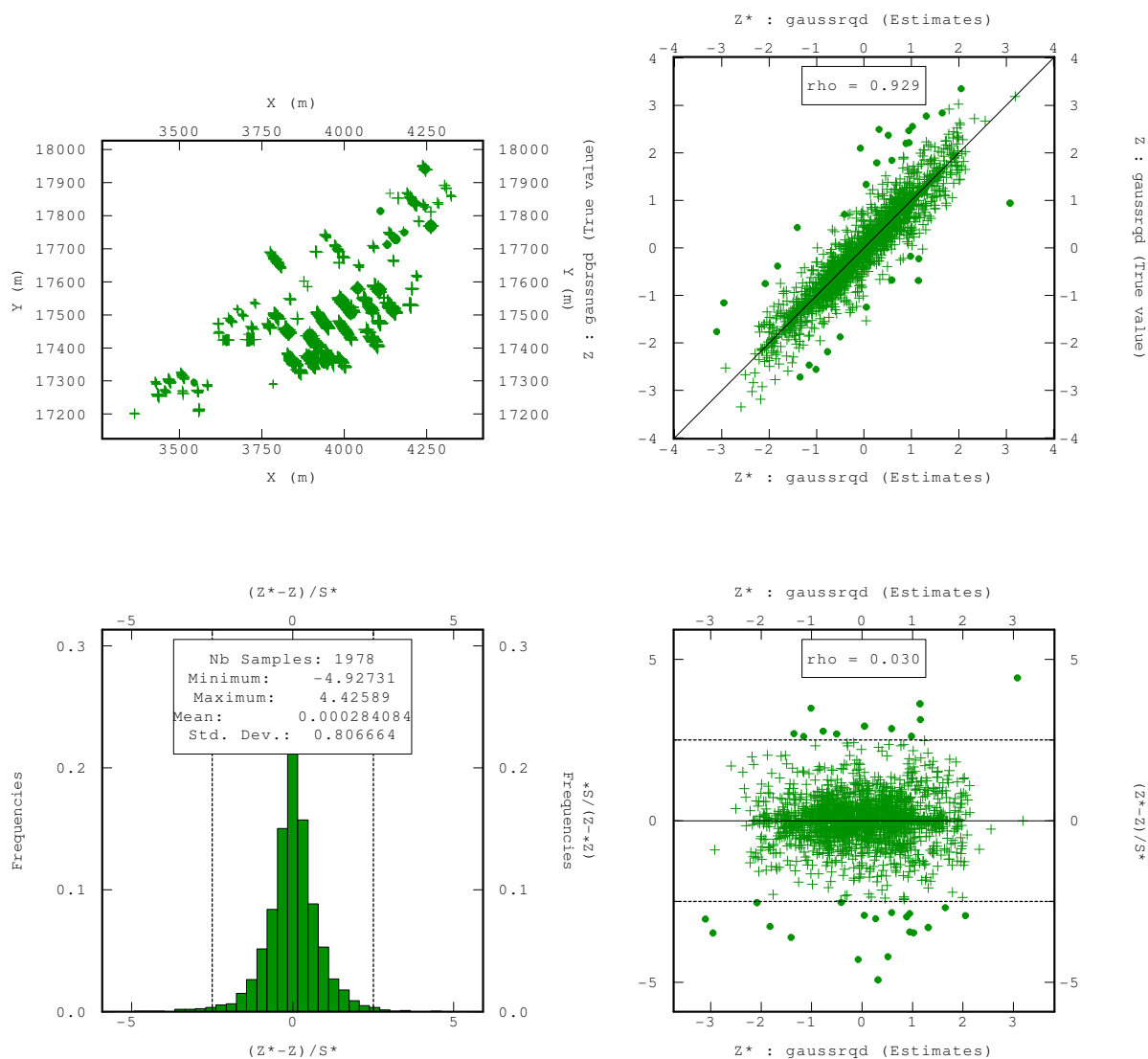


Figura 5-66 Validação cruzada das amostras regularizadas transformados da litologia ANDPORG.

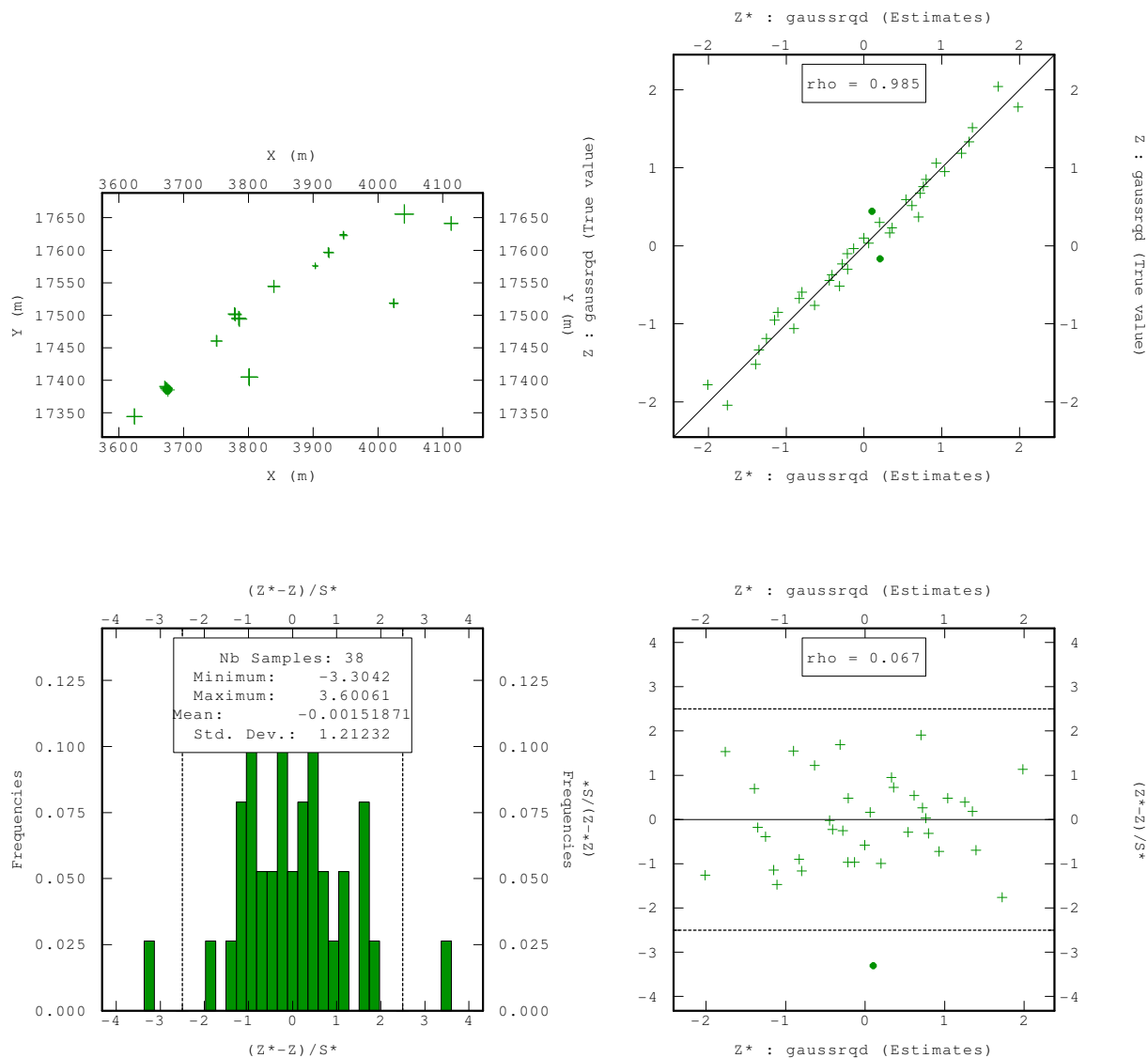


Figura 5-67 Validação cruzada das amostras regularizadas transformados da litologia BX.

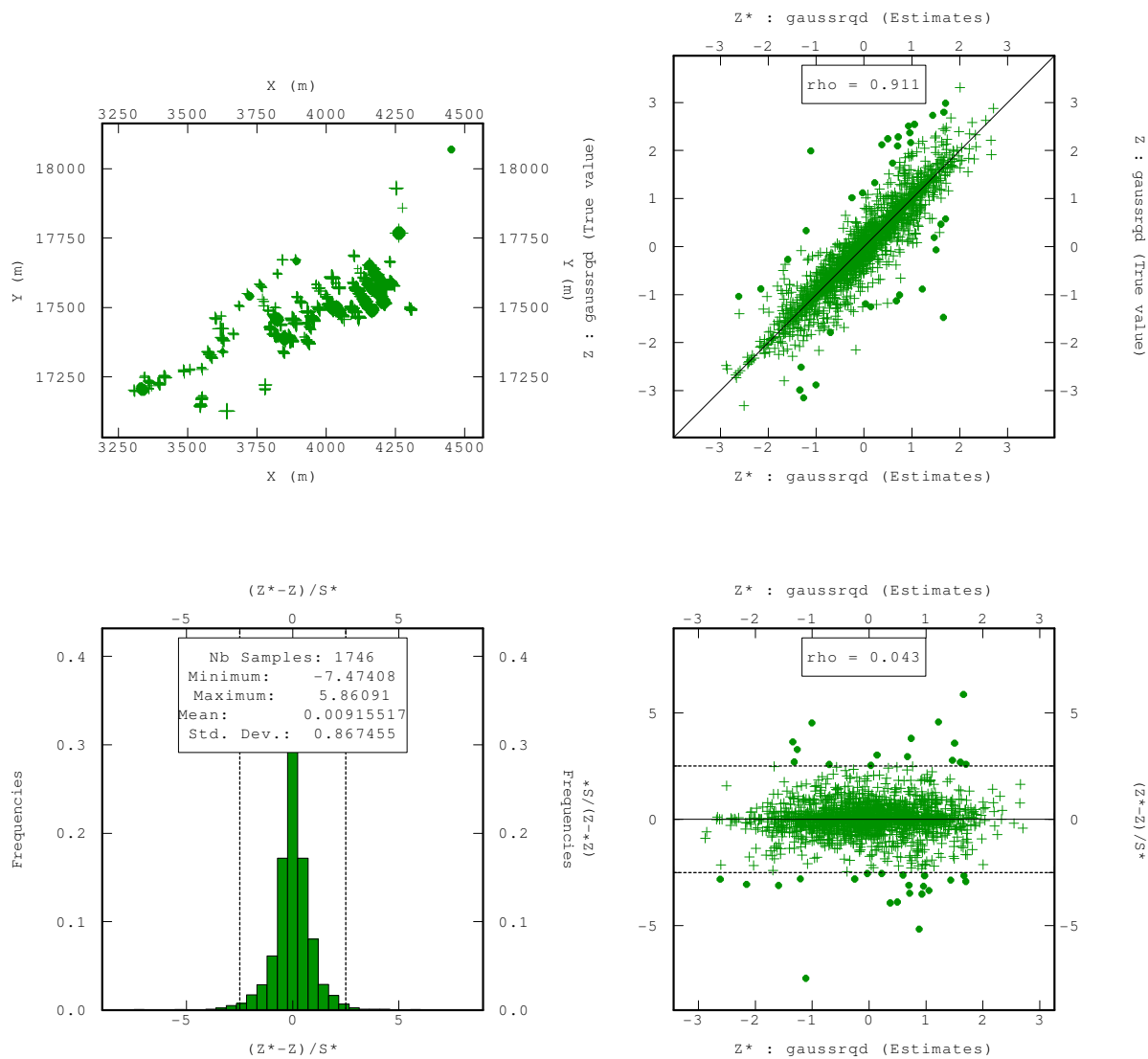


Figura 5-68 Validação cruzada das amostras regularizadas transformados da litologia TBLP.

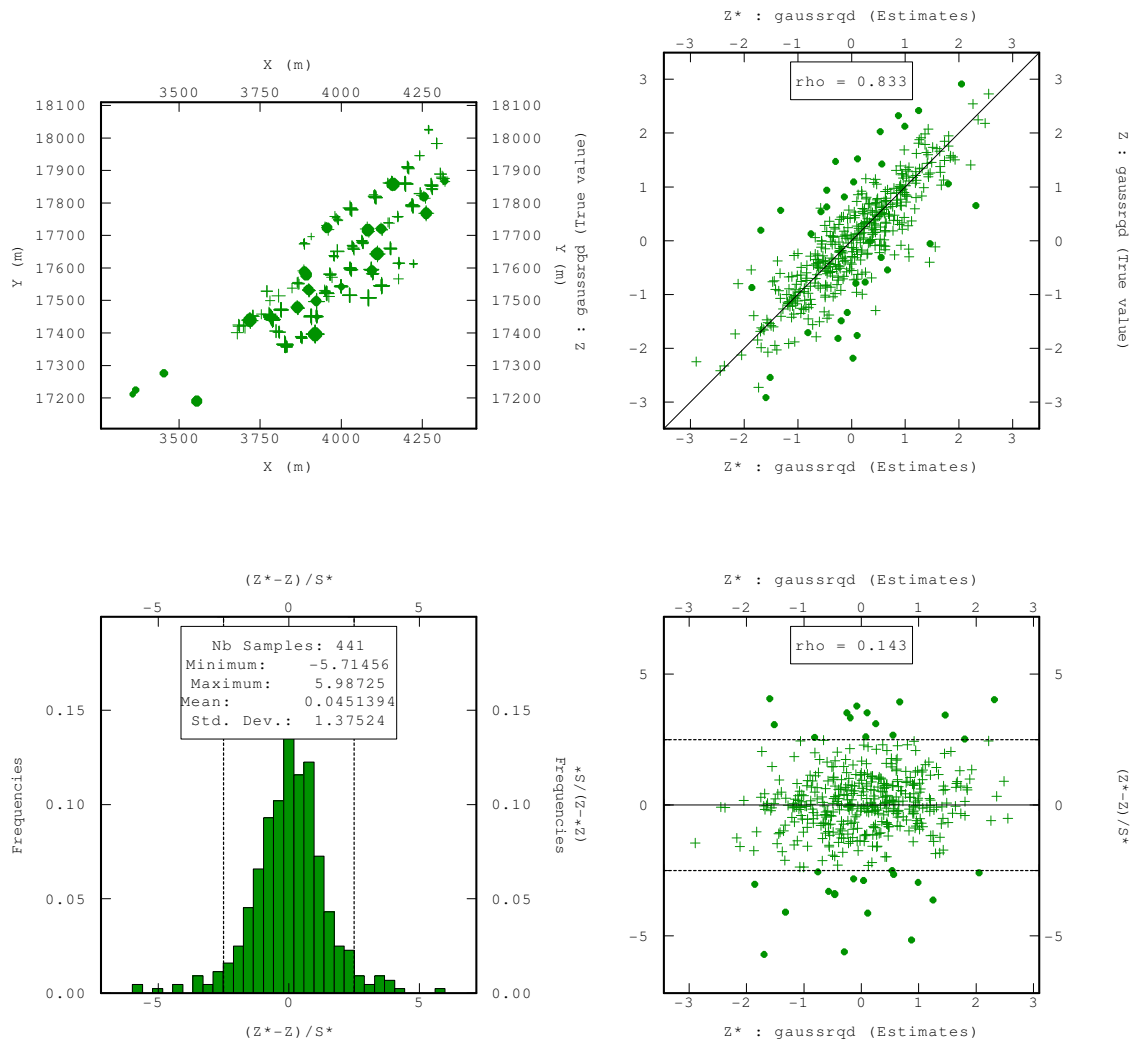


Figura 5-69 Validação cruzada das amostras regularizadas transformados da litologia V.

5.5.

Análises dos resultados do parâmetro RQD por IQD, OK e SGS

Amostras é igual ao número de blocos estimados ou simulados.

5.5.1.

Calculo do RQD a partir do método IQD

As principais estatísticas que obtemos da estimativa do parâmetro geomêcanico RQD com o método IQD são:

Tabela 5-30 Estatística descritiva do RQD nos blocos estimados pelo método IQD.

	VARIAVEL	AMOSTRAS	MINIMO	MAXIMO	MEDIA	DESV. PADRAO	VARIANCIA	CURTOSE
AGV	RQD	956.00	0.00	89.47	34.31	30.26	915.55	1.47
ANDPORF	RQD	42720.00	0.00	100.00	66.33	27.51	756.84	2.52
BX	RQD	413.00	0.05	77.15	34.72	20.21	408.55	2.82
TBLP	RQD	48771.00	0.00	100.00	68.05	27.67	765.75	2.31
V	RQD	15844.00	0.00	99.57	41.15	28.63	819.70	1.86

5.5.2.

Calculo do RQD a partir do método OK

As principais estatísticas que obtemos da estimativa do parâmetro geomêcanico RQD com o método OK são:

Tabela 5-31 Estatística descritiva do RQD nos blocos estimado com o método OK.

	VARIAVEL	AMOSTRAS	MINIMO	MAXIMO	MEDIA	DESV. PADRAO	VARIANCIA	CURTOSE
AGV	RQD	956.00	0.00	89.47	34.32	30.25	915.30	1.47
ANDPORF	RQD	42720.00	0.00	100.00	66.29	27.51	756.65	2.51
BX	RQD	413.00	0.05	77.15	34.72	20.21	408.56	2.82
TBLP	RQD	48771.00	0.00	100.00	68.05	27.62	762.80	2.31
V	RQD	15844.00	0.00	99.57	41.28	28.57	816.07	1.87

Como podemos observar na Tabela 5-31 e

Tabela 5-30 os blocos estimados com os métodos IQD e OK ainda conservam valores similares às amostras regularizadas (média, desvio padrão e variância) a partir das quais foram estimadas.

5.5.3.

Calculo do RQD a partir do método SGS

As principais estatísticas que obtemos da simulação do parâmetro geomêcanico RQD com o método SGS são:

Tabela 5-32 Estatística descritiva do RQD nos blocos simulados pelo método SGS de 50 simulações.

	VARIAVEL	AMOSTRAS	MINIMO	MAXIMO	MEDIA	DESV. PADRAO	VARIANCIA
AGV	RQD	956	11.67	56.98	28.07	4.45	19.81
ANDPORF	RQD	42993	15.40	95.61	73.39	3.07	9.43
BX	RQD	565	18.03	38.71	29.46	2.14	4.58
TBLP	RQD	49291	0.51	87.08	42.52	3.55	12.59
V	RQD	17345	1.35	94.89	42.72	6.08	36.95

Tabela 5-33 Estatística descritiva do RQD nos blocos simulados pelo método SGS de 100 simulações.

	VARIAVEL	AMOSTRAS	MINIMO	MAXIMO	MEDIA	DESV. PADRAO	VARIANCIA
AGV	RQD	956	10.40	60.04	28.14	4.80	23.04
ANDPORF	RQD	42993	15.31	95.50	73.39	3.09	9.55
BX	RQD	565	18.39	36.96	29.57	2.19	4.80
TBLP	RQD	49291	0.42	87.08	42.51	3.55	12.60
V	RQD	17345	1.25	94.68	42.74	6.10	37.21

Como se pode observar na Tabela 5-32 e na Tabela 5-33 os valores da média dos diferentes códigos litológicos variam em diferente proporção com respeito aos valores obtidos com o método da KO e IQD. O desvio padrão e a variância são obtidos a partir dos teores de RQD médios de cada código litológico e não são obtidos a partir de uma transformação com a função inversa.

Sullivan (2006) realiza no depósito de cobre de Damiana uma estimativa com OK e duas SGS, a primeira com os dados sem desagregar e a segunda com os dados desagregados. Mostrando que a média simulada desagregado é mais próxima ao valor médio obtido com a OK, entanto que o valor médio simulado sem desagregar apresenta diferenças importantes com o valor obtido com OK. Por tanto, a simulação condicional realizada neste trabalho concorda com os resultados obtidos em Damiana.

5.5.4.

Comparação dos resultados

Utilizaram-se o MAPE (métrica apresentada no capítulo anterior) para fazer a comparativas dos três tipos de métodos de previsão.

No início compararemos o método de IQD e SGS (50 e 100 simulações) com o método da OK, desta forma observamos a diferencia entre simulação e estimativa. A Tabela 5-34 mostra o MAPE entre RQD obtido pela OK (como se fosse o valor real) e o RQD obtido pelos métodos IQD e SGS (como se fosse o valor previsto) por cada tipo de litologia.

Tabela 5-34 MAPE entre o RQD obtido pela OK e o RQD calculado por outros métodos.

	MAPE		
	OK-IQD	OK-SGS50	OK-SGS100
AGV	1.37	212.31	212.77
ANDPORF	1.13	116.51	116.60
BX	0.01	5832.30	5820.62
TBLP	0.64	78.51	78.36
V	2.75	146.57	146.65

Os parâmetros de simulação utilizados no método SGS, foram obtidos a partir da validação cruzada (item 5.4.2). Nas seguintes tabelas, calcularam-se o valor do RQD como o SGS modificando o modelo variográfico e a vizinhança de estimativa, desta forma se utilizará os mesmos modelos variográficos e vizinhanças utilizadas na Krigagem Ordinária.

Tabela 5-35 MAPE modificando os modelos variográficos no método SGS.

	MAPE	
	OK-SGS50*	OK-SGS50
AGV	217.32	212.31
ANDPORF	116.87	116.51
BX	5976.19	5832.30
TBLP	79.28	78.51

Foram efetuadas 50 simulações com os parâmetros modificados (SGS50*) e comparados com o OK em cada tipo litológico. O código litológico V tem os mesmos modelos variográficos que os utilizados no calculo da OK.

Tabela 5-36 MAPE modificando a vizinhança no método SGS.

	MAPE	
	OK-SGS50*	OK-SGS50
AGV	223.50	212.31
ANDPORF	116.41	116.51
BX	5952.36	5832.30
TBLP	79.40	78.51
V	147.38	146.57

Como podemos observar na Tabela 5-35 e Tabela 5-36 o MAPE não varia quase nada. Por tanto, os valores de RQD calculados pelo OK e IQD e os simulados pelo SGS apresentam teores diferentes devido a diferença própria dos métodos geoestatísticos e não aos modelos variográficos diferentes ou às diferentes vizinhanças de estimativa.

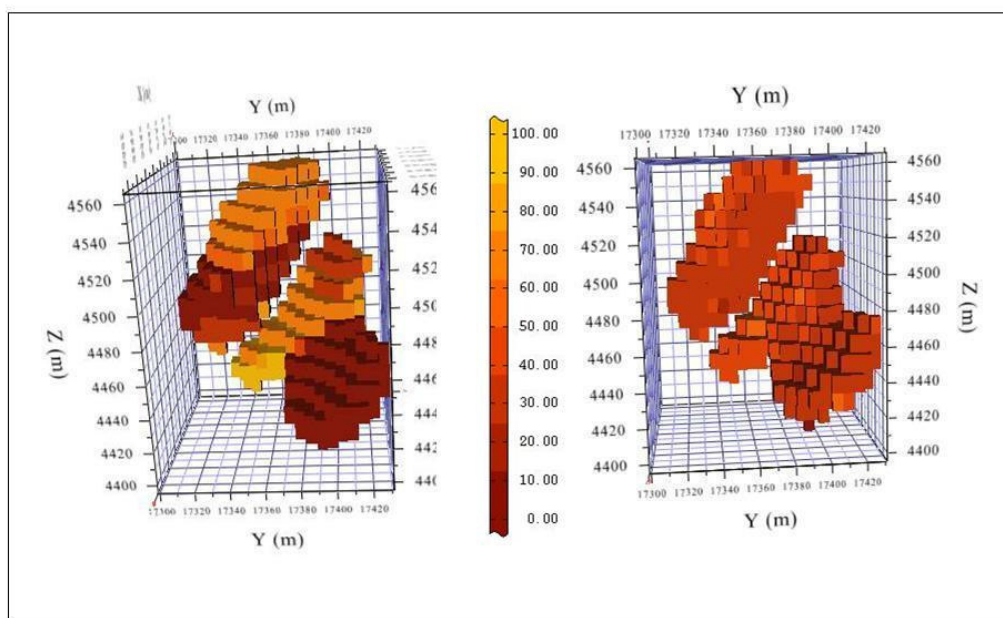


Figura 5-70 Distribuição do RQD calculado por OK (direita) e SGS-100 (esquerda) na litologia AGV.

As figuras 5-71 até 5-75 mostram o parâmetro RQD obtido a partir do método da Krigagem Ordinária (OK) e da Simulação Sequencial Gaussiana de 100 simulações (SGS-100). A cor vermelha tem valor de RQD igual a zero e a cor amarela tem valor de RQD igual a 100.

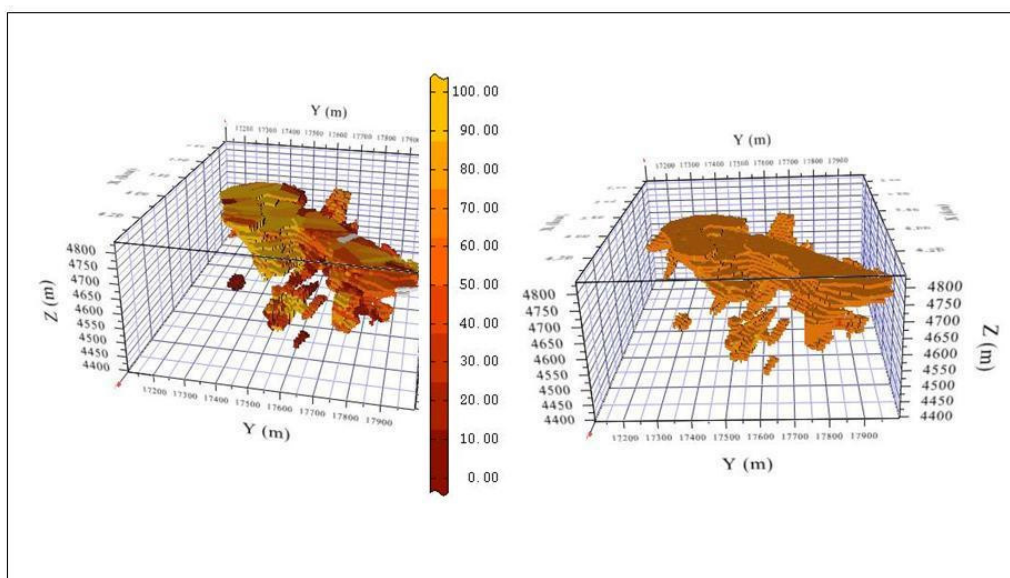


Figura 5-71 Distribuição do RQD calculado por OK (direita) e SGS-100 (esquerda) na litologia ANDPORF.

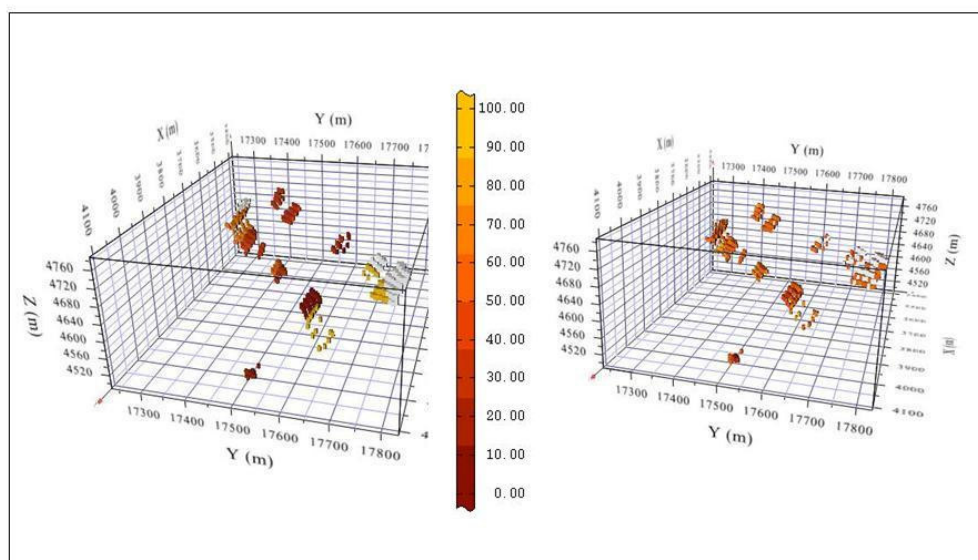


Figura 5-72 Distribuição do RQD calculado por OK (direita) e SGS-100 (esquerda) na litologia BX.

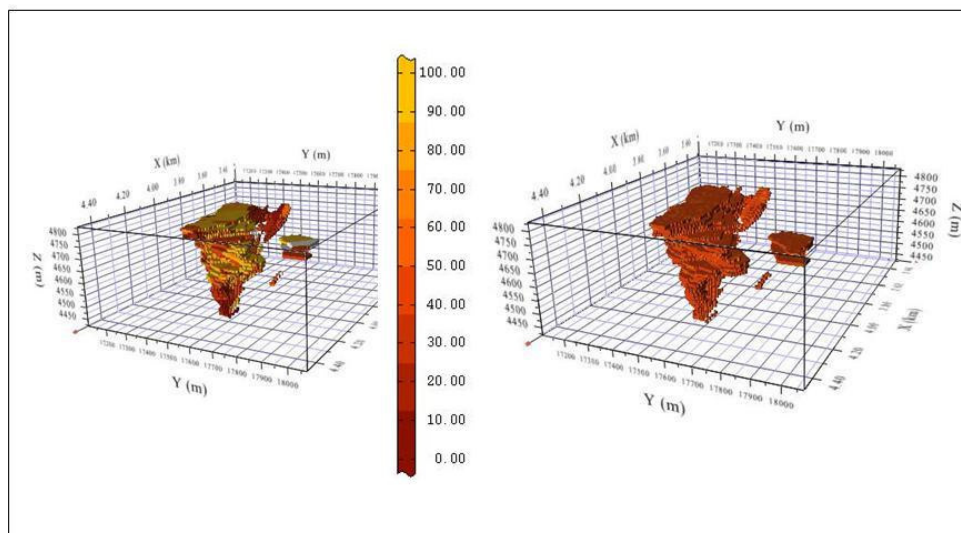


Figura 5-73 Distribuição do RQD calculado por OK (direita) e SGS-100 (esquerda) na litologia TBLP.

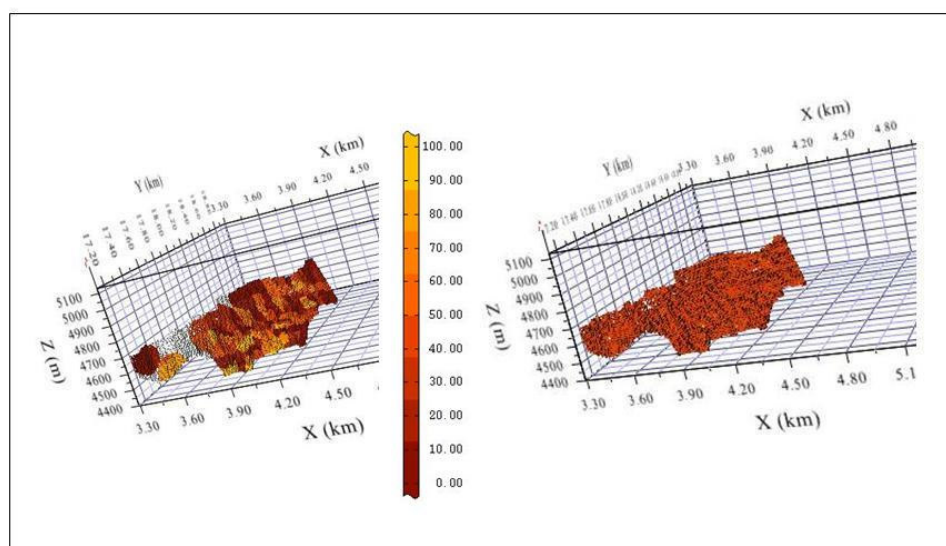


Figura 5-74 Distribuição do RQD calculado por OK (direita) e SGS-100 (esquerda) na litologia V.

Desde Figura 5-75 até a Figura 5-79 se faz uma comparação dos valores de RQD previstos por cada método. Como podemos observar as previsões efetuadas por Krigagem Ordinária (OK) e Inverso Quadrado das distâncias (IQD) são muito similares, enquanto que as previsões obtidas com a Simulação Sequencial Gaussiana (SGS) são diferentes na maioria dos casos.

As figuras nos permitem avaliar como cada método distribui os valores do RQD tridimensionalmente em cada uma das 5 litologias. Como podemos observar o OK e IQD fazem previsões de regiões onde os valores de RQD são muito alto junto a zonas onde os valores de RQD são muito baixos principalmente porque somente considera as amostras que ficam perto do bloco, enquanto que o SGS distribui melhor os valores de RQD tomando em consideração todas as amostras do depósito.

Acreditamos que um material geológico não apresenta o zoneamento produzido por os métodos de estimativa OK e IQD. O material geotécnico poderia ter esse comportamento se existisse uma falha geológica, uma discordância da sedimentação ou outra feição geológica que permita que dentro de um material as propriedades mudem espacialmente em forma muito rápida.

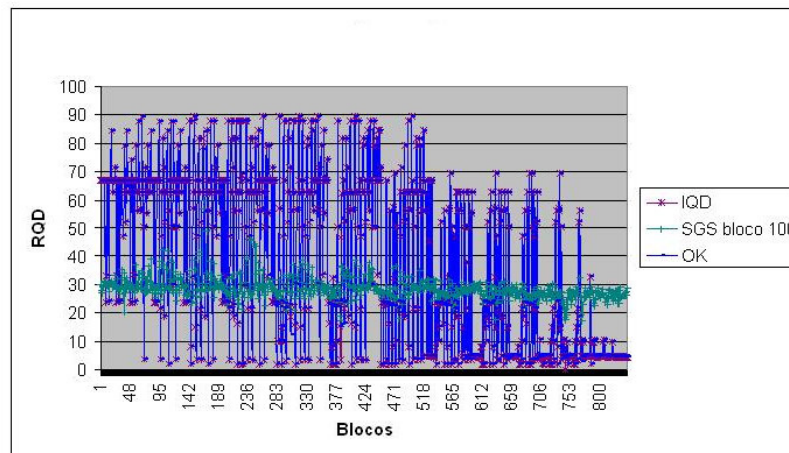


Figura 5-75 Comparação N° de bloco Vs RQD previsto com os métodos IQD, Ok e SGS (100 simulações) da litologia AGV.

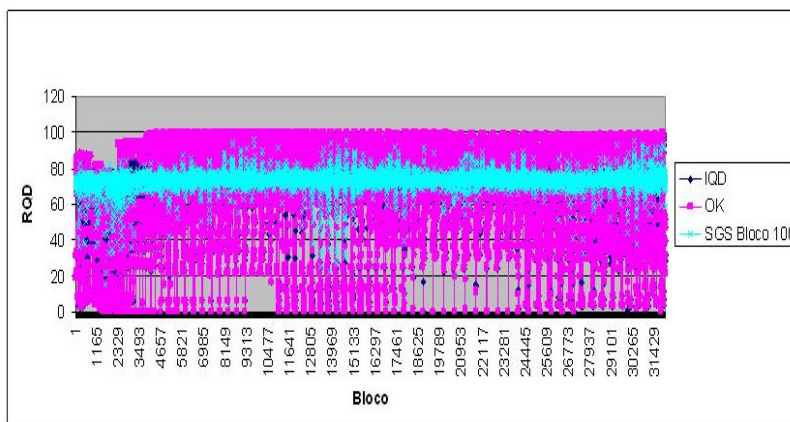


Figura 5-76 Comparação N° de bloco Vs RQD previsto com os métodos IQD, Ok e SGS (100 simulações) da litologia ANDPORA.

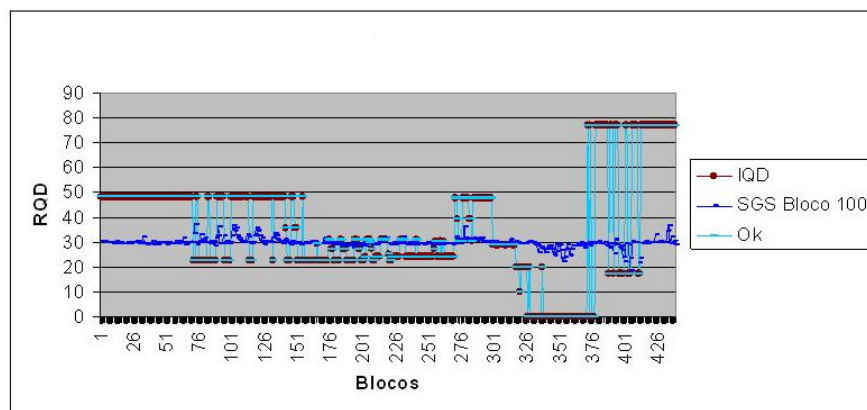


Figura 5-77 Comparação N° de bloco Vs RQD previsto com os métodos IQD, Ok e SGS (100 simulações) da litologia BX.

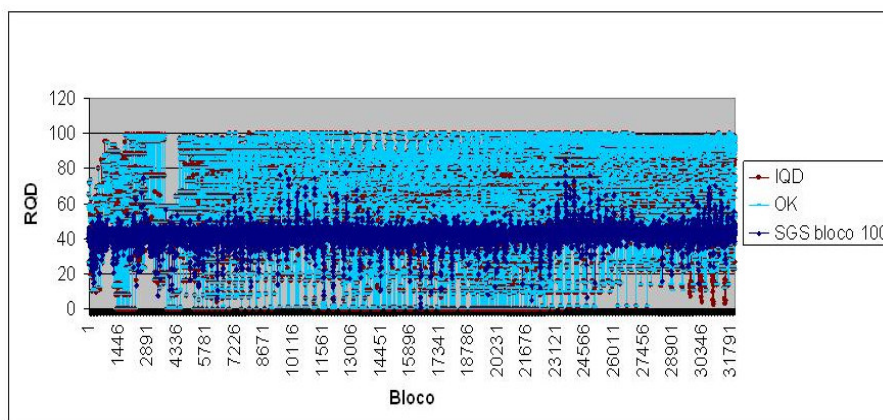


Figura 5-78 Comparação N° de bloco Vs RQD previsto com os métodos IQD, Ok e SGS (100 simulações) da litologia TBLP.

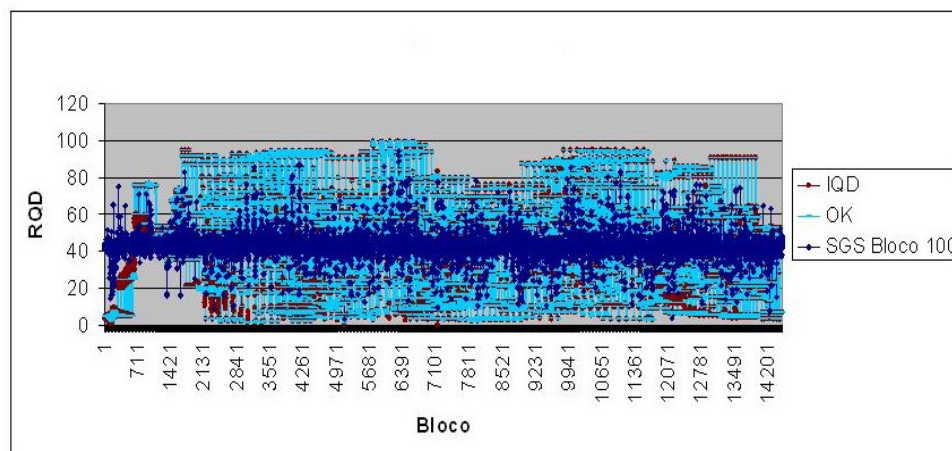


Figura 5-79 Comparação N° de bloco Vs RQD previsto com os métodos IQD, Ok e SGS (100 simulações) da litologia V.