

ANÁLISE ESPACIAL DA VARIABILIDADE DA RESISTÊNCIA À
COMPRESSÃO DE UM GRANITO DE CAMPOS DOS GOYTACAZES

ANA LAURA CASSIANO DIAS AVILA

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY
RIBEIRO – UENF

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
MARÇO – 2009

ANÁLISE ESPACIAL DA VARIABILIDADE DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE UM GRANITO DE CAMPOS DOS GOYTACAZES

ANA LAURA CASSIANO DIAS AVILA

Dissertação apresentada ao Centro de
Ciência e Tecnologia da Universidade
Estadual do Norte Fluminense Darcy
Ribeiro, como parte das exigências para
a obtenção de título de Mestre em
Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Aldo Durand Farfán

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY
RIBEIRO – UENF

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ

MARÇO – 2009

ANÁLISE ESPACIAL DA VARIABILIDADE DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE UM GRANITO DE CAMPOS DOS GOYTACAZES

ANA LAURA CASSIANO DIAS AVILA

Dissertação apresentada ao Centro de
Ciência e Tecnologia da Universidade
Estadual do Norte Fluminense Darcy
Ribeiro, como parte das exigências para
a obtenção de título de Mestre em
Engenharia Civil.

Aprovada em 09 de março de 2009.

Comissão Examinadora:

Prof. Emilio Velloso Barroso – (D. Sc.) UFRJ

Prof. Fernando Saboya Albuquerque Junior (D. Sc.) – UENF

Prof. Sérgio Tibana (D. Sc.) – UENF

Prof. Aldo Durand Farfán (D. Sc.) – UENF
Orientador

Ao meu filho, Davi.

Agradecimentos

Agradeço a Deus antes de tudo, por cada momento da minha vida.

Agradeço a minha família, especialmente ao meu filho Davi que desde a gestação acompanha meus estudos, e a Augusto por todo apoio, sempre.

A minha mãe, minhas irmãs, meu avô, e todos da minha família por me apoiar e torcerem por mim.

Agradeço ao meu orientador Aldo Durand Farfán, pela orientação.

Ao Professor Paulo Milton Barbosa Landim, pela prontidão e auxílio.

A todos meus amigos, que estiveram em algum momento ao meu lado nessa jornada. Especialmente minhas *superamigas*, que estão sempre comigo, Caroline, Clarice, Clarissa, Daniele, Flávia Manuella, Gisele, Maylline e Quésia, agradeço a elas por quase sempre me perguntar sobre o mestrado, e também por não perguntar algumas vezes.

Ao bolsista José Luiz Hernandez, que sempre esteve disposto a me ajudar e foi companheiro de muitas aventuras no campo.

Agradeço também a todos profissionais que se envolveram para realização deste trabalho, aos pedreiros de Ibitioca, aos motoristas da UENF, aos técnicos do laboratório, aos cortadores de rocha de Cachoeiro de Itapemirim.

E a todos que de alguma forma contribuíram para realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	III
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	VI
RESUMO.....	VIII
ABSTRACT.....	IX
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVOS.....	2
1.2 MOTIVAÇÃO.....	2
1.3. ROCHAS ORNAMENTAIS	3
1.3.1 <i>Introdução a Rochas Ornamentais</i>	3
1.3.2 <i>Classificação das Rochas</i>	4
1.3.3 <i>Classificação Comercial</i>	8
1.4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA: PRODUÇÃO DE ROCHAS ORNAMENTAIS	9
1.4.1 <i>Mineração e Rochas Ornamentais</i>	9
1.4.2 <i>Métodos de Lavras</i>	11
1.4.3 <i>Tecnologias de Corte</i>	15
1.4.4 <i>Impactos Ambientais Causado pelo Processo Extrativo</i>	19
1.5. MERCADO DE ROCHAS ORNAMENTAIS.....	20
1.5.1 <i>Panorama Mundial e Brasileiro</i>	20
1.5.2 <i>Mercado Regional</i>	21
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO	22
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA: ESTATÍSTICA E MÉTODOS DE INTERPOLAÇÃO.....	24
2.1 ESTATÍSTICA DESCRITIVA	24
2.2 INTRODUÇÃO AOS MÉTODOS DE INTERPOLOÇÃO ESPACIAL	25
2.3 REGRESSÃO POLINOMIAL.....	26
2.3.1 <i>Equações Polinomiais:</i>	27
2.3.2 <i>Análise de Superfície de Tendência</i>	27
2.3.3 <i>Metodologia Utilizada para a Análise por Regressão Polinomial</i>	28
2.4 MÍNIMA CURVATURA	28
2.5 INVERSO PONDERADO DA DISTÂNCIA.....	29
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA: GEOESTATÍSTICA.....	30
3.1 APLICAÇÃO DA GEOESTATÍSTICA NA GEOTECNIA.....	34
4. CONFIGURAÇÃO DO LOCAL E ENSAIOS	36
4.1 CONFIGURAÇÃO DO AMBIENTE ESTUDADO:.....	36
4.2 COLETA DE DADOS.....	37
4.3 PROGRAMA EXPERIMENTAL	38
4.3.1 <i>Materiais e métodos</i>	38
4.4 DADOS DOS ENSAIOS	39
4.4.1 <i>Resistência Medida</i>	39
4.4.2 <i>Análise Estatística dos Dados de Ensaio</i>	46
5. APLICAÇÃO DA GEOESTATÍSTICA:.....	49
5.1 CALIBRAÇÃO DO SEMIVARIOGRAMA	49
5.1.1 <i>Construção do semivariograma para a direção NE – SO</i>	50
5.2 SEMIVARIOGRAMA CONSIDERANDO PONTOS DA ÁREA 1 (A1)	53
5.2.1 <i>Semivariograma para Área 1 na direção N-S</i>	54
5.2.2 <i>Semivariograma para Área 1 na direção L-O</i>	56
5.2.3 <i>Semivariograma para Área 1 na direção NE-SO</i>	56
5.2.4 <i>Semivariograma na direção NO-SE</i>	56
5.3 ESTIMATIVA DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES PARA OS PONTOS DE A1	60
5.3.1 <i>Estimando J1</i>	60
5.3.2 <i>Estimando J2</i>	61
5.3.3 <i>Estimando AZ</i>	62
5.3.4 <i>Estimando MR</i>	63

5.3.5 <i>Estimando PR</i>	64
5.3.6 <i>Estimando BR</i>	66
5.3.7 <i>Estimando VM</i>	67
5.4 TESTE DE VALIDAÇÃO DOS VALORES ESTIMADOS.....	68
6. APLICAÇÃO DOS MÉTODOS DE INTERPOLAÇÃO PELO SURFER	69
6.1 GEOESTATÍSTICA.....	70
6.2 INVERSO PONDERADO DA DISTANCIA.....	72
6.3 MÍNIMA CURVATURA	73
6.4 REGRESSÃO POLINOMIAL.....	74
6.5 VERIFICAÇÃO DOS RESULTADOS.....	75
7. ANÁLISE DA ÁREA DE ESTUDOS A PARTIR DA GEOESTATÍSTICA.....	79
7.1 APLICAÇÃO DA GEOESTATÍSTICA PARA T1	81
7.2 APLICAÇÃO DA GEOESTATÍSTICA PARA T2	83
7.3 APLICAÇÃO DA GEOESTATÍSTICA PARA T3	85
7.4 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES PARA OS PONTOS T1, T2 E T3: UTILIZANDO O SOFTWARE SURFER	86
7.4.1 <i>Análise pelo Surfer para T1</i>	87
7.4.2 <i>Análise pelo Surfer para T2</i>	87
7.4.3 <i>Análise pelo Surfer para T3</i>	87
7.5 VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS PARA T1, T2 E T3.....	88
8. CONCLUSÃO E SUGESTÃO PARA PRÓXIMOS TRABALHOS	90
9. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	91
ANEXO I.....	99

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1- ESTAÇÃO SÉ	6
FIGURA 2 – TAJ MAHAL.....	7
FIGURA 3 - PIRÂMIDES DO EGITO.....	8
FIGURA 4 - TEATRO MUNICIPAL DE SÃO PAULO	8
FIGURA 5 - LAVRA A CÉU ABERTO.....	11
FIGURA 6 - MATAÇÃO DE GRANITO	12
FIGURA 7 – FUROS NA ROCHA PARA COLOCAÇÃO DO EQUIPAMENTO CORTANTE.....	16
FIGURA 8 - SLOT DRILL	16
FIGURA 9 – TÉCNICA DE PERFURAÇÃO CONTÍNUA COM SLOT DRILL CONECTADO A EQUIPAMENTO PNEUMÁTICO.	16
FIGURA 10– BLOCOS EXTRAÍDOS COM APLICAÇÃO DE AGENTE EXPANSIVO.....	17
FIGURA 11 – LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	36
FIGURA 12 – MORRO DO ITAÓCA.	37
FIGURA 13- BLOCOS ROMPIDOS-J1	41
FIGURA 14- BLOCOS ROMPIDOS-J3	41
FIGURA 15- BLOCOS ROMPIDOS- AM	42
FIGURA 16- BLOCOS ROMPIDOS- AZ	42
FIGURA 17- BLOCOS ROMPIDOS- BR	43
FIGURA 18- BLOCOS ROMPIDOS- CI	43
FIGURA 19- BLOCOS ROMPIDOS- PR	44
FIGURA 20- BLOCOS ROMPIDOS- VD	44
FIGURA 21- BLOCOS ROMPIDOS- VM.....	45
FIGURA 22- BLOCOS ROMPIDOS	45
FIGURA 23- LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE COLETA	49
FIGURA 24 – ESQUEMA DE OBTENÇÃO DE VALORES PARA SEMIVARIOGRAMA A PARTIR DE REDE IRREGULAR	50
FIGURA 25 LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE COLETA	51
FIGURA 26- SEMIVARIOGRAMA NE-SO	53
FIGURA 27- LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DA ÁREA 1 (A1)	54
FIGURA 28- SEMIVARIOGRAMA N-S, PARA A1	55
FIGURA 29- SEMIVARIOGRAMA NO-SE	58
FIGURA 30- GRÁFICO DE VERIFICAÇÃO DOS VALORES ESTIMADOS.....	69
FIGURA 31- LOCALIZAÇÃO DE A1 NO SURFER	70
FIGURA 32- KRIGAGEM A1- SURFER.....	71
FIGURA 33- INVERSO PONDERADO DA DISTÂNCIA A1 - SURFER.....	72
FIGURA 34- MÍNIMA CURVATURA PARA A1- SURFER	73
FIGURA 35- REGRESSÃO POLINOMIAL A1 - SURFER.....	74
FIGURA 36- GRÁFICO DE VERIFICAÇÃO DOS RESULTADOS, COMPARANDO OS VALORES OBTIDOS DAS SUPERFÍCIES DO SURFER COM OS MEDIDOS EM ENSAIO	76

FIGURA 37- GRÁFICO DE VERIFICAÇÃO DOS RESULTADOS, COMPARANDO OS VALORES OBTIDOS DAS SUPERFÍCIES DO SURFER COM OS VALORES ESTIMADOS	77
FIGURA 38- SUPERFÍCIES GERADA PELO SURFER	78
FIGURA 39- LOCALIZAÇÃO PONTOS PARA APLICAÇÃO DA FUNÇÃO DE VARIABILIDADE...	79
FIGURA 40- VERIFICAÇÃO DOS VALORES DE T1, T2 E T3 POR VALIDAÇÃO CRUZADA.....	89
FIGURA A-1: DADOS DO ENSAIO DE COMPRESSÃO “POINT-LOAD”	100

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – COORDENADAS DOS PONTOS AMOSTRAIS	38
TABELA 2 – VALORES DE ENSAIO (MPA)	40
TABELA 3 – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES PARA CADA CP EM MPA, E A MÉDIA E DESVIO PADRÃO PARA CADA PONTO AMOSTRADO.....	47
TABELA 4 – CRITÉRIO DE CHAUVENET	47
TABELA 5 - APLICAÇÃO DO CRITÉRIO DE CHAUVENET	48
TABELA 6 – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES MÉDIA PARA CADA PONTO.....	48
TABELA 7 – DISTÂNCIA ENTRE OS PARES NA DIREÇÃO NE-SO EM FUNÇÃO DE H PARA ELABORAÇÃO DO SEMIVARIOGRAMA.	52
TABELA 8 – SEMIVARIÂNCIA.....	52
TABELA 9 – DISTÂNCIA ENTRE OS PARES DE A1 E QUADRADO DA DIFERENÇA PARA ELABORAÇÃO DO SEMIVARIOGRAMA NA DIREÇÃO N-S.	55
TABELA 10 – SEMIVARIÂNCIA (MPA ²)	55
TABELA 11 – DISTÂNCIA ENTRE OS PARES NA DIREÇÃO NO-SE EM FUNÇÃO DE H PARA ELABORAÇÃO DO SEMIVARIOGRAMA	57
TABELA 12 – SEMIVARIÂNCIAS NA DIREÇÃO NO-SE.	57
TABELA 13 – DISTÂNCIA ENTRE PONTOS DE A1	58
TABELA 14 – SEMIVARIÂNCIA ENTRE PARES DE A1(MPA ²).....	59
TABELA 15– VALORES MEDIDOS E ESTIMADOS.....	68
TABELA 16 – COMPARAÇÃO ENTRE AS OS VALORES DE RESISTÊNCIA MEDIDOS E ESTIMADOS	71
TABELA 17– COMPARAÇÃO ENTRE AS OS VALORES DE RESISTÊNCIA MEDIDO E ESTIMADOS	72
TABELA 18 – COMPARAÇÃO ENTRE AS OS VALORES DE RESISTÊNCIA MEDIDO E ESTIMADOS	73
TABELA 19 – COMPARAÇÃO ENTRE AS OS VALORES DE RESISTÊNCIA MEDIDOS E ESTIMADOS	74
TABELA 20 – VALORES DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES EM PONTOS DE A1	75
TABELA 21 – VALORES DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES EM PONTOS DE A1	75
TABELA 22 – COORDENADAS DE T1, T2 E T3.....	80
TABELA 23 – DISTÂNCIA ENTRE OS PONTOS DE A1 E OS PONTOS T1, T2 E T3.....	80
TABELA 24 – SEMIVARIÂNCIAS ENTRE OS PARES DE A1 INCLUINDO OS PONTOS T1, T2, E T3	80
TABELA 25 – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES: T1, T2 E T3 (MPA)	88
TABELA A-1: ENSAIO DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO JAZIDA 2 – METODOLOGIA DIRETA NA PRENSA MECÂNICA.....	99
TABELA A-2: ENSAIO DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO – POINT-LOAD JAZIDA 2.	101

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

A 1: Grupo formado pelas amostras mais próximas entre si, que reúne as amostras: AZ, BR, J1, J2, MR, PR, VM.

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

AM: Amostras coletadas em um determinado ponto, que foram identificadas pela cor amarela.

AZ: Amostras coletadas em um determinado ponto, que foram identificadas pela cor azul.

BR: Amostras coletadas em um determinado ponto, que foram identificadas pela cor branca.

CI: Amostras coletadas em um determinado ponto, que foram identificadas pela cor cinza.

CPRM Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

DNPM: Departamento Nacional de Produção Mineral

DRM-RJ Departamento de recursos minerais do Rio de Janeiro

J1: Amostras coletadas em um determinado ponto, que foram identificadas como jazida 1.

J2: Amostras coletadas em um determinado ponto, que foram identificadas como jazida 2.

J3: Amostras coletadas em um determinado ponto, que foram identificadas como jazida 3.

LECIV: Laboratório de Engenharia Civil

MDTs: Modelos Digitais de Terreno

MR: Amostras coletadas em um determinado ponto, que foram identificadas pela cor marrom.

PR: Amostras coletadas em um determinado ponto, que foram identificadas pela cor preta.

Rc: Resistência à compressão simples pelo método da mínima curvatura.

Rg: Resistência à compressão simples calculada por geoestatística utilizando o método da krigagem.

Ri: Resistência à compressão simples pelo método do inverso ponderado da distância.

Rk: Resistência à compressão simples pelo método da krigagem.

Rp: Resistência à compressão simples pelo método da regressão polinomial.

T1: Ponto de aplicação do modelo de variabilidade, denominado Ponto de Teste 1

T2: Ponto de aplicação do modelo de variabilidade, denominado Ponto de Teste 2

T3: Ponto de aplicação do modelo de variabilidade, denominado Ponto de Teste 3

VD: Amostras coletadas em um determinado ponto, que foram identificadas pela cor verde.

VM: Amostras coletadas em um determinado ponto, que foram identificadas pela cor vermelha.

RESUMO

A preocupação ambiental dos dias de hoje nos faz ter uma nova e necessária visão do desenvolvimento, é preciso produzir para atender a demanda, porém esse crescimento tem que vir acompanhado de uma política de preservação ambiental. Os bens minerais, dentre eles o assunto deste trabalho, as rochas ornamentais, são a matéria prima para o desenvolvimento em diversas áreas. As rochas ornamentais, bens não renováveis, deve ter sua exploração feita de forma controlada, minimizando a produção de rejeitos e dos impactos ambientais. Os maciços rochosos são heterogêneos, suas propriedades e conseqüentemente os seus parâmetros de permeabilidade, durabilidade, deformabilidade e resistência variam no espaço e no tempo. O conhecimento da variabilidade das características desejada no produto final é de suma importância para uma produção controlada. Neste trabalho o parâmetro escolhido para análise da variabilidade espacial foi resistência à compressão simples, por ser um parâmetro com mais referência publicadas e de ampla aplicação. Sendo os dados geológicos produto de fenômenos naturais que ocorreram há um determinado tempo e que sofre modificações constantes devido a ações da natureza, a variabilidade dos parâmetros pode ocorrer de diversas formas para um mesmo tipo de material em locais diferentes, essa é uma peculiaridade geológica frente a outros materiais. O presente trabalho faz uma análise do parâmetro resistência à compressão simples, a partir do ensaio de Resistência a compressão Point-Load, utilizando o método geoestatístico da krigagem e comparando-o a métodos de interpolação espacial clássicos de Regressão Polinomial, Inverso da Distância e Mínima Curvatura.

Palavras-Chave: mineração, geoestatística, rochas ornamentais, variabilidade espacial.

ABSTRACT

Nowadays the environmental concern make us to have a new and necessary vision of the development, it is necessary to produce to assist the demand, however that growth has to come accompanied of a politics of environmental preservation. The mineral goods, among them pay attention to it of this work, the ornamental rocks, are the matter excels for the development in several areas. The ornamental rocks, goods didn't renew, it should have it exploration done in a controlled way, minimizing the waste of production and of the environmental impacts. The solid ones rocky they are heterogeneous, their properties and consequently their permeability parameters, durability, deformability and resistance vary in the space and in the time. The knowledge of the variability of the characteristics wanted in the final product is of addition importance for a controlled production. In this work the chosen parameter for analysis of the space variability was resistance to the simple compression, for being a parameter with more reference published and of wide application. Being the data geological product of natural phenomena that you/they happened there is a certain time and that it suffers constant modifications due to actions of the nature, the variability of the parameters can happen in several ways for a same material type in different places, that is a peculiarity geological front the other materials. The present work makes an analysis of the parameter resistance to the simple compression, starting from the rehearsal of Resistance the compression Point-Load, using the geoestatistic method : kriging and comparing it to methods of interpolation space classic of Polynomial Regression, Inverse of the Distance to a Power and Minimum Curvature.

Word-key: mining, geoestatistics, ornamental rocks, space variability.

1. Introdução

As rochas ornamentais e seus produtos de beneficiamento estão cada vez mais presentes na construção civil, sendo seu maior uso como revestimento de pisos e paredes de interiores e exteriores.

O grande crescimento no beneficiamento de rochas se deve, em grande parte, a novas tecnologias para extração de blocos, e de corte e polimento de chapas. A evolução dessas técnicas tornou o processo mais eficiente, reduzindo custos e aumentando a qualidade do produto acabado.

A exploração de rochas ornamentais de forma ordenada e proveitosa requer o conhecimento além das suas características naturais que lhe conferem apreciação estética. A estabilidade da jazida, o controle na produção de rejeitos e a qualidade do material extraído podem ser otimizados a partir de um plano de corte projetado de acordo com o conhecimento relativo ao maciço rochoso a ser explorado.

O plano de corte quando bem executado permite um melhor aproveitamento de material, com consumo racional de energia com vistas a alcançar menor custo de produção, obtendo um produto final de qualidade sem grandes perdas.

A produção deve crescer para atender a demanda, porém de uma forma controlada, utilizando os recursos de maneira responsável, gerando o menor volume de rejeitos e menor consumo de energia.

Segundo Carvalho (2003), é necessário que a atividade extrativa contemple simultaneamente: o suprimento de matéria prima, a preservação dos recursos, e a preservação da qualidade ambiental. Desta forma a exploração dos recursos não é comprometida e ocorre em termos racionais e no respeito pelas regras de boas

As rochas constituem-se em materiais de elevada heterogeneidade e conforme a escala de mapeamento a ser adotada, a hipótese de classificação homogênea pode se revelar totalmente inadequada (Sturaro, 1993).

Conhecer as características do maciço a ser explorado é fator primordial para um planejamento da frente de corte, tornando a exploração mais eficiente e reduzindo o volume de rejeitos.

A criação de um modelo que represente a variabilidade dos parâmetros da jazida de rocha ornamental explorada é conseguida através da análise regional de suas características físicas e mineralógicas.

O presente trabalho faz uma análise de variabilidade espacial da resistência a compressão simples do Granito Cinza, da região de Ibitioca, localizada em Campos dos Goytacazes.

1.1 Objetivos

O trabalho tem como objetivo:

- obter uma visualização da variação da resistência à compressão que encontramos no granito explorado na região. Uma vez que em uma área relativamente pequena existe uma diversidade considerável de padrões para a mesma rocha;
- Introduzir no âmbito da mineração local a importância da investigação geológica como meio de se atingir um padrão de qualidade para o produto;
- Aplicar as ferramentas de análise de variabilidade espacial a prática de conscientização ambiental.

1.2 Motivação

O município de Campos dos Goytacazes tem grande potencial industrial em rochas ornamentais, sendo um dos principais produtores do estado. Para o crescimento da produção e redução dos impactos ambientais por ela causados faz-se necessário um planejamento das frentes de corte, baseado no conhecimento que se tem sobre o maciço rochoso explorado.

1.3. Rochas Ornamentais

1.3.1 Introdução a Rochas Ornamentais

Rocha Ornamental é o termo utilizado para designar rochas extraídas e trabalhadas, passíveis de polimento, com utilização na construção civil, arte funerária engenharia estrutural, entre outras aplicações. O termo corresponde a Classe VIII na classificação de bens minerais, que inclui blocos e chapas de rocha e material polido (Coelho, 1998).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) define rocha ornamental como material rochoso natural, submetido a diferentes graus ou tipos de beneficiamento ou afeiçoamento (bruta, aparelhada, apicoada, esculpida ou polida) utilizado para exercer uma função estética. A rocha natural que, submetida a processos diversos e graus variados de desdobramento e beneficiamento, é utilizada no acabamento de superfícies, especialmente pisos e fachadas, em obras de construção civil, é chamada de rocha para revestimento para a ABNT. Neste trabalho referimos a esses dois tipos de rochas como rocha ornamental.

Também conhecidas por pedras naturais, rochas lapídeas, rochas dimensionais e materiais de cantaria, abrangem os tipos litológicos que podem ser extraídos em blocos ou placas, cortados em formas variadas e beneficiados através de esquadrejamento, polimento, lustro, dentre outros beneficiamentos. Seus principais campos de aplicação incluem tanto peças isoladas, como esculturas, tampos e pés de mesa, balcões, lápides e arte funerária em geral, quanto edificações, destacando-se, nesse caso, os revestimentos internos e externos de paredes, pisos, pilares, colunas e soleiras.

As rochas ornamentais, pela suas características naturais, não precisam para seu emprego mais que a extração, e sua transformação em formas e/ou elementos adequados ao fim proposto para este material. Para tanto, torna-se indispensável o conhecimento das suas características petrológicas, químicas e mecânicas, além dos aspectos cromáticos e texturas, pois estas propriedades são as diretrizes básicas que norteiam e determinam sua aplicabilidade.

A composição química, mineralógica e arranjo dos cristais (textura), são características que definem as propriedades fundamentais de natureza física, mecânica e térmica das rochas ornamentais. O conjunto dessas propriedades determina uma série de especificação básicas que devem ser conhecidas na escolha dos materiais para diferentes finalidades (<http://www.drm.rj.gov.br>, em 20/04/2007).

As Rochas Ornamentais são materiais naturais que agregam valor principalmente através de suas características estéticas, destacando-se o padrão cromático; desenho; textura e granulação (<http://www.marble.com.br>, em 20/04/2007).

Os principais tipos de rochas utilizados como ornamentais são mármore (rochas metamórficas) e granitos (rocha plutônica). Esta classificação que predomina no mercado, é bastante genérica, e nem sempre corresponde à classificação correta da rocha. Atualmente no interior do Brasil, estão sendo explorados outros tipos de rochas, como quartzitos, ardósias (rochas metamórficas de origem sedimentar), basaltos (rocha vulcânica) e conglomerados (rochas sedimentares).

O termo Rocha Ornamental também engloba outros tipos de rochas, conhecidas genericamente no mercado como Pedras Naturais, nas quais estão incluídos: ardósias, quartzitos, arenitos, gnaisses e calcários, utilizados em placas rústicas, *in natura* não requerendo acabamento superficial para a aplicação em revestimento (Mattos & Rodrigues, 2002).

1.3.2 Classificação das Rochas

As Rochas podem ser encontradas na natureza em três categorias, Ígneas (ou Magmáticas), Metamórficas ou Sedimentares.

1.3.2.a Rochas Ígneas

As **rochas ígneas** apresentam as seguintes características:

- Alta dureza;
- Total ausência de fósseis;
- Total ausência de matéria orgânica,
- Ausência de estratificação, típica de outras rochas;

- Apresentam minerais típicos, como nefelina, cromita, leucita, trimidita e outros.
- Matéria vítrea pode fazer parte de sua composição, ocorrendo apenas nas extrusivas e chegando, em alguns casos, a constituir toda a rocha, como na obsidiana;
- Apresentam estruturas típicas, como granitóide, porfirítica, pegmatítica, fluidal, e outras.

São exemplos de rochas ígneas as rochas graníticas, dioríticas e os gabros, entre outras.

As rochas graníticas, de uma maneira geral são rochas ácidas e de coloração clara ou acinzentada, são muito apreciadas na construção civil pela sua incompressibilidade, beleza e resistência a intempéries.

O granito é a mais comum das rochas magmáticas, ocorre junto com as Gnaisses (metamórfica), no embasamento cristalino que forma os blocos continentais. A Serra da Mantiqueira e a Serra do Mar são exemplos de granito. Ocorre com várias cores: cinza claro a cinza bem escuro, amarelado, roxo ou vermelho. A variação de cor provém, em geral, da cor do feldspato, que é o mineral mais freqüente nos granitos. Compõe-se com predominância de ortoclásio, o quartzo é freqüente e plagioclásio sódico é comum. Contém ainda biotita ou moscovita e anfibólio, mais comumente a hornblenda e são rochas leucocráticas. Outros exemplos de rochas magmáticas plutônicas: sienito, diorito, gabro, peridotito e jacupiranguito (Sengik, 2005).

As rochas ornamentais oriundas do beneficiamento rochas ígneas apresentam alta resistência mecânica e, portanto, são apropriadas para suportar grandes esforços mecânicos e tráfego. Um exemplo de aplicação é o piso da Estação Sé do Metrô de São Paulo, (Figura 1), projetado para resistir a um fluxo intenso de pessoas.



(a) Piso Estação Sé, SP.



(b) Fluxo intenso na Estação Sé, SP.

Figura 1- Estação Sé

Fonte: (a) <http://www.estacaometropole.bravehost.com> e
(b) <http://www.linternaute.com>.

1.3.2.b Rochas Metamórficas

As **rochas metamórficas** provêm da transformação de todos os tipos de rochas. Os agentes responsáveis pela formação destas rochas são principalmente altas temperaturas e elevadas pressões. A extensa gama de cores e texturas faz das rochas metamórficas um tipo com bastante apelo estético, sendo muito utilizada como material de revestimento e bancadas.

As principais rochas metamórficas são: quartzito, mármore, filito, micaxisto, clorita xisto e gnaisse.

Mármore: provém do calcário ou do dolomito. Os grãos de calcita recristalizam-se formando cristais macroscópicos, apresentando uma aparência sacaróide. A cor varia do branco, rósea, esverdeada e preta. As impurezas recristalizam-se como mica, clorita, grafita, etc. Efervesce com HCl frio, e, quente quando dolomítico.

Gnaisse: são rochas metamórficas de estrutura orientada que no metamorfismo regional atingem grandes áreas, originando rochas como os gnaisses, micaxisto, filito e talcoxisto.

O metamorfismo de contato que origina uma estrutura maciça, originando rochas como o mármore, o quartzito e o itabirito. Atinge pequenas áreas, formando rochas por isso mais raras e mais caras (Sengik, 2005).

Um exemplo de construção com esse tipo de rocha é o Taj Mahal (Figura 2).



(a) Taj Mahal



(b) Detalhe de uma das torres

Figura 2 – Taj Mahal

Fonte: (a) <http://www.linternaute.com> ; e (b) <http://goasia.about.com>

1.3.2.c Rochas Sedimentares

São rochas resultantes do depósito e da sedimentação dos produtos do intemperismo de outras rochas. Os depósitos de sedimentos recém formados são moles e incoerentes como a areia de uma praia ou a argila de um manguezal. Com o passar do tempo e a evolução geológica, entretanto, novas camadas vão se acumulando e criando espessas formações de sedimentos que podem atingir centenas e até milhares de metros de espessura (Sengik, 2005).

As rochas sedimentares ornamentais apesar de menos resistentes à abrasão, também são muito utilizadas como elemento estrutural e mesmo de revestimento. Como exemplos de sua aplicação têm-se as pirâmides do Egito (Figura 3), e o Teatro Municipal de São Paulo (Figura 4), onde arenitos são empregados como elementos estruturais, na forma de blocos e colunas.



Figura 3 - Pirâmides do Egito

Fonte: <http://www.cienciahoje.pt>.



Figura 4 - Teatro Municipal de São Paulo

Fonte: <http://www.indexstock.com> .

1.3.3 Classificação Comercial

Comercialmente, a nomenclatura das rochas ornamentais não segue as classificações petrográficas. Dessa forma, “granitos” podem significar qualquer rocha silicática, assim como o quartzito dumortierita da Serra de Macaúbas, na Bahia, é denominado “granito azul macaúbas”. Outras nomenclaturas são peculiares ao setor, como “granitos movimentados” que designam gnaisses ou migmatitos, “mármore” englobam as rochas carbonáticas, sejam elas metamórficas ou não, tais

como mármore propriamente ditos, calcários, dolomitos, travertinos, mas também serpentinitos, pela menor dureza em relação a outras rochas silicáticas (Ferreira, 2004).

1.4. Revisão Bibliográfica: Produção de Rochas Ornamentais

1.4.1 Mineração e Rochas Ornamentais

A mineração é um dos setores básicos da economia do país, contribuindo de forma decisiva para o bem estar e a melhoria da qualidade de vida das presentes e futuras gerações, sendo fundamental para o desenvolvimento de uma sociedade equânime, desde que seja operada com responsabilidade social, estando sempre presentes os preceitos do desenvolvimento sustentável (Farias & Coelho, 2002).

O fortalecimento da economia está intimamente relacionado ao consumo de bens minerais. A atividade mineral disponibiliza para a sociedade recursos minerais essenciais ao seu desenvolvimento, sendo a intensidade de aproveitamento desses recursos um indicador social.

Tomando como exemplo o consumo per capita de agregados para a construção civil (areia + brita), este reflete a real intensidade estrutural de uma sociedade, pois está associado diretamente às vias de escoamento de produção, obras de arte, como viadutos e pontes, saneamento básico, hospitais, escolas, moradias, edifícios, energia elétrica e outros demais elementos intrínsecos ao desenvolvimento econômico e social de um povo. O caráter pioneiro da mineração resulta em novas fronteiras econômicas e geográficas, abrindo espaço para o desenvolvimento e gerando oportunidades econômicas. Como indústria de base, induz à formação da cadeia produtiva, do processo de transformação de minérios até os produtos industrializados. À medida que proporciona a interiorização da população, cria demandas por infra-estrutura e serviços, induz a instalação de indústrias de transformação e de bens de capital, gera empregos e renda, reduzindo as disparidades regionais (<http://www.minerpar.pr.gov.br>, em 03/06/2008).

A última consolidação de investimentos em mineração no Brasil aponta para US\$ 32 bilhões, nos próximos 4 a 5 anos. Os destaques brasileiros em mineração, por sua posição no ranking de produção mundial, merecem citação: ferro (1º), nióbio (1º), manganês (1º), bauxita (2º), grafita (3º), rochas ornamentais (4º), amianto (4º), magnesita (4º) e caulim (5º) (<http://www.planejamento.gov.br>, em 07/10/2008).

A construção civil depende fortemente de insumos minerais como areia e pedra britada. Além de aço e metais, consomem cimento, cal, vidro e produtos cerâmicos - todos provenientes da mineração. A construção e manutenção da infra-estrutura das habitações, prédios comerciais e industriais estão diretamente atrelados ao consumo de areia e pedra britada. A indústria cimenteira, por exemplo, não existiria sem a rocha calcária, a indústria cerâmica sem a argila e a indústria vidreira sem a areia (<http://www.marble.com.br>, em 29/09/2008).

No Brasil, a indústria da construção civil e edificações é responsável por 80% da demanda de rochas ornamentais e os segmentos de arte funerária, construção de monumentos e fabricação de objetos de arte e ornamentação, por 20% (<http://www.sebrae.com.br>, em 03/06/2008).

A mineração sempre causou grandes impactos ambientais e sociais, principalmente no passado, a partir de 1920 o Brasil investiu na construção de grandes rodovias, a realização dessas obras de grande vulto associada à disponibilidade tecnológica da época, fez da mineração uma atividade altamente agressiva ao meio ambiente. Esta combinação de fatores induziu o desenvolvimento de uma indústria mineral predatória, bastante generalizada no Brasil até os dias atuais.

No que respeita ao papel a desempenhar pela atividade extrativa na sociedade atual, não há dúvida de que a manutenção e mesmo melhoramento das nossas condições de vida está dependente dum contínuo suprimento de recursos minerais. Por outro lado, numa sociedade cada vez mais atenta às questões ambientais, em que a atividade extrativa é considerada como um dos principais agentes agressores em que na maior parte dos casos se confunde, injustamente, impacto visual com impacto ambiental, é cada vez maior a competição pelo uso do território (Carvalho, 2003).

1.4.2 Métodos de Lavras

Os métodos de lavra consistem num conjunto específico dos trabalhos de planejamento, dimensionamento e execução de tarefas de forma harmoniosa entre essas tarefas, e os equipamentos dimensionados. O planejamento inclui a individualização dos blocos com dimensões adequadas à etapa seguinte da cadeia produtiva, representada pelo *desdobramento* dos blocos em chapas (Reis & Sousa, 2003).

As lavras de rochas ornamentais são geralmente realizadas a céu aberto, Figura 5. Existe também a lavra subterrânea, que é uma evolução da primeira (Matta, 2003).



Figura 5 - Lavra a céu aberto

Fonte: <http://www.pmi.poli.usp.br>.

Existe diversos tipo de técnicas de exploração das jazidas. Entre eles se destacam a lavra de matacões, lavra por bancadas, lavra por painéis verticais, lavra por desabamento (ou desmoronamento), lavra em fossa (ou em poço) e lavra subterrânea.

1.4.2.a Lavra de matacões

Os matacões são corpos arredondados, que se desprendem dos maciços rochosos, por ação da erosão física, química e biológica ocorrida durante a passagem dos longos períodos da escala geológica (Matta, 2003).

Sua forma é devida à esfoliação esferoidal típica de rochas silicatadas e pouco deformadas, por isso os mármore e rochas carbonatadas não apresentam tal configuração. A figura 6 mostra um matacão com a esfoliação esferoidal bem visível. Este tipo de estrutura formada é conhecido como casca de cebola, que confere um formato arredondado nas rochas intemperizadas.

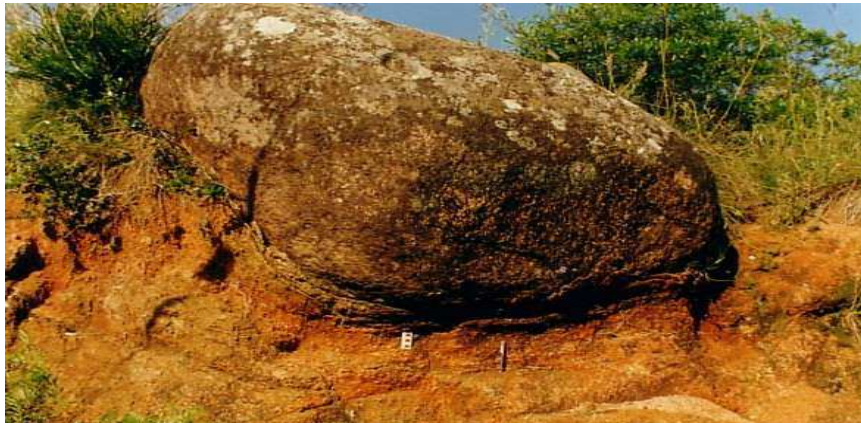


Figura 6 - Matacão de granito

Fonte: www.unb.br.

A exploração de matacões no Brasil é muito praticada por ser de baixo custo operacional e de investimentos.

Esse método de lavra consiste no aproveitamento das falhas naturais do maciço intemperizado, a primeira etapa do processo de extração é a retirada do solo que envolve a estrutura, em seguida o destacamento do bloco, para então o beneficiamento. O esquadrejamento dos blocos é feito através de cunhas manuais ou pneumáticas, neste caso faz-se uso de explosivos em furos coplanares e paralelos.

As vantagens principais do método são: implantação rápida do empreendimento, investimento inicial baixo, necessidade de pouco conhecimento técnico, equipamentos simples e custo operacional baixo. As desvantagens principais estão

relacionadas ao volume grande de estéril produzido, recuperação baixa e dificuldades em um planejamento mais abrangente (Reis e Sousa, 2003).

1.4.2.b Lavra em maciços rochosos

A lavra em maciços favorece uma maior aplicação de técnicas de exploração, além de oferecer mais segurança na produção, são também depósitos mais acessíveis a um planejamento de lavra, visto que para esses casos é possível ter um controle qualitativo e quantitativo da produção de blocos (Matta, 2003).

Os principais métodos de lavra em maciços rochosos são:

- Lavra por bancadas;
- Lavra por painéis verticais;
- Lavra por desabamento (ou desmoronamento);
- Lavra em fossa e em poço;
- Lavra subterrânea.

1.4.2.c Lavra por bancadas

É um método geralmente utilizado quando a configuração da pedreira atinge uma geometria regular. Este método pode ser conduzido através de bancadas altas ou baixas.

Geralmente as bancadas altas são utilizadas em maciços que apresentam grandes heterogeneidades texturais e estruturais. As bancadas altas constituem grandes pranchas de altura entre 4 e 16m. (Matta, 2003). As maiores desvantagens desse método de lavra é um menor controle da estabilidade e com isso um maior riscos de acidentes, além de uma maior produção de rejeitos (Coelho, 1998).

As bancadas baixas, por sua vez, é a opção quando a jazida é dita como homogênea. Esse método possibilita alterações na orientação da frente de lavra de

acordo com as características estruturais e texturais do maciço. Permite também maior controle da estabilidade da frente de lavra.

1.4.2.d Lavra por painéis verticais

Esse método de lavra é frequentemente utilizado quando a pedreira esta em sua fase inicial, em maciços menos fraturados. Assim como no caso de bancadas altas, esse método possibilita a seletividade frente a uma heterogeneidade do maciço, e também apresenta as mesmas desvantagens em relação à segurança e a produção de rejeitos.

1.4.2.e Lavra por desabamento (ou desmoronamento)

É um método utilizado quando o terreno é muito acidentado e o maciço rochoso apresenta fraturamento complexo ou estratificação subvertical de rochas (Coelho, 1998).

Normalmente o desmonte é na ordem de 3000 a 5000 m³ de rocha por vez, com o uso de explosivos. Após o desmonte, são selecionados os blocos maiores e com formas apropriadas para o esquadramento e a produção de blocos comercializáveis. O aproveitamento neste método é muito baixo, de 10 a 15% (Matta, 2003).

1.4.2.f Lavra em fossa e em poço

São métodos aplicados em jazidas que ocorrem geralmente em planícies ou em relevos bastante suaves. As depressões são normalmente limitadas pelo nível do lençol freático, que torna necessário o bombeamento da água durante o processo de produção (Matta, 2003).

1.4.2.g Lavra subterrânea

A lavra subterrânea é a evolução da lavra a céu aberto. É um método de lavra indicado nos casos de extremo valor econômico associado à natureza da ocorrência geológica. É um método frequentemente adotado em rochas moles (carbonatadas), mas também ocorre, embora raramente, em jazidas de rochas duras. É um método com impacto paisagístico mínimo, porém tem alto custo, principalmente devido aos

cuidados em relação à estabilidade do maciço, é viável apenas para rochas ornamentais com alto valor de mercado.

1.4.3 Tecnologias de Corte

As tecnologias de corte em para rochas são divididas em dois tipos, cíclicas e de corte contínuo.

As tecnologias de corte cíclico exigem execução de furos, e alguns utilizam de explosivos de baixa velocidade de choque. Já nas de corte contínuo não há necessidade de furação.

1.4.3.a Tecnologias de Cortes Cíclicos

➤ Perfuração e explosivos

Consiste na perfuração da rocha com furos coplanares e paralelos ou com uso de marteleto pneumático. Os furos podem receber explosivos do tipo pólvora, nitrato de amônia, cordel detonante e cartuchos explosivos de baixa velocidade de choque. A carga de explosivo deve ser adequada, de forma que o plano de fogo seja suficiente para isolar uma fatia de rocha (Matta, 2003).

➤ Perfuração contínua

Este tipo de corte é executado sem uso de explosivos. São executados diversos furos, bem próximos ou adjacentes um dos outros (Figura 7), por um equipamento conhecido como corta blocos (*slot drill*), mostrado na Figura 8, a estes cortadores são acoplados marteletes pneumáticos que simultaneamente com a atuação do cortador provocam uma fenda contínua (Figura 9). É uma técnica que provoca menos perda de material, se comparada a técnicas com utilização de explosivos, porém a execução desse tipo de corte é de alto custo.



Figura 7 – Furos na rocha para colocação do equipamento cortante

Fonte: <http://www.geology.enr.state.nc.us>.



Figura 8 - Slot drill

Fonte: <http://www.rs-components.co.uk/>.

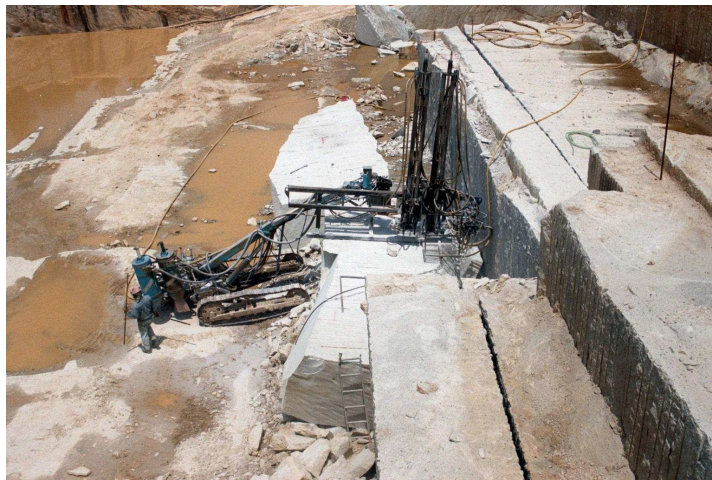


Figura 9 – Técnica de perfuração contínua com slot drill conectado a equipamento pneumático.

Fonte: <http://www.geology.enr.state.nc.us>.

➤ **Divisão mecânica por cunhas**

A rocha é perfurada por diversos furos separados linearmente em espaços curtos e posterior divisão com aplicação de cunhas, sobre lingüetas de metal posicionadas sobre os furos é feita percussão manual com auxílio de marreta.

➤ **Divisão por agentes expansivos**

São executados diversos furos com espaçamentos curtos entre eles, assim como na técnica de divisão mecânica por cunhas. A diferença é que nos furos é aplicada massa auto expansiva. Ao se expandir no interior do furo cria tensões na região do furo, provocando fissuras que rompem o material linearmente, na direção dos furos. A Figura 10 mostra blocos cortados pela técnica de divisão por agentes expansivos.



Figura 10– Blocos extraídos com aplicação de agente expansivo.

Fonte: <http://www.chimicaedile.it/port/fractport.htm>.

1.4.3.b Tecnologias de cortes contínuos

➤ **Fio helicoidal e diamantado**

O fio helicoidal é composto por três fios de aço trançados em forma de helicóide, durante o processo de corte, o fio é puxado por motor e orientado por roldanas. São usados normalmente para separar grandes pranchas de mármore, rochas relativamente macias. A operação de corte por esta técnica é executada em conjunto com uma lama abrasiva (70% de água e 30% de areia quartzosa), que corta o mármore enquanto resfria o fio (Matta, 2003).

Assim como o fio helicoidal, o fio diamantado é tracionado por motor e utiliza roldanas no seu sistema, para orientação do plano de corte. É composto por fio de aço de 5 mm de diâmetro, no qual são fixadas pérolas diamantadas com cerca de 10 mm de diâmetro, que cortam a rocha (Matta, 2003).

➤ **Chama térmica (*flame jet*)**

Nessa técnica de corte são usadas lanças com bico que suportam injeção de até 2500 °C (Matta, 2003). A chama é produzida por uma mistura contendo diesel e ar comprimido. O efeito do calor atinge principalmente o quartzo, por este mineral possuir dois coeficientes distintos de dilatação, por isso é indicado para rochas silicatadas. Esse tipo de corte provoca fendas de até 10 cm de largura, o principal inconveniente deste método é as laterais da fenda geralmente são afetadas por micro fraturas em até 30 cm cada uma, em razão do alto calor produzido pela chama.

➤ **Cortador a corrente**

Os cortes são efetuados a partir de uma sucessão de planos paralelos, podem ser feitos planos horizontais ou verticais, os equipamentos cortantes movem-se sobre trilhos ou colunas, dependendo da direção do plano de corte. O cortador a corrente é empregado em corte tanto de rochas carbonatadas (macias) como de silicatadas (duras), neste caso os dentes das correntes contêm plaquetas de diamante. É uma técnica limpa e produtiva.

➤ **Jato de água (*waterjet*)**

Essa técnica de corte contínuo consiste no lançamento de um fio de água a uma velocidade entre 300 e 500m/s através de um equipamento ejetor conectado a uma bomba de alta pressão. Esse procedimento gera uma pressão na rocha na ordem de 150 a 300 MPa, superando a resistência da rocha, e então provocando o corte. Essa técnica possibilita a obtenção de blocos regulares e com mais qualidade, aumentando a produtividade, principalmente se comparada à técnica que utilizam explosivos.

1.4.4 Impactos Ambientais Causado pelo Processo Extrativo

Toda a atividade tem o seu impacto ambiental. Mesmo o simples ato de escrever numa folha de papel com um lápis tem um impacto ambiental: produz calor. Dependendo das circunstâncias, o impacto ambiental de uma determinada atividade pode ir de insignificante a extremamente sério e a necessidade de o gerir varia proporcionalmente (Carvalho, 2003).

Os recursos minerais encontram-se distribuídos de forma heterogênea no globo terrestre. Cotidianamente são procurados, descobertos, avaliados e explorados pelo homem, indispensáveis que são ao seu bem-estar, conforto e à melhoria de sua qualidade de vida. Os minerais ocorrem na superfície, no subsolo, no leito dos rios, na plataforma continental e no fundo dos oceanos. Cada minério, por apresentar características próprias, exige processos específicos de pesquisa, lavra e beneficiamento, antes de ser colocado à disposição do consumidor (Nora, 2006).

A exploração de rochas ornamentais por sua própria natureza causa uma série de impactos ambientais. Segundo Carvalho, (2003).esses impactos se restringem ao local da extração e não têm efeitos globais além das zonas vizinhas.

Em geral, a mineração provoca um conjunto de efeitos não desejados que podem ser denominados de externalidades, tais como: alterações ambientais, conflitos de uso do solo, depreciação de imóveis circunvizinhos, geração de áreas degradadas e transtornos ao tráfego urbano.

De acordo com a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM (2002), os principais problemas oriundos da mineração podem ser englobados em cinco categorias: poluição da água, poluição do ar, poluição sonora, subsidência do terreno, incêndios causados pelo carvão e rejeitos radioativos.

Os efeitos ambientais estão associados, de modo geral, às diversas fases de exploração dos bens minerais, como à abertura da cava, (retirada da vegetação, escavações, movimentação de terra e modificação da paisagem local), ao uso de explosivos no desmonte de rocha (sobreprensão atmosférica, vibração do terreno, ultralançamento de fragmentos, fumos, gases, poeira, ruído), ao transporte e

beneficiamento do minério (geração de poeira e ruído), afetando os meios como água, solo e ar, além da população local (Bacci et al, 2006).

Gerir uma atividade deste tipo requer um equilíbrio delicado entre as regras pré-estabelecidas, a adaptação às realidades locais e as iniciativas dos exploradores das pedreiras locais. Não há dúvida de que os potenciais efeitos variam consideravelmente conforme o meio-ambiente, e isto exige uma abordagem de gestão tão flexível como adaptável (Carvalho, 2003).

O que ainda justifica uma atividade tão ameaçadora ao meio ambiente é o crescimento econômico que esta atividade promove. Uma região onde exista uma pedreira instalada não depende de fornecimento oriundos de outras regiões para as indústrias, fábricas e para o comércio de material de construção local. Além disso a pedreira gera empregos para os moradores locais, e atrai empresas para a região.

Segundo Carvalho (2003) as razões para avançar com a exploração, mesmo diante dos impactos ambientais, podem ir desde a qualidade excepcional do mineral a extrair até à necessidade de fornecer às indústrias locais (construção, vidreiras, fábricas de cerâmica, fábricas de tintas, etc.) as matérias-primas de que necessitam. É importante realçar que uma pedreira tem uma importância vital na economia de uma região. Isto é particularmente óbvio em certas zonas rurais onde a pedreira, ou outras empresas que a fornecem ou são por elas contratadas, praticamente dão trabalho a toda a população.

1.5. Mercado de Rochas Ornamentais

1.5.1 Panorama Mundial e Brasileiro

A exploração industrial de rochas ornamentais teve início no século anterior, e principalmente na Itália que essa atividade industrial começou a converter-se em um importante setor da indústria mineira, alcançando maior crescimento nos últimos 50 anos (Matta, 2003).

As primeiras indústrias de beneficiamento de mármore no Brasil foram implantadas em moldes artesanais por imigrantes italianos e portugueses, no século XIX. Somente em 1982 é registrada pelo Cadastro Geral das Minas brasileiras do DNPM, a Indústria de Mármore Italva LTDA, primeira mina de mármore do Brasil, localizada

no Rio de Janeiro, no município de Campos (Matta, 2003). Atualmente o Brasil integra o grupo dos maiores produtores de rochas ornamentais do mundo, que inclui Itália, China, Índia, Espanha e Portugal.

Segundo os dados preliminares do Anuário Mineral Brasileiro 2006, considerando as reservas recuperáveis (30% das reservas medidas), as estimativas apontam para um volume de 6 bilhões de metros cúbicos de rochas ornamentais no Brasil.

A produção mundial de rochas para ornamentação e revestimento atinge a ordem de 92,7 mil toneladas por ano. A China, Índia, Itália, Brasil, Irã, Turquia e Espanha, despontam respectivamente como os principais produtores e expressivos exportadores mundiais. A China, que responde por quase 25% da produção mundial, é estimulada pelo vigoroso crescimento da construção de habitações decorrentes do seu processo de urbanização e da política agressiva de exportações.

Segundo o DNPM, em 2006 as exportações brasileiras totais de rochas ornamentais somaram o equivalente a 2,5 milhões de toneladas totalizando US\$ 1,045 bilhão. Este mercado vem crescendo ano a ano e exigindo um conhecimento técnico cada vez melhor da matéria prima.

A região Sudeste responde por cerca de 70% a 75% do consumo nacional de rochas ornamentais, no Brasil.

Cerca de 70% da produção mundial é transformada em chapas e ladrilhos para revestimentos, 15% é desdobrada em peças para arte funerária, 10% para obras estruturais e 5% para outros campos de aplicações. O consumo de rochas é estimado em 600 milhões de m²/ano, sendo os produtos cerâmicos, com um consumo de 3,8 bilhões de m²/ano, seus principais concorrentes na construção civil (Ferreira, 2004).

1.5.2 Mercado Regional

As Regiões Norte e Noroeste Fluminense são os maiores produtores de rochas ornamentais do estado do Rio de Janeiro. As rochas ornamentais destas regiões

em fase de exploração e pesquisa receberam os seguintes nomes comerciais: Granito Cinza Prata, Granito Copacabana, Granito Coral, Granito Dourado, Granito Floral Pádua Prata, Granito Floral Pádua Rosa, Granito Juparaná Gold, Granito Juparaná Salmão, Granito Santa Cecília Light, Granito Verde Barroco, Granito Vermelho Toulon, Granito Preto Toulon, Granito Amarelo Toulon, Granito Amarelo, Granito Branco Aperibé, Mármore Cintilante e Mármore Branco Italva.

Segundo a distribuição litológica das rochas ornamentais na região há predominância do tipo granito, incidindo em 266 áreas, com características desde as de cores claras (branco, amarelo) a de cores escuras (cinza claras) e de granulação variando desde fina a grosseira (<http://www.drm.rj.gov.br>, em 20/04/2007).

Destacam-se no contexto, os granitos de Campos dos Goytacazes, com 55 direitos minerários (Alvarás de Pesquisa), predominando os do tipo intrusivo, representados pelo granito Cinza Prata, de granulação média, com aspecto de um plúton de feição circular, na região de Ibitioca; e o granito Juparaná Salmão, de granulação fina, com aspecto de corpo tabular, de preenchimento de fratura e/ ou falha, apresentando feição de possível aplito, ocorrendo na região de Itereré – Morangaba (<http://www.revistarochas.com.br>, em 07/10/2008).

Estas áreas compreendem 05 (cinco) regiões distintas, onde a exploração mineral vem se desenvolvendo:

- **Ibitioca:** granito cinza-prata (granito);
- **Morangaba:** granito verde (charnoquito), granito juparaná rosé (leptinito) e granito branco (leptinito);
- **Itereré:** granito verde (charnoquito) e granito juparaná rosé (leptinito);
- **Morro do Coco:** granito cinza (granito) e granito verde (charnoquito);
- **Imbé:** granito verde (charnoquito).

1.6 Estrutura do Trabalho

Esta dissertação de mestrado está estruturada em nove capítulos. O primeiro capítulo introduziu a questão exploração das rochas ornamentais e suas implicações, além de destacar os objetivos e motivação deste trabalho. O primeiro

capítulo também traz uma introdução sobre as rochas ornamentais, extração e comercialização.

Os próximos assuntos abordados por capítulos:

- Capítulo 2: Este capítulo apresenta uma revisão bibliográfica de estatística descritiva e dos métodos de interpolação espacial: regressão polinomial, mínima curvatura e inverso ponderado da distância.
- Capítulo 3: No terceiro capítulo encontra-se uma revisão bibliográfica sobre geoestatística, que é o método escolhido para a análise da área de estudo.
- Capítulo 4: No capítulo quatro é mostrado todo o programa experimental e seus resultados, bem como, uma análise estatística dos valores obtidos nos ensaio.
- Capítulo 5: Análise Geoestatística
- Capítulo 6: Aplicação dos métodos de interpolação pelo software Surfer para comparação com a estimativa por geoestatística.
- Capítulo 7: Neste capítulo, após análise geoestatística dos dados, gera-se uma superfície de distribuição dos valores esperados de resistência à compressão para a área analisada do maciço.
- Capítulo 8: Conclusão e sugestão para próximos trabalhos.
- Capítulo 9: Referências bibliográficas.

2. Revisão Bibliográfica: Estatística e Métodos de Interpolação

2.1 Estatística descritiva

Antes da aplicação das ferramentas geoestatísticas, os dados devem ser analisados inicialmente através dos procedimentos da análise estatística descritiva, para visualizar o comportamento geral dos dados e identificar possíveis valores discrepantes, fundamental para a tomada de decisões sobre os procedimentos a serem realizados (Salviano, 1996).

Nos casos em que os atributos estudados apresentam valores discrepantes, esses devem ser descartados e, nessas situações deve-se aplicar novamente os procedimentos da análise descritiva sem os valores discrepantes.

Os parâmetros estatísticos que descrevem um conjunto de dados podem ser divididos em três classes (Spiegel, 1993):

- de tendência ou posição central;
- de dispersão;
- assimetria e curtose.

Geralmente as medidas de tendência central são insuficientes para descrever plenamente um conjunto de dados, sendo necessário utilizar as medidas de dispersão para enriquecer essa descrição (Fietz, 1998).

Usam-se como medidas de dispersão ou variabilidade dos dados em torno da média, o desvio padrão, amplitude total (dada pela diferença entre o valor mínimo e máximo), variância, coeficiente de variação, assimetria e curtose (Libardi et al., 1996).

As medidas de dispersão visam fornecer o grau de variabilidade das observações, geralmente utilizando como padrão uma medida de tendência central (Silveira et al., 1989).

Analisando as medidas de dispersão também pode-se confirmar se um dado é realmente um valor discrepante ou não, se sim, a retirada do mesmo implicaria num menor valor da medida (Salviano, 1996).

Grossi-Sad, em 1986, revela que um modo muito objetivo de se estimar a variabilidade das amostras é comparar o comportamento do parâmetro estudado com modelos teóricos, utilizando-se curvas de distribuição de frequência. As curvas de frequência mais usuais, obtidas a partir de variáveis do solo são: a curva normal ou de Gauss e logarítmica normal (Grossi-Sad, 1986; Spiegel, 1993).

Se a distribuição não é normal, significa que a média aritmética é uma medida bastante influenciada pelos valores extremos, não sendo uma medida de tendência central adequada para a representação dos dados (Queiroz, 1995; Farias, 1999; Eguchi, 2001).

O fato dos dados das variáveis não se ajustarem a uma distribuição normal implica na limitação da utilização de métodos oriundos da estatística clássica, para os quais esse requisito é básico (Mead & Curnow, 1983).

2.2 Introdução aos Métodos de Interpolação Espacial

A interpolação espacial é um procedimento de extrema importância na Ciência da Informação Geográfica, e pode ser usada para:

- fornecer isolinhas, que permitam uma visualização gráfica;
- calcular o atributo da superfície num determinado ponto;
- alterar a unidade espacial, o que permite a comparação quando se usa diferentes estruturas de dados em diferentes camadas;
- auxiliar processo de decisão espacial.

A base de muitos métodos de interpolação é a mesma. O valor de um ponto a ser estimado (z^*) é a somatória dos produtos entre o valor da variável de um ponto conhecido (Z_i) por um peso calculado λ_i , variando de 1 a n , onde n representa o número total de pontos considerados (Landim et al., 2002a), conforme equação (1).

$$Z^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot Z_i \quad (1)$$

Os métodos de interpolação espacial podem ser globais ou locais, sendo que os métodos globais consideram toda a população de pontos, permitem interpolar o valor da função em qualquer ponto dentro do domínio de dados originais. No caso de métodos globais qualquer valor adicionado ou removido terá consequência no domínio de definição da função, são métodos globais:

- Polinômios;
- Equações multiquadráticas.

Já os métodos de interpolação locais consideram uma zona próxima ao ponto que esta sendo interpolado. Neste caso a alteração de um valor altera localmente os pontos próximos ao mesmo. Os seguintes métodos são métodos locais de interpolação espacial:

- Triangulação;
- Inverso da potência das distâncias;
- Base radial (krigagem, multiquádrica-biharmônica, splines).

Os métodos que serão utilizados neste trabalho são: Geoestatística (krigagem ordinária), Regressão Polinomial, Mínima Curvatura e Inverso da Distância. A análise da variabilidade do parâmetro medido será analisada a partir da krigagem, os demais métodos de interpolação serão empregados na confecção de superfícies pelo software surfer, para comparação com a krigagem.

2.3 Regressão Polinomial

Segundo Landim & Corsi (2001), regressão polinomial é o método pelo qual uma superfície é ajustada por critérios de regressão por mínimos quadrados, aos valores de Z_i como uma função linear das coordenadas x-y dos pontos amostrados e irregularmente distribuídos.

A equação matemática utilizada para o ajuste da superfície baseia-se nos polinômios não ortogonais, o ajuste é feito pela adição de termos (ordens) à equação polinomial.

Após o ajuste da superfície aos dados amostrados, segundo o grau desejado, os valores de Z^*_i para os nós da grade são calculados. Solucionando as equações, com determinação dos coeficientes, as mesmas são utilizadas para o cálculo de Z^* para qualquer valor de x - y .

2.3.1 Equações Polinomiais:

Superfície de primeira ordem, equação (2):

$$Z^* = a + bx + cy \quad (2)$$

Superfície de segunda ordem, equação (3):

$$Z^* = a + bx + cy + dx^2 + exy + fy^2 \quad (3)$$

Superfície de terceira ordem, equação (4):

$$Z^* = a + bx + cy + dx^2 + exy + fy^2 + gx^3 + hx^2y + ixy^2 + jy^3 \quad (4)$$

Superfície de quarta ordem, equação (5):

$$Z^* = a + bx + cy + dx^2 + exy + fy^2 + gx^3 + hx^2y + ixy^2 + jy^3 + kx^4 + lx^3y + mx^2y^2 + nxy^3 + oy^4 \quad (5)$$

Onde:

Z^* é o valor estimado de Z^*_i para o nó da célula, e é uma variável dependente;

x e y são as coordenadas x_i e y_i , são variáveis independentes;

a, b, c, \dots são coeficientes que proporcionam o melhor ajuste dos dados amostrados.

2.3.2 Análise de Superfície de Tendência

O comportamento espacial de variáveis mapeáveis pode ser mostrado com os valores distribuindo-se segundo curvas de mesmo valor, também conhecidas como isopletras. O método da análise de superfícies de tendência pode, então ser utilizado

para evidenciar tal situação, pois segundo esse procedimento define-se, além das grandes e sistemáticas mudanças existentes na área, aquelas pequenas, aparentemente não ordenadas flutuações, que se impõem aos padrões mais gerais (Landim & Corsi, 2001).

Ainda segundo Landim & Corsi (2001), a análise de superfícies de tendência é uma técnica relativamente simples e muito útil quando os mapas de tendência e os respectivos resíduos podem ser interpretados a partir de um ponto de vista espacial ou quando o número de observações é limitado de modo que a interpolação possa ser baseada nos poucos dados disponíveis.

2.3.3 Metodologia Utilizada para a Análise por Regressão Polinomial

No presente trabalho a coleta de dados foi executada de forma irregular, o que normalmente acontece em dados geológicos, portanto o recurso a ser usado é o método da regressão polinomial. O método usual, neste caso, para ajuste dos dados é o da regressão por mínimos quadrados. As superfícies geradas e os respectivos desvios são examinados para verificação da sua implicação geológica.

Para este trabalho será utilizado o software Surfer 6.0 para a interpolação por regressão polinomial.

2.4 Mínima Curvatura

O método da mínima curvatura é muito utilizado nas ciências da terra. O método interpola os dados da malha de uma superfície utilizando derivadas segundas contínuas e minimizando a curvatura quadrada total.

Em uma dimensão, o método da mínima curvatura utiliza a função com derivadas segundas contínuas, interpolando os dados com restrição exatamente como a curvatura mínima total é interpolada com as splines cúbicas naturais. Já em duas dimensões, o método da mínima curvatura interpola uma spline bicúbica natural, com a mesma oscilação e pontos de inflexão unidimensionais (Andriolo, 2006).

O algoritmo da mínima curvatura é representado pela equação (6):

$$c = \iint (\nabla^2 x)^2 dx dy \quad (6)$$

2.5 Inverso Ponderado da Distância

É o método mais utilizado dentre os métodos de distância ponderada é também o método utilizado para a interpolação e geração de MDTs (Modelos Digitais de Terreno).

O peso dado durante a interpolação é tal que a influência de um ponto amostra em relação a outro diminui conforme aumenta a distância ao nó da grade a ser estimado.

Desta forma os pontos mais próximos ao ponto a ser estimado recebem peso maior que os pontos amostrados de localização mais distantes, ao calcular um valor de um nó, a soma de todos os pesos dados aos pontos amostrados vizinhos é igual a um, ou seja, é atribuído um peso proporcional à contribuição de cada ponto vizinho.

Quando a posição de uma observação coincide com um nó, seu valor recebe peso um, enquanto todos os valores vizinhos recebem peso zero. O resultado neste caso, será o nó recebendo o valor exato da observação ali situada.

O valor do nó estimado é encontrado como mostrado na equação (7).

$$Z^* = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{Z_i}{h_{ij}^\beta}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{h_{ij}^\beta}} \quad (7)$$

Onde:

Z^* é o valor interpolado para o nó reticulado (grid);

Z_i é o valor (resíduo) do ponto amostrado vizinho ao nó;

h_{ij} é a distância entre o nó da grade e Z_i ;

β é expoente de ponderação (peso) e

n é o número de pontos amostrados utilizados para interpolar cada nó.

3.Revisão Bibliográfica: Geoestatística

Geoestatística é um ramo da matemática une o conceito de variáveis aleatórias com o conceito de variáveis regionalizadas, gerando um novo conceito de funções aleatórias, que são posteriormente processadas por aplicativos computacionais.

A metodologia geoestatística procura extrair, de uma aparente aleatoriedade dos dados coletados, as características estruturais probabilísticas do fenômeno regionalizado, ou seja, uma função de correlação entre os valores situados numa determinada vizinhança e direção no espaço amostrado (Landim & Sturaro, 2002b). Assim, os métodos geoestatísticos fornecem um conjunto de ferramentas para entender a uma aparente aleatoriedade dos dados, mas com possível estruturação espacial, estabelecendo, desse modo, uma função de correlação espacial.

A metodologia proposta pela geoestatística difere da proposta pela estatística clássica, basicamente, na forma de avaliar a variação dos dados. Enquanto a estatística clássica pressupõe não haver relação entre a variação e a distância entre pontos de amostragem, isto é, as variações são aleatórias no espaço, a geoestatística considera existir uma dependência da variação com o espaço de amostragem e que, em parte, essas variações são sistemáticas (Silva, 1988).

Para aplicação da geoestatística, um conjunto de amostras homogeneamente distribuído na região-alvo seria o ideal, mas isto poderia vir acompanhado por um viés provocado pela presença de algum padrão embutido no próprio perfil da região (Lamparelli et al. 2001). Por essa razão, certa aleatorização sempre é preferida. Apesar de a aleatorização vir acompanhada por certa dificuldade de localização das amostras, e talvez uma incompleta cobertura da área estudada quando o número de amostras não é suficientemente grande, estimadores de estatísticas como média e variância não são viciados nesse caso.

De acordo com Vieira & Neto (1995) os cálculos utilizados em geoestatística não requerem o conhecimento da distribuição de freqüências da variável analisada.

A interdependência dos valores é determinada pela função semivariograma (também denominada variograma em algumas literaturas).

As ferramentas da geoestatística permitem a análise de dependência espacial, a partir do ajuste de semivariogramas experimentais a uma função simples, segundo um modelo matemático. A caracterização da variabilidade espacial é conseguida por meio do mapeamento da variabilidade a partir da estimativa, sem tendenciosidade, de dados para locais não amostrados. Com a utilização destas ferramentas pode-se analisar, adequadamente, dados de experimentos, com a possibilidade de obter informações não reveladas pela estatística clássica (Salviano, 1996).

O semivariograma é a parte central da Geoestatística, capaz de descrever a estrutura de dependência espacial, além de ser o ponto chave na determinação do preditor geoestatístico (krigagem). Estes fatos demonstram a importância de se tratar adequadamente a questão da seleção e ajuste de modelos espaciais para semivariogramas experimentais (Mello et al, 2005).

Em um variograma podem ser distinguidos três parâmetros básicos:

- 1) Alcance (a):** Distância entre pares de variáveis a partir da qual os mesmos tornam-se independentes;
- 2) Soleira (C + Co):** Nível de variabilidade que indica que não existe mais correlação entre as amostras;
- 3) Efeito Pepita (Co):** Corresponde à cota do ponto onde o variograma corta o eixo das ordenadas, evidenciando uma descontinuidade na origem do gráfico. Conforme Landim [4], o efeito pepita pode ser atribuído a erros de medição ou ao fato de que os dados não foram coletados a intervalos suficientemente pequenos para mostrar o comportamento espacial subjacente do fenômeno em estudo (Genevois & Oliveira, 2002).

O primeiro passo na construção de variogramas é o traçado de um variograma experimental que é baseado na variância das diferenças entre os valores $Z(x_i)$ e $Z(x_i + h)$. Esse variograma representa a média do quadrado dos acréscimos da variável estudada, na direção definida pelo vetor h (Genevois & Oliveira, 2002).

Segundo Folegatti (1996), para o ajuste de semivariogramas a normalidade dos dados não é necessária, mas desejável. Caso a distribuição não seja normal, mas seja razoavelmente simétrica, podem-se admitir as hipóteses necessárias à construção do semivariograma.

Assim, o semivariograma é um procedimento que é utilizado para medir a dependência entre pontos amostrais separados pela distância h , distribuídos em um sistema espacial de referência (Uribe-Opazo et al, 2006).

O método geoestatístico utilizado neste trabalho será a avaliação dos dados pela krigagem ordinária pontual.

A diferença entre a krigagem e outros métodos de interpolação é a maneira como os pesos são atribuídos às diferentes amostras. No caso de interpolação linear simples, por exemplo, os pesos são todos iguais a $1/N$ (N = número de amostras); na interpolação baseada no inverso do quadrado das distâncias, os pesos são definidos como o inverso do quadrado da distância que separa o valor interpolado dos valores observados. Na krigagem, o procedimento é semelhante ao de interpolação por média móvel ponderada, exceto que aqui os pesos são determinados a partir de uma análise espacial, baseada no semivariograma experimental. Além disso, a krigagem fornece, em média, estimativas não tendenciosas e com variância mínima (Camargo, 1998)

Dentre os métodos de estimativas mais usuais o método geoestatístico da krigagem ordinária pode ser considerado como o melhor estimador linear sem viés, por ter as seguintes características, Sturaro (1993):

- Linear: as estimativas são feitas através de uma combinação linear dos dados;
- Sem viés: o método objetiva que o erro residual médio seja zero;
- Melhor estimador: o método objetiva minimizar a variância dos erros.

A krigagem é um método que permite estimar o valor desconhecido associado a um ponto, área ou volume, a partir de um conjunto de n dados $\{Z(x_i), i=1, \dots, n\}$

disponíveis, onde \mathbf{x}_i , identifica uma posição em duas dimensões representada pelos pares de coordenadas (x_i, y_i) .

O valor desconhecido de $Z(\mathbf{x}_0)$ pode ser estimado a partir de uma combinação linear dos n valores observados, adicionado a um parâmetro, λ_0 (Camargo,1998).

Conforme indica a equação (8), o estimador ($Z^*(x_0)$) poderá ser obtido como uma combinação linear dos dados disponíveis.

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot Z(x_i) \quad (8)$$

Onde:

- $Z(x_0)$ é a variável interpolada;
- λ_i : peso da i -ésima localidade vizinha;
- $Z(x_i)$ é o valor da variável para a i -ésima localidade;
- n : número de localidades vizinhas empregadas para interpolação do ponto.

Os ponderadores ($\lambda_i, i=1, \dots, n$) são obtidos da resolução de um sistema linear de equações, denominado sistema de equações de krigagem, conforme o desenvolvimento matemático na equação (9), para $i=1, \dots, n$.

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n \lambda_j C(x_i, y_j) - \alpha = C(x_i, y_0) \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \end{cases} \quad (9)$$

Onde:

- $C(x_i, y_j)$ e $C(x_i, y_0)$ são respectivamente, a semivariância entre os pontos \mathbf{x}_i e \mathbf{x}_j e entre os pontos \mathbf{x}_i e \mathbf{x}_0 ;
- α é o multiplicador de Lagrange necessário para a minimização da variância do erro.

O objetivo da krigagem é buscar o melhor conjunto de ponderadores, de tal modo que a variância do erro seja a mínima possível. Trata-se, portanto, de encontrar o mínimo da função variância do erro. A variância do erro (σ_E^2) da krigagem é dada pela equação (10) a seguir:

$$\sigma_E^2 = \text{Var}\{Z(x_0) - Z^*(x_0)\} \quad (10)$$

3.1 Aplicação da Geoestatística na Geotecnia

Hoje em dia a geoestatística tem sua aplicação nas mais diversas áreas do conhecimento, como hidrogeologia, meio ambiente, geotecnia e oceanografia.

A geoestatística que pode ser utilizada como subsídio à solução de vários problemas em geotecnia ambiental, principalmente em regiões urbanizadas (Sturaro et. al, 2000).

O comportamento aparentemente aleatório dos dados é originado através do desconhecimento que se tem de todos os processos e das suas interações no fenômeno natural. Dentro deste quadro, os modelos geoestatísticos surgem como uma consistente alternativa para modelar este comportamento (Dayrell, 2000).

A integração de dados geotécnicos a uma base cartográfica precisa e confiável permite a utilização de todas as funcionalidades contidas nos sistemas de informações geográficas. Para tanto é necessário que haja uma mudança de cultura na coleta destes dados, fazendo com que os mesmos possuam um sistema de coordenadas baseado em critérios cartográficos e não aleatórios (Miranda et. al, 2006).

A geoestatística é considerada, por alguns autores, uma geotecnologia.

Segundo Bitar et al. em 2000, as geotecnologias compreendem múltiplas aplicações das geociências para a solução de problemas de engenharia e o aproveitamento de

recursos naturais. Nesta linha, Correia em 2004 identifica as geotecnologias como um conjunto sofisticado de ferramentas, instrumentos e técnicas que inclui desde o trabalho com fotografias aéreas e GPS até o sensoriamento remoto e que garante a qualidade dos trabalhos que dependem diretamente de informações espaciais (Brandalize et. al, 2006).

Assim como Correia em 2004, outros autores identificam e ampliam o conjunto de ferramentas, instrumentos e técnicas compreendidas pelas geotecnologias. Desta forma, fazem parte do referido conjunto, a geologia e a geotecnia Bitar et al. em 2000; a geografia, a geomorfologia, o geoprocessamento e a geoestatística Samizava & Nunes, 2005; o geoprocessamento e o sensoriamento remoto Medina et al., 2003. Desta forma, é possível definir que as geotecnologias são um conjunto que reúne ciências e tecnologias que se preocupam em coletar, armazenar e processar informações georreferenciadas (também denominadas geoinformações) com a finalidade de conhecer, administrar e utilizar, de forma consciente, os recursos terrestres. Tal conjunto compreende, portanto, ciências como a geologia, a geomorfologia, a pedologia, a geotecnia, a geodésia, a geofísica e a cartografia, além de tecnologias específicas como o geoprocessamento, a geoestatística, o sensoriamento remoto e a fotogrametria, embora a fotogrametria e o sensoriamento remoto também possam ser caracterizados como ciência. Nestes dois últimos casos, os produtos resultantes dos levantamentos técnicos, bem como, os processos para sua efetiva utilização (geração de mapas temáticos) é que constituem a base das geotecnologias (Brandalize et. al, 2006).

4. Configuração do Local e Ensaio

4.1 Configuração do Ambiente Estudado:

O Distrito de Ibitioca, local de estudo é uma localidade de atividade rural e mineira. A atividade mineira da região é realizada pela Marbrasil, além de pequenos produtores de blocos e da extração clandestina.

Na região, mapa na Figura 11, estão localizados pontos turísticos do Município de Campos, como a Lagoa de Cima, e o Morro da Itaóca (Morro do Rato), mostrado na Figura 12, local muito procurado para prática de esportes radicais.



Figura 11 – Localização da área de estudo.

Fonte: Google Earth



Figura 12 – Morro do Itaóca.

Fonte: www.trilhaseaventuras.com.br

4.2 Coleta de Dados

As rochas foram coletadas em Ibitioca em duas saídas de campo, além dessas saídas outras foram feitas, para conhecimento do local e contato com trabalhadores da região.

Nesta etapa do projeto optou-se por não escolher os pontos de coleta, uma vez que a retirada do material dependia da disponibilidade de pedreiros no local, e muitas vezes o contato com esses trabalhadores não foi possível. A localização dos pontos de coleta, portanto, foi determinada pela disponibilidade de material e de mão-de-obra local.

Na primeira saída de campos foram coletados blocos em três jazidas, esses blocos foram identificados como: jazida 1, jazida 2 e jazida 3 (J1, J2 e J3).

Na segunda saída para coleta de amostra, foi feito contato com pedreiro local, que cortou blocos em oito locais, esses blocos foram identificados com as cores: amarelo, azul, branco, cinza, marrom, preto, verde e vermelho, cada cor para cada

bloco coletado. Esses blocos foram identificados como: AM, AZ, BR, CI, MR, PR, VD e VM.

A tabela 1 a seguir apresenta as coordenadas x (direção Norte – Sul) e y (direção Leste – Oeste) para cada ponto amostral.

Tabela 1 – Coordenadas dos pontos amostrais

Pontos	Coordenadas	
	x	y
AM	247080	7586294
AZ	248025	7586851
BR	247882	7587427
CI	246263	7584908
J1	248069	7587143
J2	248306	7586779
J3	246223	7585028
MR	247988	7587543
PR	247903	7587000
VD	246374	7586377
VM	247930	7587425

Os blocos extraídos no campo, em Ibitioca, distrito de Campos dos Goytacazes, foram levados para o município de Cachoeiro de Itapemirim-ES, onde foram cortados, na marmoraria Art Cachoeiro, no tamanho dos corpos de prova, conforme padrões da ABNT, para o ensaio de Resistência à Compressão Simples.

O ensaio de Compressão Simples foi substituído pelo ensaio de Resistência Point-Load, para que o ensaio pudesse ser realizado na prensa eletro-mecânica do Laboratório de Estruturas do LECIV – UENF.

4.3 Programa Experimental

4.3.1 Materiais e métodos

Os ensaios foram realizado na prensa ELE Internacional Versa Teste, do laboratório de estruturas do LECIV (Figura 12).

Durante os ensaios de compressão simples surgiram dificuldades com a prensa, que precisou de manutenção, o reparo não pode ser feito à tempo e alternativa encontrada foi o uso de um multímetro acoplado a máquina para leitura da tensão.

O ensaio de resistência Point-Load foi escolhido devido à capacidade da prensa, que no laboratório de Estruturas é utilizada para molde de argamassas, concretos e solo-cimentos. Como os corpos de rochas apresentam uma resistência elevada, o ensaio realizado foi o Point –Load e a resistência a compressão simples foi obtida de forma indireta, através do parâmetro K.

O ajuste do parâmetro K foi realizado pelo aluno da graduação em Engenharia Civil José Luiz Hernandez Dias, bolsista de Iniciação Científica, que realizou o ensaio de Resistência a Compressão Simples na prensa mecânica do LECIV e o ensaio Point – Load na prensa elétrica.

A determinação da constante K por Dias (2008) é mostrada no Anexo I deste trabalho.

4.4 Dados dos Ensaiois

4.4.1 Resistência Medida

A tabela 2 a seguir mostra todos os valores obtidos no ensaio (em MPa), os conjuntos de amostra são representados por J1, J2, J3, AM, AZ, BR, CI, MR, PR, VD e VM, e r1, r2, ..., r16 são referentes ao número do corpo de prova.

Tabela 2 – Valores de Ensaio (MPa)

	J1	J2	J3	AM	AZ	BR	CI	MR	PR	VD	VM
r1	119,4	139,5	167,8	113,9	150,4	149,5	105,7	107,5	143,1	84,7	116,7
r2	134,0	140,4	182,4	120,3	141,3	149,5	115,7	109,4	135,8	99,3	133,1
r3	120,3	134,9	158,6	134,9	113,9	145,9	100,2	98,4	168,7	114,8	104,8
r4	151,3	132,2	154,1	119,4	134,0	137,6	135,8	109,4	135,8	96,6	127,6
r5	150,4	157,7	157,7	134,9	151,3	165,0	127,6	109,4	115,7	113,9	123,0
r6	124,9	116,7	142,2	144,0	151,3	138,6	116,7	88,4	142,2	132,2	147,7
r7	145,9	150,4	184,2	128,5	165,0	131,3	124,0	123,0	135,8	100,2	109,4
r8	139,5	155,0		121,2	129,4	123,0	123,0	85,6	113,0	96,6	126,7
r9	134,0	103,0		121,2	150,4	123,0	142,2	105,7	122,1	90,2	116,7
r10	124,9	132,2		113,9	128,5	120,3	108,4	117,6	143,1	101,1	147,7
r11		147,7		122,1	145,9	124,9	140,4	96,6	142,2	97,5	126,7
r12		153,2		128,5	140,4	124,9	120,3	128,5	130,3	93,8	129,4
r13		124,9		135,8	137,6		103,0	91,1	115,7	129,4	127,6
r14				122,1			150,4	108,4	151,3	74,7	
r15				124,0			137,6		120,3	96,6	
r16										104,8	

As figuras a seguir, Figura 13 a Figura 21 mostram os blocos rompidos para cada grupo de amostras, e a Figura 22 todos os blocos após a realização do ensaio Point-Load.

O próximo item deste capítulo, item 4.4.2, faz uma análise estatística dos dados obtidos no ensaio.



Figura 13- Blocos rompidos-J1



Figura 14- Blocos rompidos-J3



Figura 15- Blocos rompidos- AM



Figura 16- Blocos rompidos- AZ



Figura 17- Blocos rompidos- BR



Figura 18- Blocos rompidos- CI



Figura 19- Blocos rompidos- PR



Figura 20- Blocos rompidos- VD



Figura 21- Blocos rompidos- VM



Figura 22- Blocos rompidos

4.4.2 Análise Estatística dos Dados de Ensaio

A tabela 3 a seguir apresentam os resultados da resistência medida em MPa, para cada população de amostra. A partir dos resultados obteve-se as medidas de estatística usuais para cada grupo de amostras. Na tabela os grupos de amostra, que são representados pelo número da jazida, ou pela cor que foram identificados estão organizados verticalmente, enquanto nas linhas da tabela estão os números dos CPs, denominado r_1, r_2, \dots, r_{16} . Os grupos são compostos por número diferente de CP devido ao tamanho do bloco retirado do maciço, e ao formato, que possibilitou a retirada de mais cubos em alguns casos.

A partir da tabela 3 é aplicado o critério de Chauvenet (tabela 4) para que o conjunto de amostras tenha representatividade para aquele ponto de coleta. O critério de Chauvenet é baseado na comparação entre a relação da diferença do valor de cada ponto e a média com o desvio padrão. O valor calculado desta relação (d/s) não deve ser maior que o valor de d/s crítico que depende do número de amostras, conforme tabela 4.

A tabela 5, a seguir, mostra o valor de d/s calculado, d/s crítico e indica quais valores devem ser descartados para cada ponto.

As cédulas preenchidas de amarelo na tabela 5 são referentes às amostras que devem ser descartadas, que são: r_9 do grupo J2, r_3 do AZ, r_3 do BR e r_3 do grupo PR.

Na tabela 6 são colocadas as médias de cada ponto após a exclusão pelo Chauvenet, são esses valores que serão utilizados para aplicação dos métodos de interpolação. Estão indicados também na tabela 6 as coordenadas x e y , o nome e a abreviatura de cada ponto amostral.

Tabela 3 – Resistência à compressão simples para cada CP em Mpa, e a Média e Desvio Padrão para cada ponto amostrado.

	J1	J2	J3	AM	AZ	BR	CI	MR	PR	VD	VM
r1	119,4	139,5	167,8	113,9	150,4	149,5	105,7	107,5	143,1	84,7	116,7
r2	134,0	140,4	182,4	120,3	141,3	149,5	115,7	109,4	135,8	99,3	133,1
r3	120,3	134,9	158,6	134,9	113,9	145,9	100,2	98,4	168,7	114,8	104,8
r4	151,3	132,2	154,1	119,4	134,0	137,6	135,8	109,4	135,8	96,6	127,6
r5	150,4	157,7	157,7	134,9	151,3	165,0	127,6	109,4	115,7	113,9	123,0
r6	124,9	116,7	142,2	144,0	151,3	138,6	116,7	88,4	142,2	132,2	147,7
r7	145,9	150,4	184,2	128,5	165,0	131,3	124,0	123,0	135,8	100,2	109,4
r8	139,5	155,0		121,2	129,4	123,0	123,0	85,6	113,0	96,6	126,7
r9	134,0	103,0		121,2	150,4	123,0	142,2	105,7	122,1	90,2	116,7
r10	124,9	132,2		113,9	128,5	120,3	108,4	117,6	143,1	101,1	147,7
r11		147,7		122,1	145,9	124,9	140,4	96,6	142,2	97,5	126,7
r12		153,2		128,5	140,4	124,9	120,3	128,5	130,3	93,8	129,4
r13		124,9		135,8	137,6		103,0	91,1	115,7	129,4	127,6
r14				122,1			150,4	108,4	151,3	74,7	
r15				124,0			137,6		120,3	96,6	
r16										104,8	
Média	134,5	137,5	163,8	125,7	141,5	136,1	123,4	105,6	134,4	101,7	125,9
Desvio Padrão	12,0	16,1	15,3	8,6	13,1	14,0	15,5	12,6	15,3	14,9	12,6

Tabela 4 – Critério de Chauvenet

n	d/s
1	
2	
3	
4	1,54
5	1,65
6	1,73
7	1,80
8	1,85
9	1,91
10	1,96
11	1,99
12	2,03
13	2,06
14	2,10
15	2,13
16	2,16

Tabela 5 - Aplicação do critério de Chauvenet

	J1	J2	J3	AM	AZ	BR	CI	MR	PR	VD	VM
d/s1	1,25	0,12	0,26	1,36	0,68	0,95	1,14	0,15	0,57	1,13	0,73
d/s2	0,04	0,18	1,21	0,62	0,02	0,95	0,50	0,29	0,10	0,16	0,57
d/s3	1,17	0,16	0,34	1,07	2,10	0,69	1,50	0,57	2,25	0,88	1,67
d/s4	1,40	0,33	0,64	0,73	0,57	0,11	0,80	0,29	0,10	0,34	0,13
d/s5	1,33	1,26	0,40	1,07	0,75	2,06	0,27	0,29	1,22	0,82	0,23
d/s6	0,80	1,30	1,42	2,13	0,75	0,17	0,44	1,37	0,51	2,04	1,72
d/s7	0,95	0,80	1,33	0,33	1,79	0,35	0,04	1,38	0,10	0,10	1,31
d/s8	0,42	1,09		0,52	0,92	0,93	0,02	1,59	1,40	0,34	0,06
d/s9	0,04	2,15		0,52	0,68	0,93	1,21	0,01	0,80	0,77	0,73
d/s10	0,80	0,33		1,36	0,99	1,13	0,97	0,95	0,57	0,03	1,72
d/s11		0,63		0,41	0,33	0,80	1,10	0,72	0,51	0,28	0,06
d/s12		0,97		0,33	0,09	0,80	0,20	1,82	0,26	0,52	0,28
d/s13		0,79		1,18	0,29		1,32	1,15	1,22	1,86	0,13
d/s14				0,41			1,75	0,22	1,11	1,81	
d/s15				0,20			0,92		0,92	0,34	
d/s16										0,21	
n	10	13	7	15	13	12	15	14	15	16	13
d/s crítico	1,96	2,06	1,80	2,13	2,06	2,03	2,13	2,10	2,13	2,16	2,06

Tabela 6 – Resistência à compressão simples média para cada ponto.

Ponto	Abreviatura	x	y	Resistência
				Média
Jazida 1	J1	248069	7587143	134,5
Jazida 2	J2	248306	7586779	140,4
Jazida 3	J3	246223	7585028	163,8
Verde	VD	246374	7586377	101,7
Amarelo	AM	247080	7586294	125,7
Azul	AZ	248025	7586851	143,8
Marrom	MR	247988	7587543	105,6
Preto	PR	247903	7587000	131,9
Branco	BR	247882	7587427	133,5
Vermelho	VM	247930	7587425	125,9
Cinza	CI	246263	7584908	123,4

5. Aplicação da Geoestatística:

5.1 Calibração do Semivariograma

Os dados disponíveis para aplicação da geoestatística estão irregularmente distribuídos no espaço bidimensional (conforme a Figura 23). No caso de distribuição regular os pontos de coleta teriam uma distância h entre pontos e seria adotada uma direção para elaboração do semivariograma.

Neste caso a distribuição sendo irregular, justifica uma tolerância de Δh na distância entre os pontos e uma tolerância de $\Delta \alpha$ no ângulo formado entre o eixo x e a orientação escolhida.



Figura 23- Localização dos pontos de coleta

Fonte : Dias, 2009

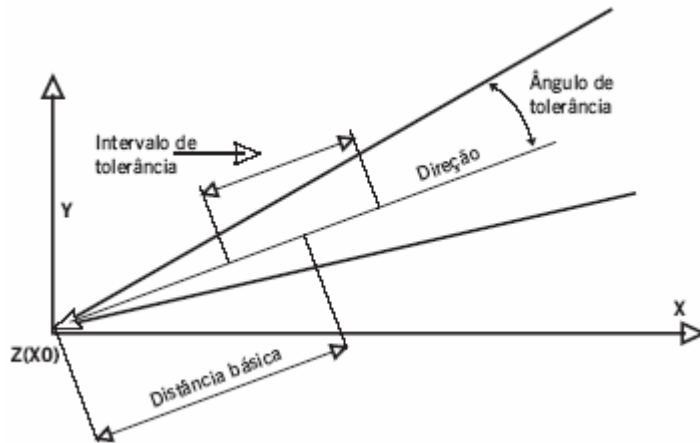


Figura 24 – Esquema de obtenção de valores para semivariograma a partir de rede irregular

Fonte: Landim, 2003

5.1.1 Construção do semivariograma para a direção NE – SO

A figura 25 representa a distribuição dos pontos de coleta com as cores correspondente aos nomes de cada grupo ensaiado.

Para a direção nordeste – sudoeste os pares e as respectivas distância (m) estão organizados na tabela 7, a partir do valor da menor distância entre dois pontos na direção NE-SO é calculado o valor h (em unidade de distância) para a construção do semivariograma.

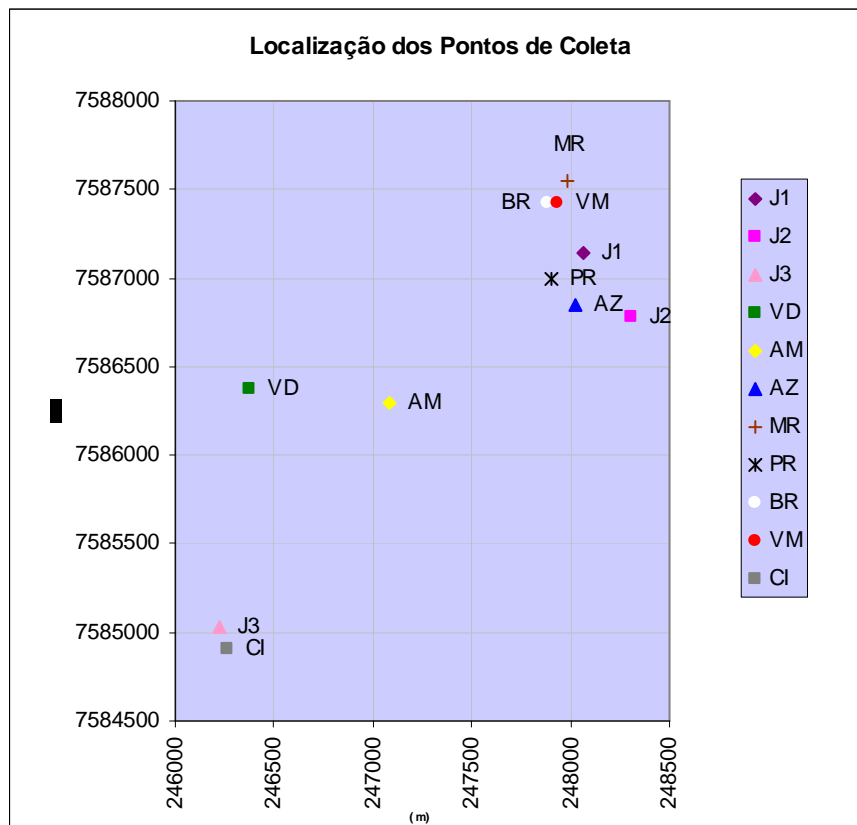


Figura 25 Localização dos pontos de coleta

Para o cálculo das semivariâncias é preciso que o valor de h seja um número inteiro, para que exista um valor de n para cada valor de h existente, por isso, as distâncias entre os pares foram divididas pelo valor da menor distância, sendo esta entre o par MR – VM, e todos os valores obtidos em função de h foram arredondados.

Na tabela 8 estão os valores de n, ou seja, a quantidade de pares, para cada unidade de distância, e o valor da semivariância.

A semivariância é calculada pela soma do quadrado da diferença das médias entre os pontos de cada par com o mesmo valor de h, dividido por duas vezes o número de pares, como na equação 11.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n} \sum (x_i - x_{i+h})^2 \tag{11}$$

Tabela 7 – Distância entre os pares na direção NE-SO em função de h para elaboração do semivariograma.

		d (m)	h (131,48 m)
MR	VM	131,48	1
MR	BR	157,14	1
MR	AM	1544,17	12
MR	VD	1991,12	15
MR	J3	3072,53	23
MR	CI	3149,42	24
VM	AM	1414,8	11
VM	VD	1876,02	14
VM	J3	2942,7	22
VM	CI	3018,97	23
BR	AM	1388,13	11
BR	VD	1837,54	14
BR	J3	2916,76	22
BR	CI	2994,42	23
J1	PR	219,1	2
J1	AM	1303,43	10
J1	VD	1860,05	14
J1	J3	2807,3	21
J1	CI	2873,48	22
PR	AM	1084,33	8
PR	VD	1651,05	13
PR	J3	2590,6	20
PR	CI	2658,21	20
AZ	AM	1096,94	8
AZ	J3	2563,31	19
AZ	CI	2622,96	20
J2	J3	2721,19	21
J2	CI	2770,29	21
J2	AM	1318,45	10
AM	J3	1528,79	12
AM	CI	1608,88	12

Tabela 8 – Semivariância

h	n	Semivariância (MPa²)
1	2	296,73
2	1	3,24
8	2	101,59
10	2	73,48
11	2	15,37
12	3	310,59
13	1	537,57
14	3	446,21
15	1	7,93
19	1	200,80
20	3	233,60
21	3	283,72
22	3	413,44
23	3	582,51
24	1	157,81

O semivariograma para a direção NE-SO é mostrado na figura 26.

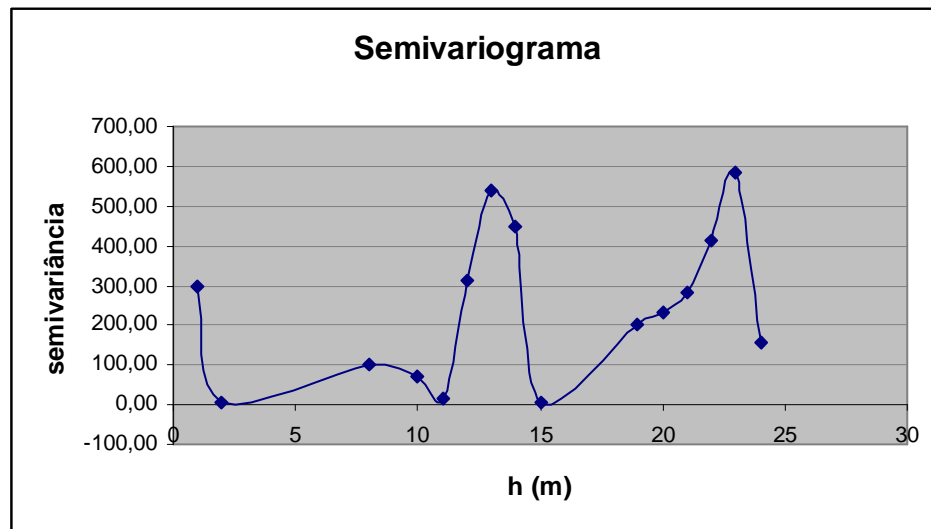


Figura 26- Semivariograma NE-SO

A função de variabilidade não é contínua, portanto é preciso avaliar outra direção, ou mesmo verificar se existe descontinuidade no campo.

Como é visto na figura 23 existe uma maior densidade de pontos na região mais a NE, melhor observado no esquema de localização da figura 25, na parte superior direita da rede de distribuição irregular.

5.2 Semivariograma Considerando Pontos da Área 1 (A1)

Neste caso serão analisadas as amostras: J1, J2, AZ, BR, MR, PR, VM. A rede de distribuição dos pontos é mostrada na figura 27.

Para esta nova área denominou-se A1 (área 1) que compreende os pontos acima citados, e ilustrados na figura 27.

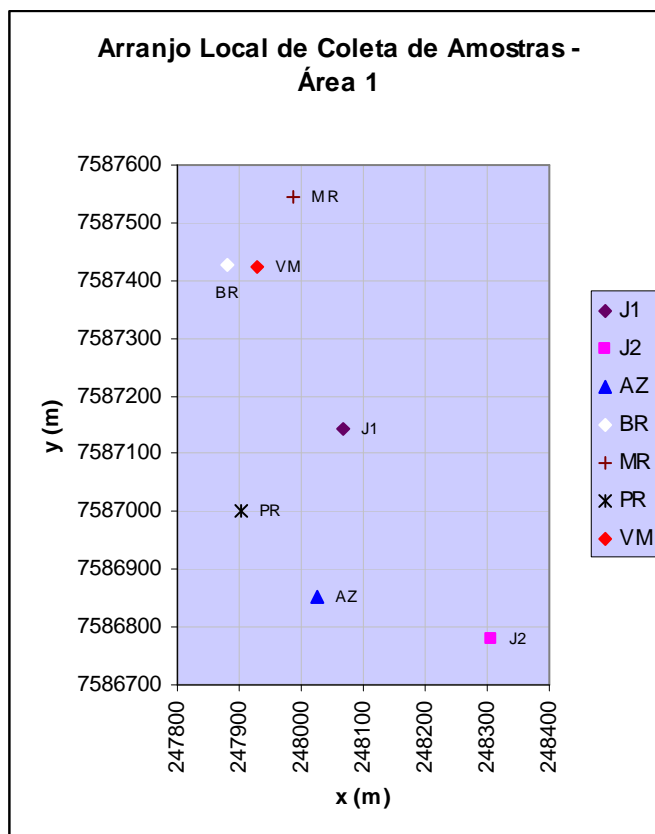


Figura 27- Localização dos pontos da área 1 (A1)

A partir desta região, em que os pontos estão localizados mais próximos uns dos outros é feita uma análise do comportamento da variabilidade nas direções Norte-Sul, Leste – Oeste, Nordeste –Sudoeste e Noroeste – Sudeste.

5.2.1 Semivariograma para Área 1 na direção N-S

A tabela 9 a seguir apresenta os pares possíveis para a construção do semivariograma no sentido N-S. As distâncias entre os pares foram divididas pela menor distância, o que ocorre no par J1-AZ, para obter um valor unitário para h. A tolerância para o valor de h é de 0,4h, ou seja 40%, e a tolerância para o ângulo é de 15 graus, portanto os pares estão disposto entre si na direção norte-sul com uma tolerância máxima de 15 graus a oeste e 15 graus a leste. Para esta direção J2 não faz par, portanto não contribui na semivariância.

Tabela 9 – Distância entre os Pares de A1 e Quadrado da Diferença para Elaboração do Semivariograma na Direção N-S.

PARES		DISTÂNCIA (m)	ÂNGULO (graus)	h (h = 295,3m)	h (unidade)	QUADRADO DA DIFERENÇA DA RESISTÊNCIA (MPa)
BR	PR	427,5	2,8	1,4	1	2,5
VM	PR	425,9	3,6	1,4	1	35,8
VM	AZ	581,8	9,4	2,0	2	319,7
MR	J1	408,1	11,4	1,4	1	829,8
MR	AZ	693,0	3,1	2,3	2	1456,0
J1	AZ	295,3	8,6	1,0	1	87,5

A tabela 10 mostra os valores da semivariância para as duas distâncias, $h = 1$, e $h = 2$, sendo h o equivalente a 295,3m.

A seguir, na figura 28, é mostrado o semivariograma para a direção N-S.

Tabela 10 – Semivariância (MPa^2)

n	h	λ
4	1	119,44
2	2	443,92

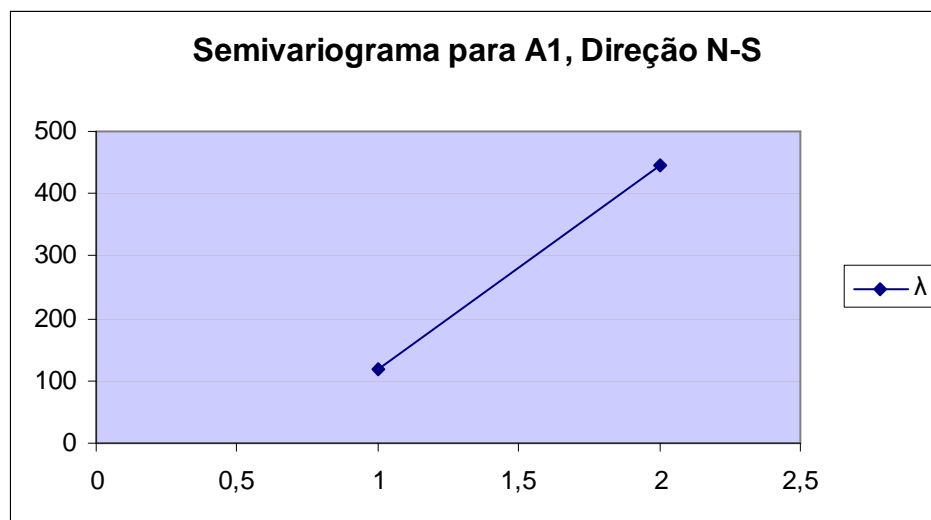


Figura 28- Semivariograma N-S, para A1

Como mostrado na figura 28 a semivariância aumenta à medida que a distância entre os pontos também aumenta, porém esse semivariograma está baseado em

uma análise com apenas duas distância, h e $2h$, um número insuficiente para conhecer a variabilidade da jazida.

5.2.2 Semivariograma para Área 1 na direção L-O

Como visto na figura 27, para a elaboração do semivariograma na direção Leste – Oeste somente um par estaria dentro da tolerância de 15 graus à norte e à sul, que seria o par BR e VM, portanto não é possível um semivariograma nesta direção L-O.

5.2.3 Semivariograma para Área 1 na direção NE-SO

Para a direção Nordeste –Sudoeste apenas dois pares estariam contribuindo para a elaboração do semivariograma, e seriam os pares, MR-BR e J1-PR. A análise da variabilidade nesta direção além de não ter número suficiente de pares e de h , também estaria desconsiderando os valores medidos em J2, AZ e VM, pontos que pertencem a A1.

5.2.4 Semivariograma na direção NO-SE

Para a direção noroeste – sudeste os pares, e as respectivas distância em metros estão organizados na tabela 11, a partir do valor da menor distância entre dois pontos na direção NO-SE é calculado o valor h (em unidade de distância) para a elaboração do semivariograma.

Tabela 11 – Distância entre os pares na direção NO-SE em função de h para elaboração do semivariograma

PARES ÁREA 1		d (m)	h (192,57 m)
MR	J1	408,12	2
MR	J2	827,54	4
VM	J1	314,40	2
VM	J2	747,46	4
BR	J1	340,04	2
BR	J2	774,39	4
BR	AZ	593,49	3
J1	J2	434,36	2
PR	AZ	192,57	1
PR	J2	459,62	2

A tabela 12 a seguir, mostra o valor calculado (equação 11) para cada valor de h.

Tabela 12 – Semivariâncias na direção NO-SE.

h	n	Semivariância (MPa ²)
1	1	70,77
2	5	101,04
3	1	53,11
4	3	243,84

O semivariograma obtido para esta direção (NO-SE) é mostrado na figura 29, a partir do semivariograma tem-se a função de variabilidade da resistência a compressão simples para a área analisada.

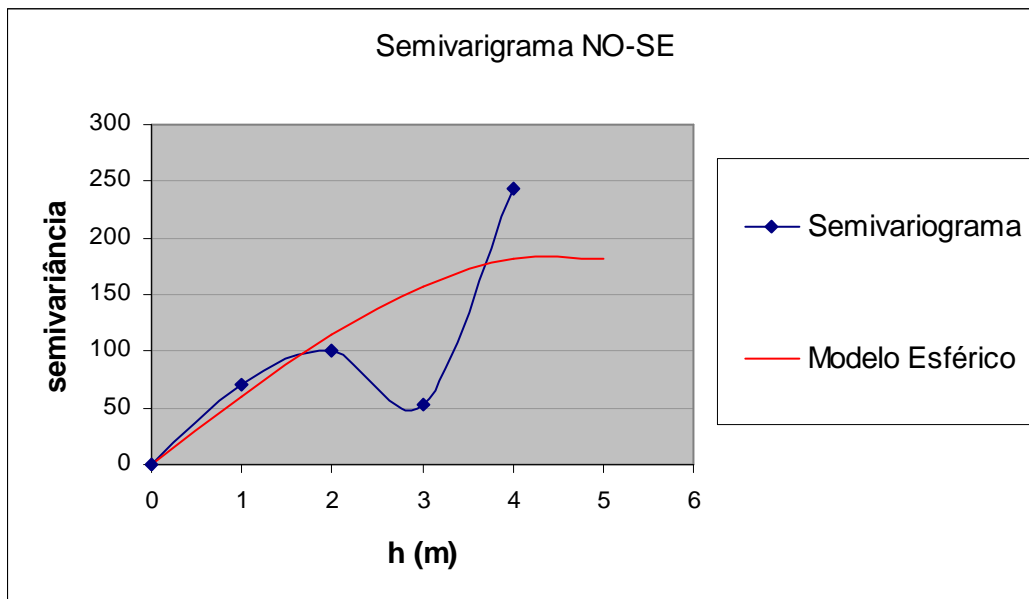


Figura 29- Semivariograma NO-SE

Uma linha de tendência foi traçada junto ao semivariograma para estimar o valor da função de variabilidade, equação 12, a linha de tendência foi traçada de acordo com o modelo esférico de semivariograma.

$$\gamma(h) = 61,66h - 1,02h^3 \quad (12)$$

A tabela 13 mostra a distância entre todos os pontos de A1 em função de h, e a tabela 14 a semivariância entre cada par.

Tabela 13 – Distância entre pontos de A1

	J1	J2	AZ	MR	PR	BR	VM
J1	0,0	2,3	1,5	2,1	3,0	1,8	1,6
J2	2,3	0,0	1,5	4,3	2,4	4,0	3,9
AZ	1,5	1,5	0,0	3,6	1,0	3,1	3,0
MR	2,1	4,3	3,6	0,0	0,9	1,6	1,5
PR	3,0	2,4	1,0	0,9	0,0	2,2	2,2
BR	1,8	4,0	3,1	1,6	2,2	0,0	0,2
VM	1,6	3,9	3,0	1,5	2,2	0,2	0,0

Tabela 14 – Semivariância entre pares de A1(MPa²)

	J1	J2	AZ	MR	PR	BR	VM
J1	0,0	127,4	90,9	121,0	155,7	103,3	96,2
J2	127,4	0,0	89,4	184,1	133,3	181,7	179,7
AZ	90,9	89,4	0,0	174,4	60,7	160,2	158,2
MR	121,0	184,1	174,4	0,0	52,4	93,1	88,8
PR	155,7	133,3	60,7	52,4	0,0	125,8	125,3
BR	103,3	181,7	160,2	93,1	125,8	0,0	15,4
VM	96,2	179,7	158,2	88,8	125,3	15,4	0,0

A partir da tabela 14 tem-se a Matriz $[S_i, S_j]$, das semivariância de ponto para ponto para aplicação do método da krigagem.

Matriz $[S_i, S_j]$

0,0	127,4	90,9	121,0	155,7	103,3	96,2	1,0
127,4	0,0	89,4	184,1	133,3	181,7	179,7	1,0
90,9	89,4	0,0	174,4	60,7	160,2	158,2	1,0
121,0	184,1	174,4	0,0	52,4	93,1	88,8	1,0
155,7	133,3	60,7	52,4	0,0	125,8	125,3	1,0
103,3	181,7	160,2	93,1	125,8	0,0	15,4	1,0
96,2	179,7	158,2	88,8	125,3	15,4	0,0	1,0
1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0

Matriz Inversa de $[S_i, S_j]$

0,0052	0,0028	-0,0173	-0,0174	0,0234	-0,0002	0,0036	0,3627
0,0027	-0,0061	0,0017	-0,0013	0,0028	0,0003	-0,0001	0,3302
-0,0173	0,0017	0,0217	0,0268	-0,0333	0,0011	-0,0007	-0,2993
-0,0174	-0,0013	0,0268	0,0170	-0,0294	0,0019	0,0025	-0,1743
0,0234	0,0028	-0,0332	-0,0294	0,0365	-0,0003	0,0003	0,5461
-0,0002	0,0003	0,0010	0,0018	-0,0003	-0,0336	0,0309	0,1851
0,0036	-0,0001	-0,0006	0,0025	0,0002	0,0309	-0,0365	0,0496
0,3623	0,3302	-0,2990	-0,1742	0,5459	0,1844	0,0505	-102,7003

5.3 Estimativa da Resistência à Compressão Simples para os Pontos de A1

5.3.1 Estimando J1

Matriz das semivariâncias para estimativa de J1:

0,00	89,41	184,07	133,32	181,67	179,72	1,00
89,41	0,00	174,42	60,65	160,20	158,19	1,00
184,07	174,42	0,00	52,39	93,10	88,79	1,00
133,32	60,65	52,39	0,00	125,75	125,35	1,00
181,67	160,20	93,10	125,75	0,00	15,37	1,00
179,72	158,19	88,79	125,35	15,37	0,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00

Matriz Inversa semivariâncias para estimativa de J1:

-0,0076	0,0109	0,0079	-0,0096	0,0004	-0,0020	0,1385
0,0109	-0,0361	-0,0312	0,0448	0,0004	0,0113	0,9094
0,0079	-0,0312	-0,0412	0,0489	0,0012	0,0145	1,0391
-0,0096	0,0448	0,0489	-0,0688	0,0006	-0,0159	-1,0858
0,0004	0,0004	0,0012	0,0006	-0,0336	0,0310	0,1991
-0,0020	0,0113	0,0145	-0,0159	0,0310	-0,0389	-0,2003
0,1385	0,9094	1,0391	-1,0858	0,1991	-0,2003	-127,9803

Matriz $[S_i, S_0]$ para estimativa de J1:

127,40
90,90
121,00
155,70
103,30
96,20
1,00

O valor estimado pode ser calculado aplicando as equações 13. e 14, mostradas a seguir.

$$[\lambda_i] = [S_i, S_0]^{-1} \cdot [S_i, S_0] \quad (13)$$

$$X_0 = \sum \lambda_i X_i \quad (14)$$

Matriz $[\lambda_i]$ para J1

$$\begin{bmatrix} -0,5284 \\ 3,3323 \\ 3,3454 \\ -4,4989 \\ 0,0385 \\ -0,6890 \end{bmatrix}$$

Matriz $[X_0]$ para J1:

$$\begin{bmatrix} 140,38 & 143,8 & 105,64 & 131,9 & 133,49 & 125,92 \end{bmatrix}$$

O valor de resistência à compressão simples estimado de J1 é portanto: 83,40 MPa.

5.3.2 Estimando J2

Matriz das semivariâncias para estimativa de J2:

$$\begin{bmatrix} 0,00 & 90,89 & 120,99 & 155,74 & 103,28 & 96,25 & 1,00 \\ 90,90 & 0,00 & 174,42 & 60,65 & 160,20 & 158,19 & 1,00 \\ 121,00 & 174,42 & 0,00 & 52,39 & 93,10 & 88,79 & 1,00 \\ 155,70 & 60,65 & 52,39 & 0,00 & 125,75 & 125,35 & 1,00 \\ 103,30 & 160,20 & 93,10 & 125,75 & 0,00 & 15,37 & 1,00 \\ 96,20 & 158,19 & 88,79 & 125,35 & 15,37 & 0,00 & 1,00 \\ 1,00 & 1,00 & 1,00 & 1,00 & 1,00 & 1,00 & 0,00 \end{bmatrix}$$

Matriz Inversa semivariâncias para estimativa de J2:

$$\begin{bmatrix} 0,0064 & -0,0166 & -0,0180 & 0,0247 & -0,0001 & 0,0036 & 0,5104 \\ -0,0165 & 0,0222 & 0,0264 & -0,0325 & 0,0012 & -0,0007 & -0,2062 \\ -0,0180 & 0,0264 & 0,0173 & -0,0300 & 0,0018 & 0,0025 & -0,2463 \\ 0,0246 & -0,0325 & -0,0300 & 0,0378 & -0,0002 & 0,0002 & 0,6961 \\ -0,0001 & 0,0011 & 0,0018 & -0,0001 & -0,0336 & 0,0309 & 0,2020 \\ 0,0035 & -0,0007 & 0,0026 & 0,0002 & 0,0309 & -0,0365 & 0,0440 \\ 0,5098 & -0,2057 & -0,2461 & 0,6958 & 0,2009 & 0,0453 & -84,9721 \end{bmatrix}$$

Matriz $[S_i, S_0]$ para estimativa de J2:

$$\begin{bmatrix} 127,40 \\ 89,41 \\ 184,07 \\ 133,32 \\ 181,67 \\ 179,72 \\ 1,00 \end{bmatrix}$$

Matriz $[\lambda_i]$ para J2:

$$\begin{bmatrix} 0,4471 \\ 0,2820 \\ -0,2180 \\ 0,4545 \\ 0,0508 \\ -0,0165 \end{bmatrix}$$

Matriz $[X_0]$ para J2:

$$\begin{bmatrix} 134,45 & 143,8 & 105,64 & 131,9 & 133,49 & 125,92 \end{bmatrix}$$

O valor estimado de J2 é 142,30 MPa.

5.3.3 Estimando AZ

Matriz das semivariâncias para estimativa de AZ:

$$\begin{bmatrix} 0,00 & 127,40 & 120,99 & 155,74 & 103,28 & 96,25 & 1,00 \\ 127,40 & 0,00 & 184,07 & 133,32 & 181,67 & 179,72 & 1,00 \\ 121,00 & 184,07 & 0,00 & 52,39 & 93,10 & 88,79 & 1,00 \\ 155,70 & 133,32 & 52,39 & 0,00 & 125,75 & 125,35 & 1,00 \\ 103,30 & 181,67 & 93,10 & 125,75 & 0,00 & 15,37 & 1,00 \\ 96,20 & 179,72 & 88,79 & 125,35 & 15,37 & 0,00 & 1,00 \\ 1,00 & 1,00 & 1,00 & 1,00 & 1,00 & 1,00 & 0,00 \end{bmatrix}$$

Matriz Inversa semivariâncias para estimativa de AZ:

$$\begin{bmatrix} -0,0087 & 0,0041 & 0,0040 & -0,0032 & 0,0006 & 0,0030 & 0,1232 \\ 0,0041 & -0,0063 & -0,0035 & 0,0055 & 0,0002 & 0,0000 & 0,3542 \\ 0,0040 & -0,0035 & -0,0161 & 0,0117 & 0,0005 & 0,0033 & 0,1956 \\ -0,0032 & 0,0055 & 0,0117 & -0,0145 & 0,0013 & -0,0008 & 0,0869 \\ 0,0006 & 0,0002 & 0,0005 & 0,0013 & -0,0336 & 0,0309 & 0,1995 \\ 0,0031 & -0,0001 & 0,0033 & -0,0008 & 0,0309 & -0,0365 & 0,0407 \\ 0,1232 & 0,3541 & 0,1955 & 0,0870 & 0,1992 & 0,0409 & -106,8309 \end{bmatrix}$$

Matriz $[S_i, S_0]$ para estimativa de AZ:

$$\begin{bmatrix} 90,89 \\ 89,41 \\ 174,42 \\ 60,65 \\ 160,20 \\ 158,19 \\ 1,00 \end{bmatrix}$$

Matriz $[\lambda_i]$ para AZ:

$$\begin{bmatrix} 0,8002 \\ -0,0802 \\ -1,2361 \\ 1,5343 \\ -0,0480 \\ 0,0298 \end{bmatrix}$$

Matriz $[X_0]$ para AZ:

$$\begin{bmatrix} 134,45 & 140,38 & 105,64 & 131,9 & 133,49 & 125,92 \end{bmatrix}$$

O valor estimado de AZ é 165,47 MPa.

5.3.4 Estimando MR

Matriz das semivariâncias para estimativa de MR:

$$\begin{bmatrix} 0,00 & 127,40 & 90,89 & 155,74 & 103,28 & 96,25 & 1,00 \\ 127,40 & 0,00 & 89,41 & 133,32 & 181,67 & 179,72 & 1,00 \\ 90,90 & 89,41 & 0,00 & 60,65 & 160,20 & 158,19 & 1,00 \\ 155,70 & 133,32 & 60,65 & 0,00 & 125,75 & 125,35 & 1,00 \\ 103,30 & 181,67 & 160,20 & 125,75 & 0,00 & 15,37 & 1,00 \\ 96,20 & 179,72 & 158,19 & 125,35 & 15,37 & 0,00 & 1,00 \\ 1,00 & 1,00 & 1,00 & 1,00 & 1,00 & 1,00 & 0,00 \end{bmatrix}$$

Matriz Inversa semivariâncias para estimativa de MR:

-0,0126	0,0014	0,0101	-0,0067	0,0017	0,0061	0,1843
0,0014	-0,0063	0,0038	0,0005	0,0005	0,0001	0,3165
0,0101	0,0038	-0,0205	0,0131	-0,0019	-0,0046	-0,0247
-0,0067	0,0005	0,0131	-0,0144	0,0029	0,0046	0,2446
0,0017	0,0005	-0,0018	0,0029	-0,0338	0,0306	0,2038
0,0062	0,0001	-0,0046	0,0046	0,0306	-0,0368	0,0755
0,1842	0,3165	-0,0247	0,2447	0,2034	0,0760	-104,4856

Matriz $[S_i, S_0]$ para estimativa de MR:

120,99
184,07
174,42
52,39
93,10
88,79
1,00

Matriz $[\lambda_i]$ para MR:

1,0236
0,0787
-1,5752
1,7293
-0,1074
-0,1490

Matriz $[X_0]$ para MR:

134,45	140,38	143,8	131,9	133,49	125,92
--------	--------	-------	-------	--------	--------

MR estimado: 117,15 MPa.

5.3.5 Estimando PR

Matriz das semivariâncias para estimativa de PR:

0,00	127,40	90,89	120,99	103,28	96,25	1,00
127,40	0,00	89,41	184,07	181,67	179,72	1,00
90,90	89,41	0,00	174,42	160,20	158,19	1,00
121,00	184,07	174,42	0,00	93,10	88,79	1,00
103,30	181,67	160,20	93,10	0,00	15,37	1,00
96,20	179,72	158,19	88,79	15,37	0,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00

Matriz Inversa semivariâncias para estimativa de PR:

$$\begin{bmatrix} -0,0098 & 0,0010 & 0,0040 & 0,0015 & 0,0000 & 0,0034 & 0,0125 \\ 0,0010 & -0,0064 & 0,0043 & 0,0009 & 0,0003 & -0,0001 & 0,2884 \\ 0,0040 & 0,0043 & -0,0086 & 0,0000 & 0,0008 & -0,0004 & 0,1981 \\ 0,0015 & 0,0009 & 0,0000 & -0,0067 & 0,0016 & 0,0027 & 0,2656 \\ 0,0000 & 0,0003 & 0,0008 & 0,0016 & -0,0336 & 0,0309 & 0,1890 \\ 0,0034 & -0,0001 & -0,0004 & 0,0027 & 0,0309 & -0,0365 & 0,0464 \\ 0,0126 & 0,2884 & 0,1981 & 0,2656 & 0,1890 & 0,0464 & -110,8658 \end{bmatrix}$$

Matriz $[S_i, S_0]$ para estimativa de PR:

$$\begin{bmatrix} 155,74 \\ 133,32 \\ 60,65 \\ 52,39 \\ 125,75 \\ 125,35 \\ 1,00 \end{bmatrix}$$

Matriz $[\lambda_i]$ para PR:

$$\begin{bmatrix} -0,6413 \\ -0,0765 \\ 0,9109 \\ 0,8057 \\ 0,0071 \\ -0,0059 \end{bmatrix}$$

Matriz $[X_0]$ para PR:

$$\begin{bmatrix} 134,45 & 140,38 & 143,8 & 105,64 & 133,49 & 125,92 \end{bmatrix}$$

O valor estimado de PR é 119,34 MPa.

5.3.6 Estimando BR

Matriz das semivariâncias para estimativa de BR:

$$\begin{bmatrix} 0,00 & 127,40 & 90,89 & 120,99 & 155,74 & 96,25 & 1,00 \\ 127,40 & 0,00 & 89,41 & 184,07 & 133,32 & 179,72 & 1,00 \\ 90,90 & 89,41 & 0,00 & 174,42 & 60,65 & 158,19 & 1,00 \\ 121,00 & 184,07 & 174,42 & 0,00 & 52,39 & 88,79 & 1,00 \\ 155,70 & 133,32 & 60,65 & 52,39 & 0,00 & 125,35 & 1,00 \\ 96,20 & 179,72 & 158,19 & 88,79 & 125,35 & 0,00 & 1,00 \\ 1,00 & 1,00 & 1,00 & 1,00 & 1,00 & 1,00 & 0,00 \end{bmatrix}$$

Matriz Inversa semivariâncias para estimativa de BR:

$$\begin{bmatrix} 0,0052 & 0,0027 & -0,0173 & -0,0174 & 0,0234 & 0,0034 & 0,3616 \\ 0,0027 & -0,0061 & 0,0017 & -0,0013 & 0,0028 & 0,0002 & 0,3319 \\ -0,0173 & 0,0017 & 0,0217 & 0,0268 & -0,0333 & 0,0003 & -0,2934 \\ -0,0174 & -0,0013 & 0,0268 & 0,0171 & -0,0294 & 0,0042 & -0,1641 \\ 0,0234 & 0,0028 & -0,0333 & -0,0294 & 0,0365 & 0,0000 & 0,5444 \\ 0,0034 & 0,0002 & 0,0003 & 0,0042 & 0,0000 & -0,0081 & 0,2196 \\ 0,3612 & 0,3319 & -0,2933 & -0,1642 & 0,5444 & 0,2199 & -101,6846 \end{bmatrix}$$

Matriz $[S_i, S_0]$ para estimativa de BR:

$$\begin{bmatrix} 103,28 \\ 181,67 \\ 160,20 \\ 93,10 \\ 125,75 \\ 15,37 \\ 1,00 \end{bmatrix}$$

O valor estimado pode ser calculado aplicando as equações 13. e 14.

Matriz $[\lambda_i]$ para BR:

$$\begin{bmatrix} -0,0063 \\ 0,0092 \\ 0,0320 \\ 0,0555 \\ -0,0092 \\ 0,9188 \end{bmatrix}$$

Matriz $[X_0]$ para BR:

$$\begin{bmatrix} 134,45 & 140,38 & 143,8 & 105,64 & 131,9 & 125,92 \end{bmatrix}$$

O valor de resistência à compressão simples estimado de BR é portanto: 125,39 MPa.

5.3.7 Estimando VM

Matriz das semivariâncias para estimativa de VM:

$$\begin{bmatrix} 0,00 & 127,40 & 90,89 & 120,99 & 155,74 & 103,28 & 1,00 \\ 127,40 & 0,00 & 89,41 & 184,07 & 133,32 & 181,67 & 1,00 \\ 90,90 & 89,41 & 0,00 & 174,42 & 60,65 & 160,20 & 1,00 \\ 121,00 & 184,07 & 174,42 & 0,00 & 52,39 & 93,10 & 1,00 \\ 155,70 & 133,32 & 60,65 & 52,39 & 0,00 & 125,75 & 1,00 \\ 103,30 & 181,67 & 160,20 & 93,10 & 125,75 & 0,00 & 1,00 \\ 1,00 & 1,00 & 1,00 & 1,00 & 1,00 & 1,00 & 0,00 \end{bmatrix}$$

Matriz Inversa semivariâncias para estimativa de VM:

$$\begin{bmatrix} 0,0056 & 0,0027 & -0,0174 & -0,0172 & 0,0234 & 0,0028 & 0,3676 \\ 0,0027 & -0,0061 & 0,0017 & -0,0013 & 0,0028 & 0,0002 & 0,3300 \\ -0,0174 & 0,0017 & 0,0217 & 0,0267 & -0,0333 & 0,0005 & -0,3002 \\ -0,0171 & -0,0013 & 0,0267 & 0,0172 & -0,0294 & 0,0040 & -0,1709 \\ 0,0234 & 0,0028 & -0,0332 & -0,0294 & 0,0365 & -0,0001 & 0,5464 \\ 0,0028 & 0,0002 & 0,0005 & 0,0040 & -0,0001 & -0,0074 & 0,2271 \\ 0,3673 & 0,3301 & -0,2999 & -0,1707 & 0,5462 & 0,2271 & -102,6316 \end{bmatrix}$$

Matriz $[S_i, S_0]$ para estimativa de VM:

$$\begin{bmatrix} 96,25 \\ 179,72 \\ 158,19 \\ 88,79 \\ 125,35 \\ 15,37 \\ 1,0 \end{bmatrix}$$

Matriz $[\lambda_i]$ para VM:

$$\begin{bmatrix} 0,0987 \\ -0,0026 \\ -0,0190 \\ 0,0683 \\ 0,0076 \\ 0,8471 \end{bmatrix}$$

Matriz $[X_0]$ para VM:

$$\begin{bmatrix} 134,45 & 140,38 & 143,8 & 105,64 & 131,9 & 133,49 \end{bmatrix}$$

O valor estimado de VM é 131,46 MPa.

Tabela 15– Valores medidos e estimados

	medido	estimado
J1	134,45	83,40
J2	140,38	142,30
AZ	143,80	165,47
MR	105,64	117,15
PR	131,90	119,34
BR	133,49	125,39
VM	125,92	131,46

A tabela 15 apresenta os valores medidos e estimados para cada ponto da área 1 (A1).

5.4 Teste de validação dos valores estimados

Os valores estimados estão compatíveis com os medidos, conforme mostrado no gráfico (figura 30), em que os valores medidos estão no eixo x e os valores estimados no eixo y.

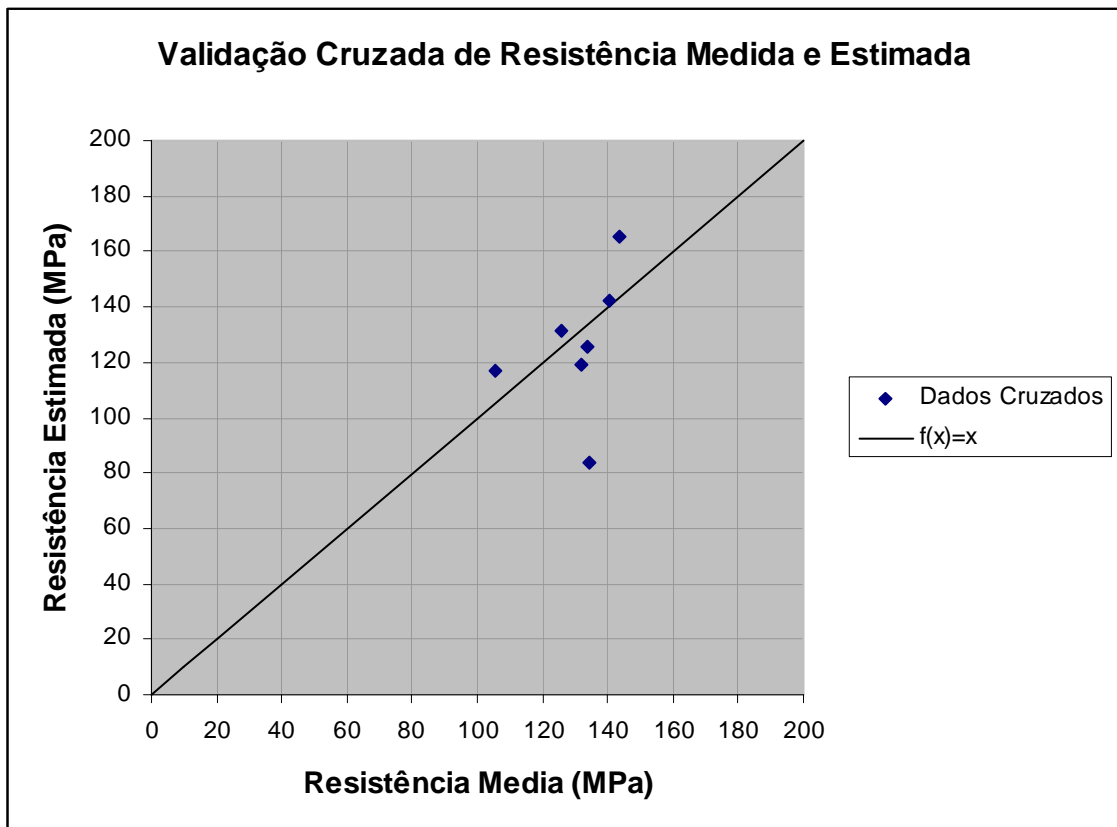


Figura 30- Gráfico de verificação dos valores estimados

6. Aplicação dos Métodos de Interpolação pelo Surfer

A figura 31 indica a localização dos pontos de coleta de A1 obtido no software Surfer versão 7.0.

A seguir é feita comparação das médias estimadas com as estimadas pelo Surfer, pelos métodos: krigagem, inverso ponderado da distância, mínima curvatura e regressão polinomial.

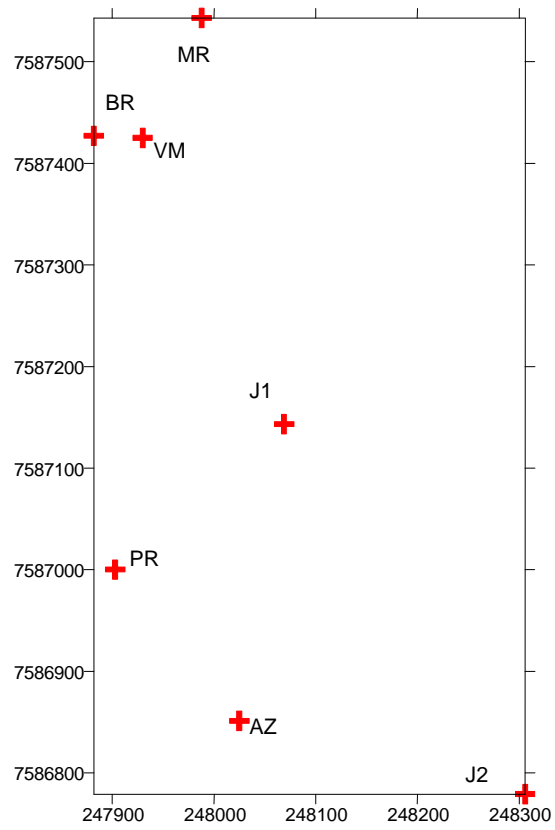


Figura 31- Localização de A1 no Surfer

6.1 Geoestatística

A superfície gerada para a análise geoestatística, utilizando krigagem, é mostrada na figura 32.

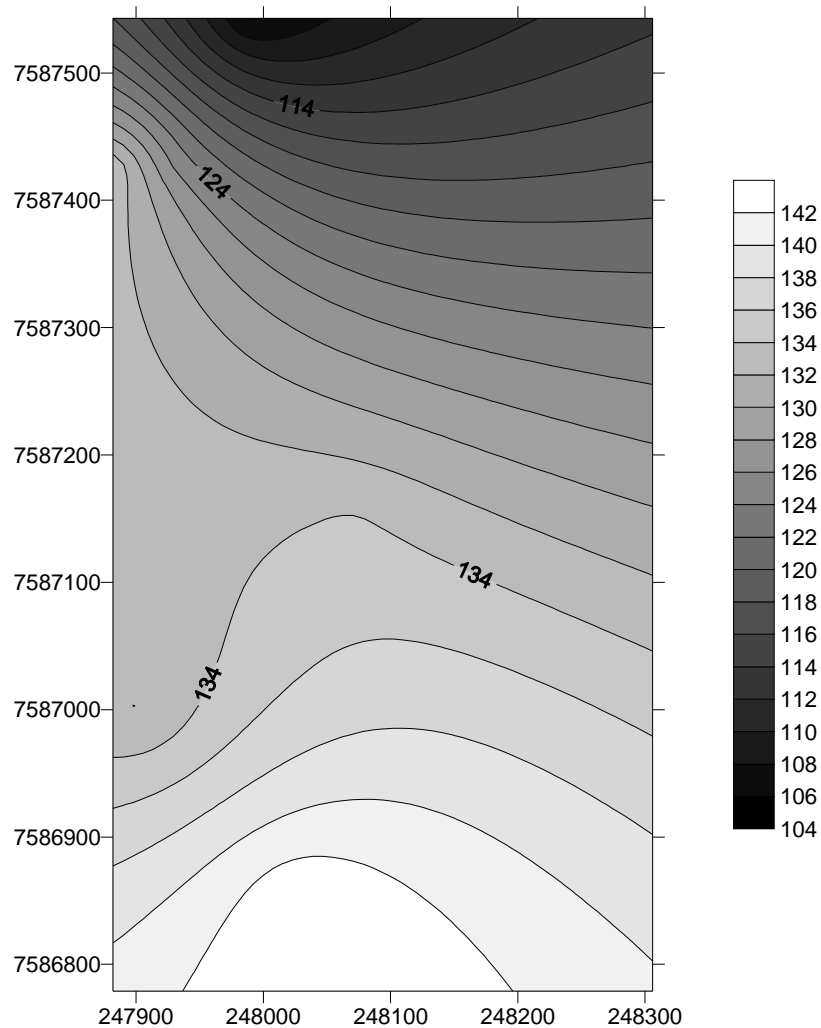


Figura 32- krigagem A1- Surfer

Tabela 16 – Comparação entre as os valores de resistência medidos e estimados

	x	y	Rm	Re	Rs
J1	248069	7587143	134,45	83,40	132 -134
J2	248306	7586779	140,38	142,30	140-142
AZ	248025	7586851	143,80	165,47	142 - 144
MR	247988	7587543	105,64	117,15	104 -106
PR	247903	7587000	131,90	119,34	134 - 136
BR	247882	7587427	133,49	125,39	122 -124
VM	247930	7587425	125,92	131,46	126 - 128

A tabela 16 relaciona os valores do parâmetro analisado, resistência à compressão simples, medido indiretamente pelo ensaio Point-Load, estimado por geoestatística e o valor encontrado na superfície de variabilidade traçada no Surfer. Na primeira coluna estão os pontos que pertencem a A1, na segunda e terceira coluna estão as

coordenadas x e y de cada ponto, em seguida as colunas com os valores do parâmetro (em MPa), sendo Rm o valor medido em ensaio, Re o valor estimado e Rs o valor calculado pelo software.

6.2 Inverso Ponderado da Distancia

A figura 33, a seguir mostra a superfície gerada pelo Surfer para a análise pelo método Inverso Ponderado da Distância.

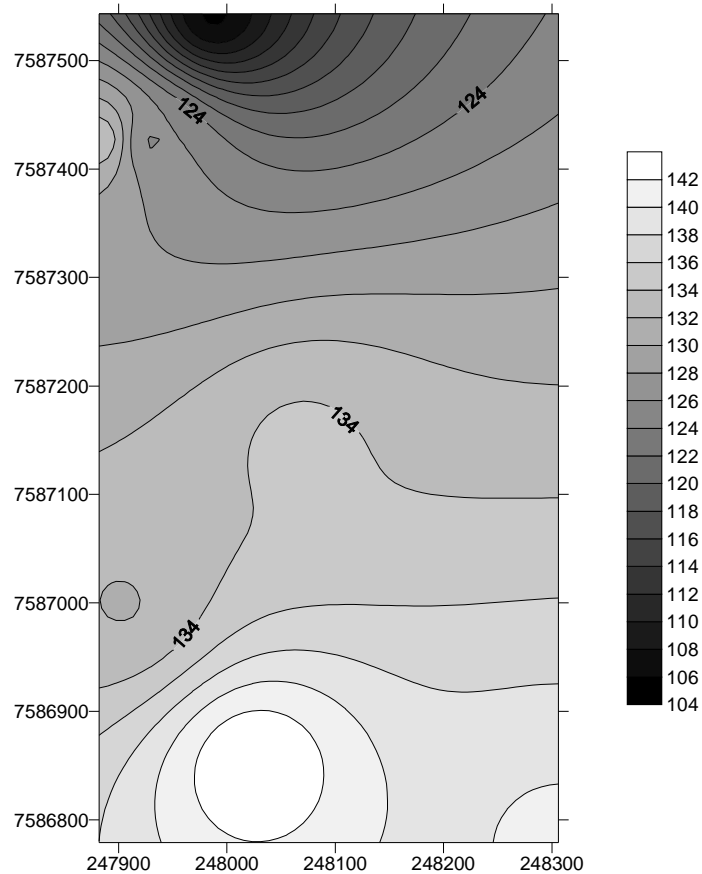


Figura 33- Inverso Ponderado da Distância A1 - Surfer

Tabela 17– Comparação entre as os valores de resistência medido e estimados

	x	y	Rm	Re	Rs
J1	248069	7587143	134,45	83,40	132 -134
J2	248306	7586779	140,38	142,30	140-142
AZ	248025	7586851	143,80	165,47	142 - 144
MR	247988	7587543	105,64	117,15	104 -106
PR	247903	7587000	131,90	119,34	132 - 134
BR	247882	7587427	133,49	125,39	126 -128
VM	247930	7587425	125,92	131,46	124 - 126

6.3 Mínima Curvatura

A figura a seguir (figura 34) apresenta a superfície gerada pelo Surfer para o método Mínima Curvatura.

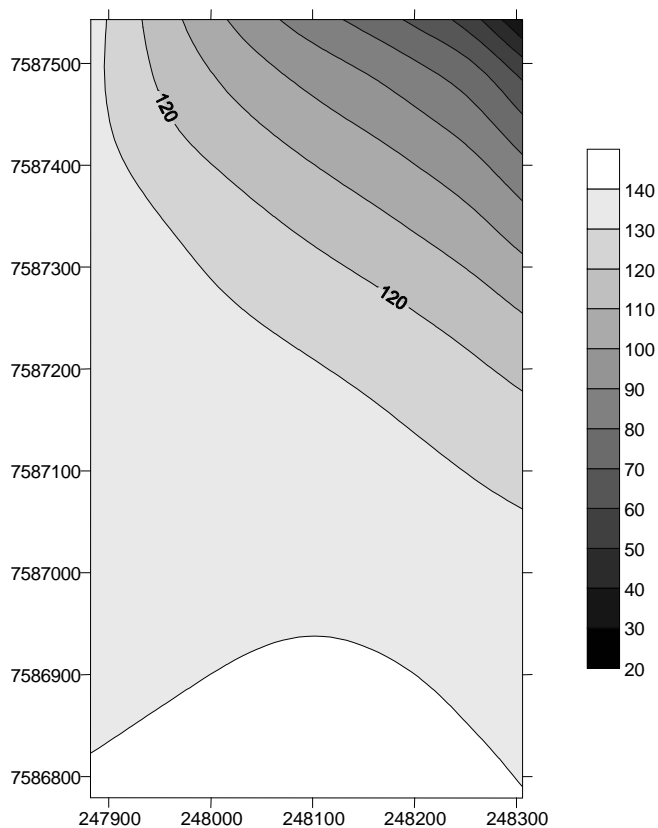


Figura 34- Mínima Curvatura para A1- Surfer

Tabela 18 – Comparação entre as os valores de resistência medido e estimados

	x	y	Rm	Re	Rs
J1	248069	7587143	134,45	83,40	130 - 140
J2	248306	7586779	140,38	142,30	140-150
AZ	248025	7586851	143,80	165,47	140-150
MR	247988	7587543	105,64	117,15	100 -110
PR	247903	7587000	131,90	119,34	130 - 140
BR	247882	7587427	133,49	125,39	130 -140
VM	247930	7587425	125,92	131,46	120 - 130

As tabelas 17, 18 e 19, mostram os valores medidos em ensaio, estimados por krigagem e calculado pelo Surfer, para os métodos clássicos de interpolação:

Inverso ponderado da distância (tabela 17), Mínima curvatura (tabela 18) e Regressão polinomial (tabela 19).

6.4 Regressão polinomial

A figura a seguir (figura 35) apresenta a superfície gerada pelo Surfer para o método Regressão Polinomial.

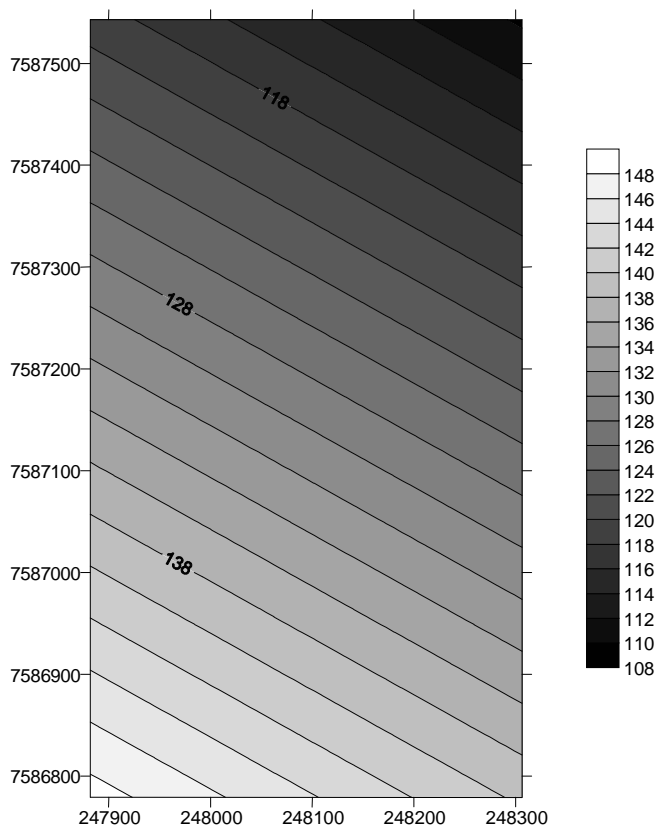


Figura 35- Regressão Polinomial A1 - Surfer

Tabela 19 – Comparação entre as os valores de resistência medidos e estimados

	x	y	Rm	Re	Rs
J1	248069	7587143	134,45	83,40	132 - 134
J2	248306	7586779	140,38	142,30	140-142
AZ	248025	7586851	143,80	165,47	144-146
MR	247988	7587543	105,64	117,15	114 -116
PR	247903	7587000	131,90	119,34	138 - 140
BR	247882	7587427	133,49	125,39	118 - 120
VM	247930	7587425	125,92	131,46	118 - 120

6.5 Verificação dos resultados

A tabela 20 relaciona os valores obtidos de resistência para cada ponto de A1, sendo denominadas por Rm (resistência média medida no ensaio), Re (resistência estimada por krigagem), Rk (calculada por krigagem no Surfer), Ri (calculada por inverso ponderado da distância no Surfer), Rc (Mínima curvatura –Surfer) e Rp (Regressão polinomial pelo Surfer).

Tabela 20 – Valores de resistência à compressão simples em pontos de A1

	Rm (MPa)	Re (MPa) (MPa)	Rs			
			Rk (MPa)	Ri (MPa)	Rc (MPa)	Rp (MPa)
J1	134,45	83,40	132 - 134	132 - 134	130 - 140	132 - 134
J2	140,38	142,30	140-142	140-142	140-150	140-142
AZ	143,80	165,47	142 - 144	142 - 144	140-150	144-146
MR	105,64	117,15	104 -106	104 -106	100 -110	114 -116
PR	131,90	119,34	134 - 136	132 - 134	130 - 140	138 - 140
BR	133,49	125,39	122 -124	126 -128	130 -140	118 - 120
VM	125,92	131,46	126 - 128	124 - 126	120 - 130	118 - 120

Com exceção do valor estimado para J1 os valores para cada ponto apresentam uma diferença relativamente pequena.

Na tabela 21 os valores calculados através do software serão substituídos pelo valor médio entre o limite inferior e o superior mostrado nas superfícies de cada método, para a confecção dos gráficos de verificação dos resultados.

Tabela 21 – Valores de resistência à compressão simples em pontos de A1

	Rm (MPa)	Re(MPa) (MPa)	Rs			
			Rk (MPa)	Ri (MPa)	Rc (MPa)	Rp (MPa)
J1	134,45	83,40	133	133	135	133
J2	140,38	142,30	141	141	145	141
AZ	143,80	165,47	143	143	145	145
MR	105,64	117,15	105	105	105	115
PR	131,90	119,34	135	133	135	139
BR	133,49	125,39	123	127	135	119
VM	125,92	131,46	127	125	125	119

A validação cruzada é mostrada na figura 36 comparando os dados das superfícies geradas no Surfer com os valores medidos, e na figura 37 comparando-os com os valores estimados através da krigagem.

Nos dois casos os pontos tendem a função $f(x)=y$, o que indica que a variabilidade tende a ocorrer de acordo com a função semivariograma para a área analisada (A1).

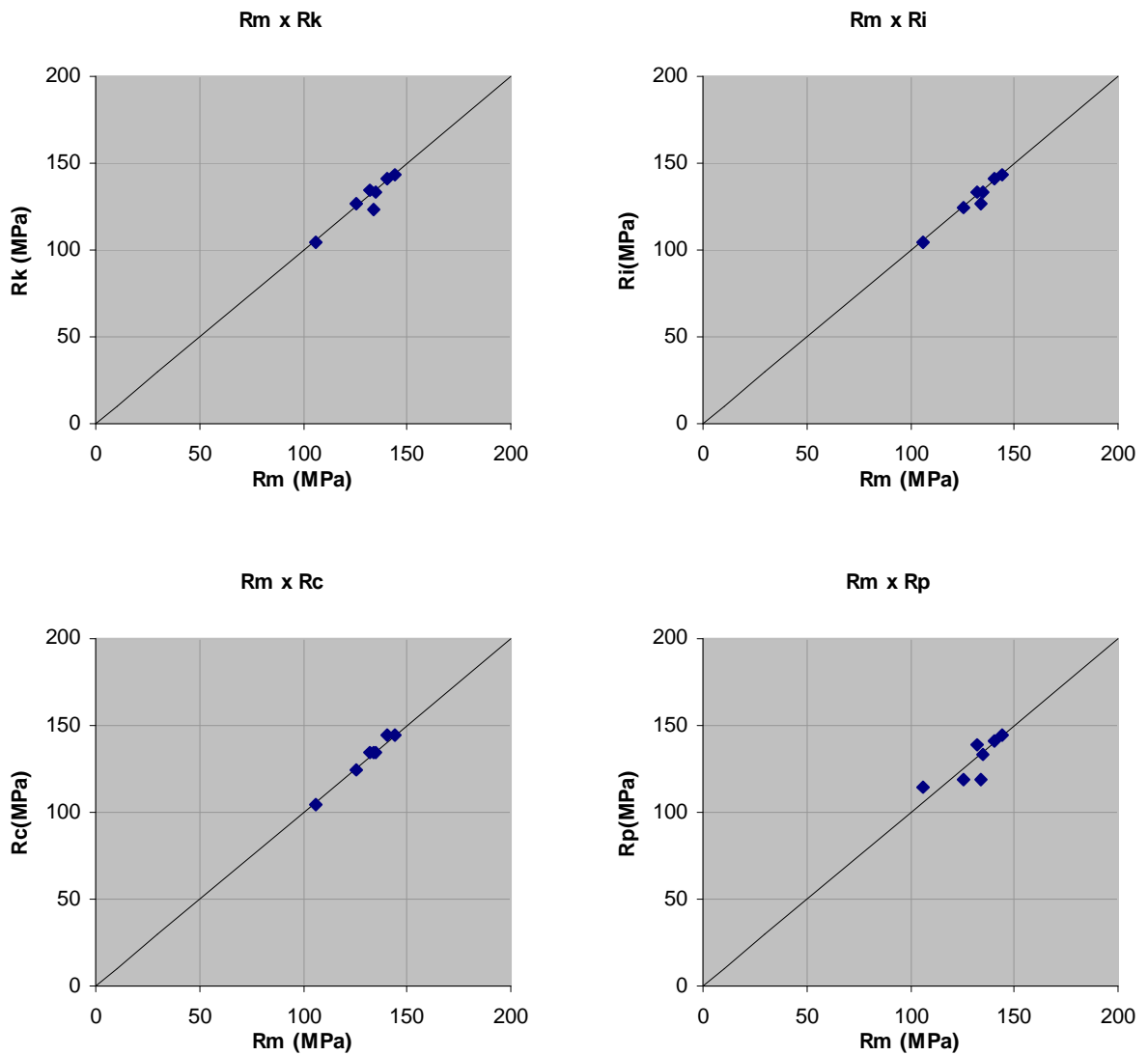


Figura 36- Gráfico de verificação dos resultados, comparando os valores obtidos das superfícies do Surfer com os medidos em ensaio

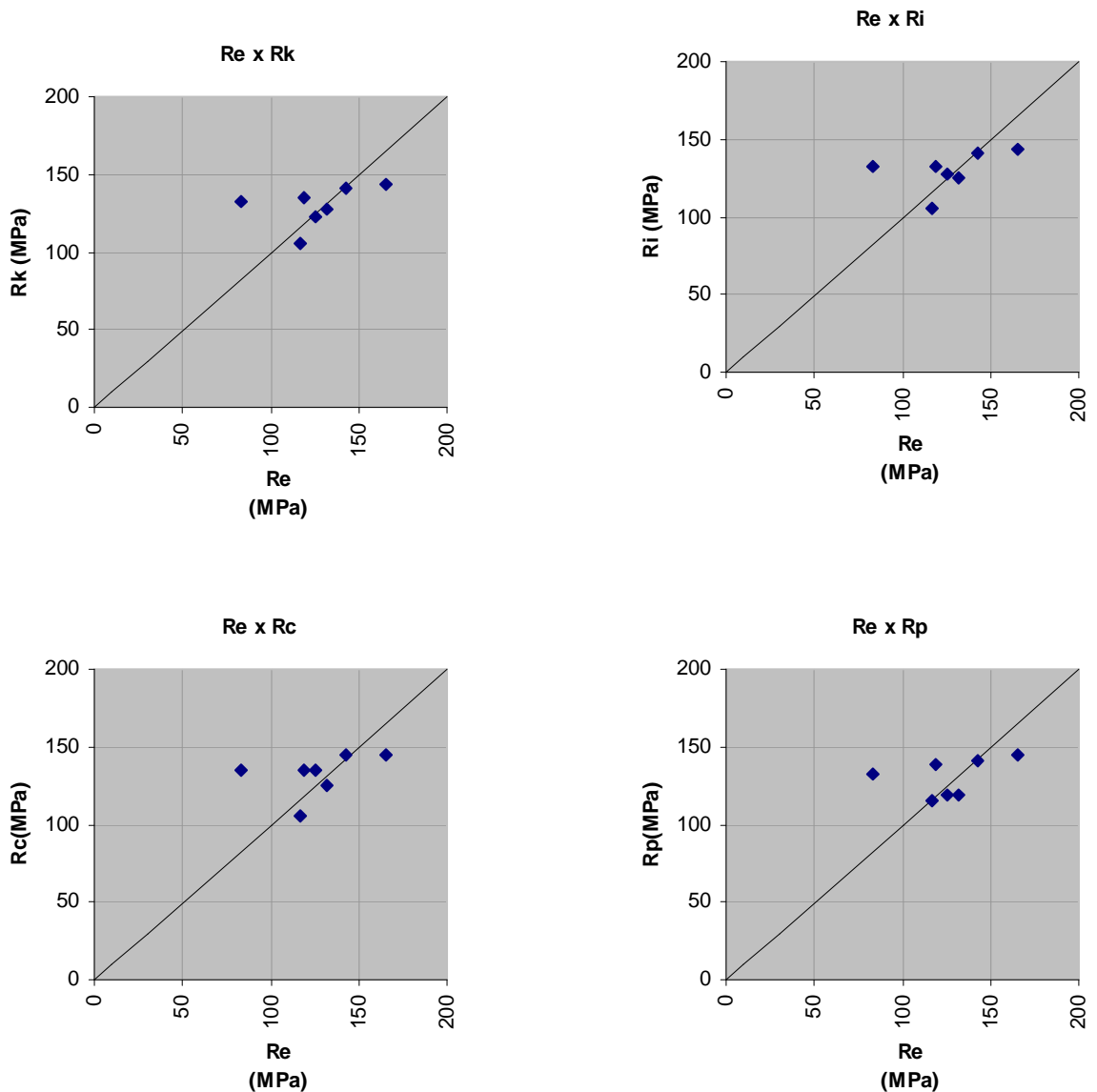


Figura 37- Gráfico de verificação dos resultados, comparando os valores obtidos das superfícies do Surfer com os valores estimados

Como pode ser observado na figura 38, a região que apresenta maiores valores para resistência a compressão simples está localizada mais ao sul (parte mais clara) nas proximidades do ponto AZ, entre os pontos PR e J2.

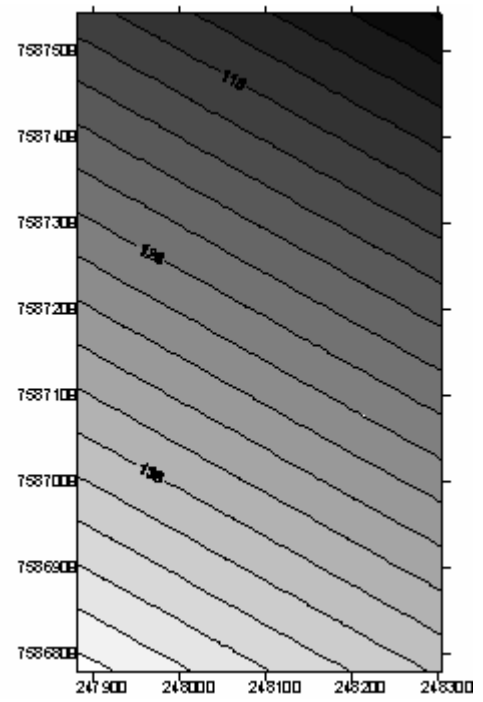
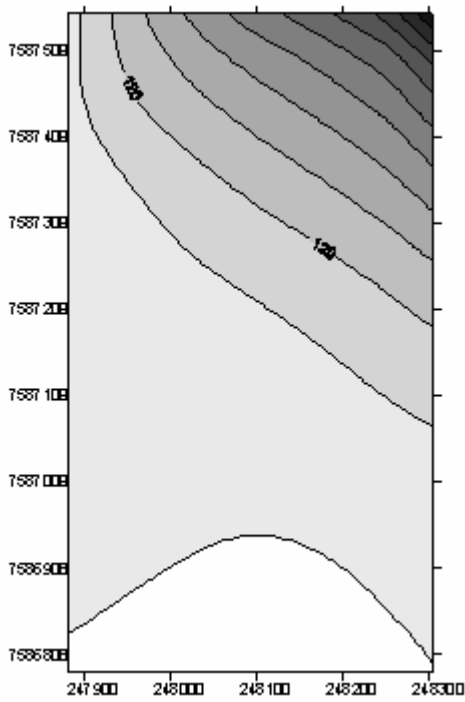
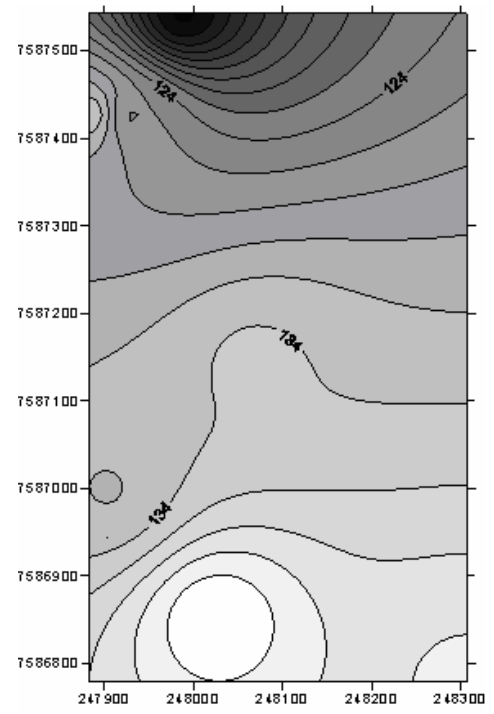
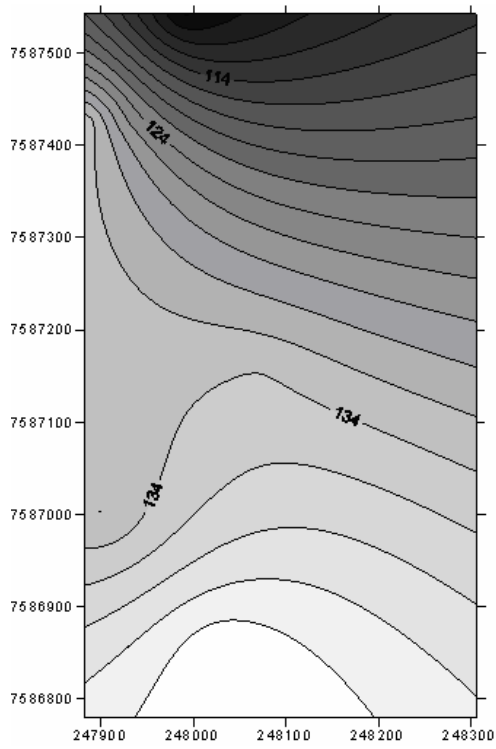


Figura 38- Superfícies gerada pelo Surfer

7. Análise da área de estudos a partir da geoestatística

A análise da variabilidade do parâmetro resistência à compressão simples mostrada no capítulo 5 será aplicada para os pontos T1, T2 e T3 neste capítulo. Esses pontos não fazem parte do conjunto de pontos amostrais.

O ponto de teste 1 (T1) está localizado entre os pontos MR, VM e BR. O ponto de teste 2 (T2) localizado entre BR, VM, J1 e PR. O ponto de teste 3 (T3) localizado entre J1, PR, AZ e J2.

A figura 39 mostra a distribuição dos pontos de teste entre os pontos amostrais na grade de distribuição.

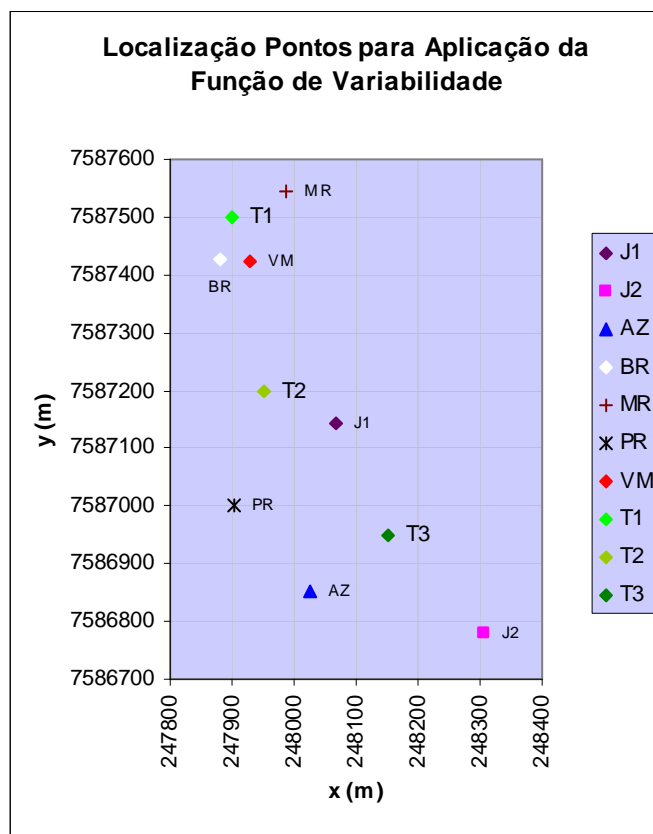


Figura 39- Localização Pontos para Aplicação da Função de Variabilidade

A tabela 22 a seguir apresenta os valores das coordenadas de T1, T2 e T3, em metros.

Tabela 22 – Coordenadas de T1, T2 e T3

	x	y
T1	247900	7587500
T2	247950	7587200
T3	248150	7586950

A tabela 23 apresenta as distâncias (em função de h que corresponde à 192,57 metros) entre cada ponto da A1 incluindo os novos pontos para aplicação da análise geoestatística: T1, T2 e T3.

Tabela 23 – Distância entre os Pontos de A1 e os Pontos T1, T2 e T3

	J1	J2	AZ	MR	PR	BR	VM	T1	T2	T3
J1	0,0	2,3	1,5	2,1	3,0	1,8	1,6	395,0	132,0	209,0
J2	2,3	0,0	1,5	4,3	2,4	4,0	3,9	827,0	551,0	231,0
AZ	1,5	1,5	0,0	3,6	1,0	3,1	3,0	661,0	357,0	159,0
MR	2,1	4,3	3,6	0,0	0,9	1,6	1,5	97,9	345,0	615,0
PR	3,0	2,4	1,0	0,9	0,0	2,2	2,2	500,0	205,0	252,0
BR	1,8	4,0	3,1	1,6	2,2	0,0	0,2	75,2	237,0	547,0
VM	1,6	3,9	3,0	1,5	2,2	0,2	0,0	80,8	226,0	523,0
T1	395,0	827,0	661,0	97,9	500,0	75,2	80,8	0	304	604
T2	132,0	551,0	357,0	345,0	205,0	237,0	226,0	304	0	320
T3	209,0	231,0	159,0	615,0	252,0	547,0	523,0	604	320	0,0

Tabela 24 – Semivariâncias entre os Pares de A1 Incluindo os Pontos T1, T2, e T3

	J1	J2	AZ	MR	PR	BR	VM	T1	T2	T3
J1	0,0	83,6	115,9	93,2	52,5	112,7	115,8	97,8	5,5	84,3
J2	83,6	0,0	115,6	393,4	74,4	252,8	198,4	391,7	52,7	98,2
AZ	115,9	115,6	0,0	118,6	70,8	55,4	53,5	87,7	109,0	34,0
MR	93,2	393,4	118,6	0,0	42,3	116,1	115,4	69,3	111,7	61,6
PR	52,5	74,4	70,8	42,3	0,0	86,1	86,8	61,6	81,3	107,5
BR	112,7	252,8	55,4	116,1	86,1	0,0	194,2	121,2	101,3	53,0
VM	115,8	198,4	53,5	115,4	86,8	194,2	0,0	107,7	95,5	56,2
T1	97,8	391,7	87,7	69,3	61,6	121,2	107,7	0,0	116,1	58,0
T2	5,5	52,7	109,0	111,7	81,3	101,3	95,5	116,1	0,0	115,4
T3	84,3	98,2	34,0	61,6	107,5	53,0	56,2	58,0	115,4	0,0

As matrizes da distância (S_i , S_i) e das semivariâncias de ponto para ponto para aplicação da krigagem são obtidas a partir das tabelas 23 e 24.

A seguir os valores da resistência à compressão simples para T1, T2 e T3 são estimados.

A resistência de T1, T2 e T3 será estimada separadamente e cada um desses pontos (T1, T2 e T3) não irá influenciar na estimativa dos outros dois pontos de teste, uma vez que a resistência deles não foi medida em ensaio. Sendo assim T1 não participados cálculos de T2 e T3, e assim ocorre com T2 e T3, que não participam dos cálculos dos outros pontos de teste.

O valor estimado pode ser calculado de acordo com as equações 13 e 14, mostradas no capítulo 5.

7.1 Aplicação da Geoestatística para T1

Matriz $[S_i, S_j]$ para T1:

0,0	2,3	1,5	2,1	3,0	1,8	1,6	2,1	1,0
2,3	0,0	1,5	4,3	2,4	4,0	3,9	4,3	1,0
1,5	1,5	0,0	3,6	1,0	3,1	3,0	3,4	1,0
2,1	4,3	3,6	0,0	0,9	1,6	1,5	0,5	1,0
3,0	2,4	1,0	0,9	0,0	2,2	2,2	2,6	1,0
1,8	4,0	3,1	1,6	2,2	0,0	0,2	0,4	1,0
1,6	3,9	3,0	1,5	2,2	0,2	0,0	0,4	1,0
2,1	4,3	3,4	0,5	2,6	0,4	0,4	0,0	1,0
1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0

Matriz Inversa de $[S_i, S_j]$ para T1:

-0,4208	0,0945	0,0984	-0,3247	0,1300	-0,2601	0,0588	0,6239	0,0242
0,0945	-0,3589	0,2617	0,0410	0,0066	-0,0258	0,0411	-0,0603	0,4037
0,0984	0,2617	-0,5115	0,3815	-0,0121	0,4219	0,1360	-0,7759	0,0457
-0,3247	0,0410	0,3815	0,0536	-0,3759	0,1584	0,1967	-0,1306	-0,0151
0,1300	0,0066	-0,0121	-0,3759	0,0067	-0,3112	-0,1770	0,7328	0,1157
-0,2601	-0,0258	0,4219	0,1584	-0,3112	-2,2811	1,7969	0,5009	0,0603
0,0588	0,0411	0,1360	0,1967	-0,1770	1,7969	-2,3237	0,2710	-0,1313
0,6239	-0,0603	-0,7759	-0,1306	0,7328	0,5009	0,2710	-1,1617	0,4969
0,0242	0,4037	0,0457	-0,0151	0,1157	0,0603	-0,1313	0,4969	-2,2012

Matriz das Semivariâncias para estimativa de T1:

0,0	83,6	115,9	93,2	52,5	112,7	115,8	1,0
83,6	0,0	115,6	393,4	74,4	252,8	198,4	1,0
115,9	115,6	0,0	118,6	70,8	55,4	53,5	1,0
93,2	393,4	118,6	0,0	42,3	116,1	115,4	1,0
52,5	74,4	70,8	42,3	0,0	86,1	86,8	1,0
112,7	252,8	55,4	116,1	86,1	0,0	194,2	1,0
115,8	198,4	53,5	115,4	86,8	194,2	0,0	1,0
1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0

Inversa da Matriz de Semivariâncias para T1:

-0,0024	0,0016	0,0317	0,0139	-0,0015	-0,0212	-0,0220	0,9161
0,0016	0,0019	0,0097	0,0090	-0,0087	-0,0064	-0,0071	-0,1253
0,0317	0,0097	0,1343	0,0700	-0,0497	-0,0960	-0,0999	2,0985
0,0139	0,0090	0,0700	0,0371	-0,0320	-0,0474	-0,0506	0,5492
-0,0015	-0,0087	-0,0497	-0,0320	0,0129	0,0380	0,0410	-0,2364
-0,0212	-0,0064	-0,0960	-0,0474	0,0380	0,0626	0,0704	-1,1144
-0,0220	-0,0071	-0,0999	-0,0506	0,0410	0,0704	0,0682	-1,0878
0,9161	-0,1253	2,0985	0,5492	-0,2364	-1,1144	-1,0878	-20,0919

Matriz $[S_i, S_0]$ para estimativa de T1:

97,8
391,7
87,7
69,3
61,6
121,2
107,7
1,0

Matriz $[\lambda_i]$ para T1:

0,0012
0,1845
0,1523
0,9885
-0,5512
0,1068
0,1179

Matriz $[X_o]$ para T1:

134,45	140,38	143,8	105,64	131,9	133,49	125,92
--------	--------	-------	--------	-------	--------	--------

A resistência à compressão esperada para o ponto T1, de acordo com a variabilidade encontrada neste estudo é 108,8 MPa.

7.2 Aplicação da Geoestatística para T2

Matriz $[S_i, S_i]$ para T2:

0,0	2,3	1,5	2,1	3,0	1,8	1,6	5,5	1,0
2,3	0,0	1,5	4,3	2,4	4,0	3,9	52,7	1,0
1,5	1,5	0,0	3,6	1,0	3,1	3,0	109,0	1,0
2,1	4,3	3,6	0,0	0,9	1,6	1,5	111,7	1,0
3,0	2,4	1,0	0,9	0,0	2,2	2,2	81,3	1,0
1,8	4,0	3,1	1,6	2,2	0,0	0,2	101,3	1,0
1,6	3,9	3,0	1,5	2,2	0,2	0,0	95,5	1,0
0,7	2,9	1,9	1,8	1,1	1,2	1,2	0,0	1,0
1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0

Matriz Inversa de $[S_i, S_i]$ para T2:

-0,0935	0,0604	-0,2473	-0,3348	0,4698	0,0270	0,2153	-0,0969	0,2339
0,0711	-0,3538	0,2184	-0,0229	0,0319	-0,0731	0,0142	0,1141	0,4451
-0,2997	0,3061	-0,1645	0,3241	-0,3719	0,0437	-0,0713	0,2336	-0,1486
-0,3659	0,0541	0,2017	-0,1573	-0,2562	0,0340	0,1252	0,3644	0,1436
0,4836	-0,0401	-0,1331	-0,1469	0,1901	0,0987	0,0506	-0,5028	0,1330
0,0044	-0,0528	0,1292	0,1374	-0,0270	-2,0544	1,9202	-0,0571	0,2409
0,2006	0,0262	-0,0100	0,1958	-0,0325	1,9227	-2,2551	-0,0477	-0,0435
-0,0006	-0,0001	0,0056	0,0047	-0,0042	0,0014	0,0009	-0,0076	-0,0045
0,3161	0,3834	-0,5174	-0,2664	0,6041	0,2156	-0,0509	0,3155	-1,8028

Matriz das Semivariâncias para estimativa de T2:

0,0	83,6	115,9	93,2	52,5	112,7	115,8	1,0
83,6	0,0	115,6	393,4	74,4	252,8	198,4	1,0
115,9	115,6	0,0	118,6	70,8	55,4	53,5	1,0
93,2	393,4	118,6	0,0	42,3	116,1	115,4	1,0
52,5	74,4	70,8	42,3	0,0	86,1	86,8	1,0
112,7	252,8	55,4	116,1	86,1	0,0	194,2	1,0
115,8	198,4	53,5	115,4	86,8	194,2	0,0	1,0
1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0

Inversa da Matriz de Semivariâncias para T2:

-0,0024	0,0016	0,0317	0,0139	-0,0015	-0,0212	-0,0220	0,9161
0,0016	0,0019	0,0097	0,0090	-0,0087	-0,0064	-0,0071	-0,1253
0,0317	0,0097	0,1343	0,0700	-0,0497	-0,0960	-0,0999	2,0985
0,0139	0,0090	0,0700	0,0371	-0,0320	-0,0474	-0,0506	0,5492
-0,0015	-0,0087	-0,0497	-0,0320	0,0129	0,0380	0,0410	-0,2364
-0,0212	-0,0064	-0,0960	-0,0474	0,0380	0,0626	0,0704	-1,1144
-0,0220	-0,0071	-0,0999	-0,0506	0,0410	0,0704	0,0682	-1,0878
0,9161	-0,1253	2,0985	0,5492	-0,2364	-1,1144	-1,0878	-20,0919

Matriz $[S_i, S_0]$ para estimativa de T2:

5,5
52,7
109,0
81,3
101,3
95,5
1,0

Matriz $[\lambda_i]$ para T2:

1,62198
0,01511
1,93699
0,64578
-0,8843
-1,1816
-1,1539

Matriz $[X_0]$ para T2:

134,45	140,38	143,8	105,64	131,9	133,49	125,92
--------	--------	-------	--------	-------	--------	--------

O valor calculado da resistência para T2 é 147,3MPa.

7.3 Aplicação da Geoestatística para T3

Matriz $[S_i, S_i]$ para T3:

0,0	2,3	1,5	2,1	3,0	1,8	1,6	1,1	1,0
2,3	0,0	1,5	4,3	2,4	4,0	3,9	1,2	1,0
1,5	1,5	0,0	3,6	1,0	3,1	3,0	0,8	1,0
2,1	4,3	3,6	0,0	0,9	1,6	1,5	3,2	1,0
3,0	2,4	1,0	0,9	0,0	2,2	2,2	1,3	1,0
1,8	4,0	3,1	1,6	2,2	0,0	0,2	2,8	1,0
1,6	3,9	3,0	1,5	2,2	0,2	0,0	2,7	1,0
0,7	2,9	1,9	1,8	1,1	1,2	1,2	0,0	1,0
1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0

Matriz Inversa de $[S_i, S_i]$ para T3:

-0,0852	0,0622	-0,3234	-0,3992	0,5274	0,0076	0,2036	0,0070	0,2952
0,0742	-0,3531	0,1898	-0,0470	0,0535	-0,0804	0,0098	0,1531	0,4681
-0,2903	0,3081	-0,2512	0,2508	-0,3063	0,0216	-0,0846	0,3519	-0,0790
-0,3827	0,0504	0,3570	-0,0262	-0,3737	0,0736	0,1491	0,1525	0,0189
0,5113	-0,0341	-0,3887	-0,3630	0,3837	0,0335	0,0113	-0,1539	0,3385
0,0072	-0,0521	0,1028	0,1151	-0,0069	-2,0612	1,9162	-0,0210	0,2622
0,2052	0,0273	-0,0530	0,1595	0,0000	1,9117	-2,2617	0,0109	-0,0090
-0,0398	-0,0087	0,3668	0,3100	-0,2777	0,0936	0,0564	-0,5006	-0,2949
0,2758	0,3746	-0,1457	0,0477	0,3228	0,3104	0,0062	-0,1917	-2,1016

Matriz das Semivariâncias para estimativa de T13:

0,0	83,6	115,9	93,2	52,5	112,7	115,8	1,0
83,6	0,0	115,6	393,4	74,4	252,8	198,4	1,0
115,9	115,6	0,0	118,6	70,8	55,4	53,5	1,0
93,2	393,4	118,6	0,0	42,3	116,1	115,4	1,0
52,5	74,4	70,8	42,3	0,0	86,1	86,8	1,0
112,7	252,8	55,4	116,1	86,1	0,0	194,2	1,0
115,8	198,4	53,5	115,4	86,8	194,2	0,0	1,0
1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0

Inversa da Matriz de Semivariâncias para T3:

-0,0024	0,0016	0,0317	0,0139	-0,0015	-0,0212	-0,0220	0,9161
0,0016	0,0019	0,0097	0,0090	-0,0087	-0,0064	-0,0071	-0,1253
0,0317	0,0097	0,1343	0,0700	-0,0497	-0,0960	-0,0999	2,0985
0,0139	0,0090	0,0700	0,0371	-0,0320	-0,0474	-0,0506	0,5492
-0,0015	-0,0087	-0,0497	-0,0320	0,0129	0,0380	0,0410	-0,2364
-0,0212	-0,0064	-0,0960	-0,0474	0,0380	0,0626	0,0704	-1,1144
-0,0220	-0,0071	-0,0999	-0,0506	0,0410	0,0704	0,0682	-1,0878
0,9161	-0,1253	2,0985	0,5492	-0,2364	-1,1144	-1,0878	-20,0919

Matriz $[S_i, S_0]$ para estimativa de T3:

$$\begin{bmatrix} 84,3 \\ 98,2 \\ 34,0 \\ 61,6 \\ 107,5 \\ 53,0 \\ 56,2 \\ 1,0 \end{bmatrix}$$

Matriz $[\lambda_i]$ para T3:

$$\begin{bmatrix} 0,27295 \\ -0,5921 \\ -1,4549 \\ -1,5293 \\ 0,82793 \\ 1,64966 \\ 1,82575 \end{bmatrix}$$

Matriz $[X_0]$ para T3:

$$\begin{bmatrix} 134,45 & 140,38 & 143,8 & 105,64 & 131,9 & 133,49 & 125,92 \end{bmatrix}$$

O valor da resistência esperado para o ponto T3 é 142,1 MPa.

7.4 Resistência à Compressão Simples para os Pontos T1, T2 e T3: Utilizando o Software Surfer

A tabela 22, que mostra as coordenadas dos pontos T1, T2 e T3, e as figuras 32, 33, 34 e 35 do capítulo 6, quando comparadas, fornecem os valores de resistência à compressão simples obtidos pelo Surfer.

A seguir são mostrados os valores obtidos através das superfícies geradas pelo Surfer para os quatro métodos estatísticos para T1, T2 e T3.

7.4.1 Análise pelo Surfer para T1

O ponto de teste T1 está localizado entre os pontos MR, BR e VM, com as coordenadas $x=247900$ m e $y= 7587500$ m.

Os valores da resistência à compressão para T1 pelos métodos krigagem (R_k), Inverso Ponderado da Distância (R_i), Mínima Curvatura (R_c) e Regressão Polinomial (R_p) pelo surfer, são:

$R_k = 119$ MPa, considerando a média entre a faixa de resistência mostrada na superfície, que varia de 118 a 120 MPa.

$R_i = 125$ MPa, também considerando o valor médio, que varia entre 124 e 126 MPa.

$R_c = 125$ MPa, valor médio entre 120 e 130 MPa.

$R_p = 121$ MPa, valor médio entre 120 e 122 MPa.

7.4.2 Análise pelo Surfer para T2

O ponto de teste T2 está localizado entre os pontos BR, VM, J1 e PR, com as coordenadas $x=247950$ m e $y= 7587200$ m.

Assim como para T1, os valores de resistência para T2 serão os valores médios da faixa da superfície gerada pelo Surfer.

$R_k = 133$ MPa

$R_i = 131$ MPa

$R_c = 135$ MPa

$R_p = 131$ MPa

7.4.3 Análise pelo Surfer para T3

O ponto de teste T3 está localizado entre os pontos J1, PR, AZ e J2 com as coordenadas $x=248150$ m e $y= 7586950$ m.

Assim como para T1 e T2, os valores de resistência para T3 serão os valores médios da faixa da superfície gerada pelo Surfer.

$R_k = 139$ MPa

$R_i = 137$ MPa

R_c= 135 MPa

R_p= 139 MPa

7.5 Validação dos Resultados para T1, T2 e T3

A tabela 25 mostra os valores de resistência à compressão simples para os pontos T1, T2 e T3 calculados através de geoestatística e obtidos pelo Surfer.

Tabela 25 – Resistência à Compressão Simples: T1, T2 e T3 (MPa)

	Calculado Geoestatística (R_g)	Surfer Krigagem (R_k)	Surfer Inverso Ponderado da Distância (R_i)	Surfer Mínima Curvatura (R_c)	Surfer Regressão Polinomial (R_p)
T1	108,8	119	125	125	121
T2	147,3	133	131	135	131
T3	142,1	139	137	135	139

A figura 40 mostra os gráficos da validação cruzada para os resultados dos pontos de teste da função de variabilidade.

Os quatro gráficos mostrados na figura estão comparando o valor estimado pela função encontrada com o valor obtido em cada uma das quatro superfícies gerada pelo software Surfer.

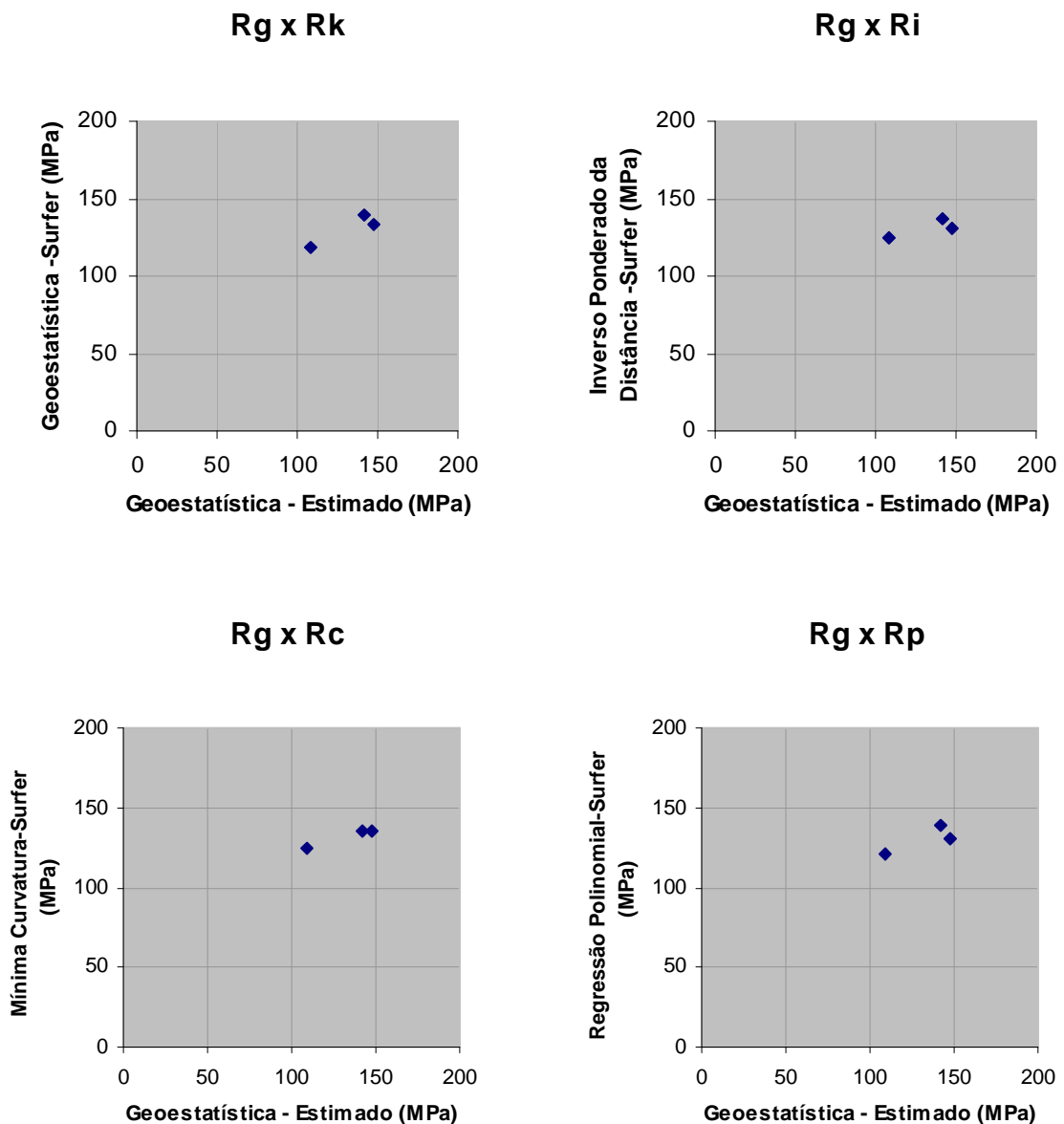


Figura 40- Verificação dos Valores de T1, T2 e T3 por Validação Cruzada

A validade da função foi verificada, uma vez que os dados estão dispostos próximo à uma função $f(x)=x$, que seria a condição ideal.

Para os pontos T1, T2 e T3 a variabilidade se tende à ocorrer de acordo com a função de variabilidade mostrada no capítulo 5, se comparada a análise feita a partir do Surfer. Essa verificação reforça que a ferramenta geoestatística se mostra eficiente para estimativa de parâmetros não conhecidos em pontos compreendidos em uma área em que esse parâmetro seja conhecido em alguns pontos.

8. Conclusão e sugestão para próximos trabalhos

Esse é um trabalho inicial de aplicação de geoestatística para análise de parâmetros nas jazidas de rocha ornamentais exploradas na região, para uma exploração controlada é necessário que esta análise seja expandida.

Na área analisada (A1) o grupo de amostras que teve a maior diferença entre os resultados medidos e estimados foi J1, que corresponde ao grupo com um menor número de CPs, o que confirma a necessidade de uma coleta maior de material para ensaio.

É importante que sejam realizadas novas análises contemplando outros parâmetros, relacionados à deformabilidade, durabilidade, permeabilidade, e resistência.

Quanto maior número de informações sobre o maciço maior é o controle na exploração.

A produção pode ser direcionada para a finalidade mais indicada de acordo com suas características físicas, e a forma como essas características variam no espaço.

O conhecimento dos parâmetros tecnológicos e sua variabilidade no espaço contribuem para o setor de rochas ornamentais e para a sociedade local, reduzindo as perdas, os impactos ambientais e favorecendo a qualidade do produto final.

9. Referência Bibliográfica

- Andriolo, M. (2006) *Análise de métodos não lineares para previsão de vazões médias mensais*. Dissertação de Mestrado (Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental), Curitiba - PR, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, Universidade Federal do Paraná – UFPR, 225 p.
- ASTM (1995)– Standard Test Method for determination of the Point-load Strength Index of rock. Designation: D 5731-95. Annual Book of ASTM Standard, 4: 494-500. 1995
- Bacci, D. Landim, P., Eston, S. (2006) Aspectos e impactos ambientais de pedreiras em área urbana. *Revista Escola de Minas, REM*, Ouro Preto, 59 (1): 47-54.
- Bitar, O., Iyomasa, W.; Cabral, M. (2000) *Geotecnologia: tendências e desafios*. São Paulo em Perspectiva. São Paulo, v. 14, n. 3, p. 78-90.
- Brandalize, M., Wandersen, R., Moro, R.(2006) As Geotecnologias e a Formação do Engenheiro Civil, do Engenheiro Ambiental e do Arquiteto Urbanista nas Universidades Brasileiras. In: XXXIV COBENGE Passo Fundo – RS. Ed. Universidade de Passo Fundo – UPF.
- Camargo, E. (1998) Geoestatística: Fundamentos e Aplicações. In: Câmara, G, Medeiros, J. S. (eds) *Geoprocessamento para Projetos Ambientais* 2. Ed., São José dos Campos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, p. 5-1 – 5-36.
- Carvalho, J. (2003) A importância da investigação geológica aplicada às rochas ornamentais. In: Villas-Boas, R., Calvo, B., Peiter, C. (2003) *Iberoeka en Mármoles y Granitos* (Mini – Foro), Salvador – BA, abril de 2003.
- Ciência Hoje, <http://www.cienciahoje.pt>, em 06/04/2008.

Coelho, C. (1998) *Análise Técnica- Econômica – Financeira de Projetos em Rochas Ornamentais no Município do Rio de Janeiro e Região Metropolitana – Estudo de Caso*. Dissertação de Mestrado (Geologia), Rio de Janeiro - RJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, 158p.

Correia, E. (2004) Geotecnologia: o olho de lince nos projetos de Furnas. *Revista Furnas*. Rio de Janeiro, n. 310, p. 03-03.

Dayrell, R. (2000), *Análise da Variabilidade do Solo em Duas Regiões do Estado do Rio de Janeiro com Auxílio de Métodos Geoestatísticos*: Tese de Doutorado (Engenharia Civil), Rio de Janeiro –RJ, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, PUC-RIO, 340 p.

Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, <http://www.pmi.poli.usp.br>, em 06/04/2008.

Departamento de Recursos Minerais do Rio de Janeiro (2007) Rochas Ornamentais, www.drm.rj.gov.br em 20/04/07, página mantida pelo Governo do Estado do Rio de Janeiro.

Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM (2007), www.dnpm.gov.br em 20/04/07, página mantida pelo Governo Federal.

Dias, J.(2008) *Estudo da variabilidade de propriedades tecnológicas de rochas ornamentais*. Relatório 2008-1 (Iniciação Científica) - Campos dos Goytacazes – RJ Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, 29p, jan. 2008.

Dias, J.(2009) *Estudo da variabilidade de propriedades tecnológicas de rochas ornamentais*. Relatório 2008-2 (Iniciação Científica) - Campos dos Goytacazes – RJ Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF, 26p, jan. 2009.

Eguchi, E. (2001) *Variabilidade espacial de atributos físicos-hídricos de um solo hidromórfico no município de Lavras-MG*. Dissertação de Mestrado (Engenharia Agrícola), Lavras – MG, Universidade Federal de Lavras – UFLA, 85p .

Estação Metr pole, <http://www.estacaometropole.bravehost.com>, em 24/03/2008.

Farias, C., Coelho, J. (2002) *Minera o e meio ambiente no Brasil*. Relatório preparado para o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos Proje es de Cenários Climáticos, Brasília, 42p.

Farias, M. (1999) *Diagnóstico da necessidade de drenagem no perímetro irrigado de São Gonçalo*. Disserta o de Mestrado (Engenharia Agrícola – Irriga o e Drenagem), Campina Grande, PB, Universidade Federal da Paraíba – UFPB, 75p.

Ferreira, G. (2004) *Estudo de estabilidade e tensões in situ na extra o de rochas ornamentais no município de Santo Ant nio de Pádua*. Disserta o de Mestrado (Engenharia Civil – Geotecnia), Campos dos Goytacazes – RJ, Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, 145p.

Fietz, C. (1998) *Variabilidade espacial do armazenamento de água no solo visando o manejo da irriga o por aspersão*. Tese de Doutorado (Agronomia), Piracicaba-SP, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - Universidade de São Paulo - ESALQ/USP, 97p.

Folegatti, M. (1996) *Estabilidade temporal e variabilidade espacial da umidade e do armazenamento de água em solo siltoso*. Tese Livre - Docência (Engenharia Agrícola), Piracicaba- SP, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo - ESALQ/USP, 84p.

Fotosearch, <http://www.fotosearch.com> . em 06/04/2008

Fract-AG: Argamassa Expansiva não Explosiva para Cortes de Mármore, Granitos, Concretos e Demolições em Geral, <http://www.chimicaedile.it/port/fractport.htm>, em 20/04/2008.

Genevois, B; Oliveira, G. (2002) Análise Geoestatística da Distribuição de Camadas de Argila Orgânica em Três Áreas da Região Sul do Recife. *In: XII COBRAMSEG, 2002*, São Paulo. v. 1. p. 1-1.

Geology Survey, <http://www.geology.enr.state.nc.us>, em 20/04/2008.

Google Earth, Image © 2009 Terra Metrics © 2009 Map Link/ Tele Atlas Image © 2009 Digital Globe.

Grossi-sad, J. (1986) *Fundamentos sobre variabilidade dos depósitos minerais*. Departamento Nacional de Produção Mineral, Rio de Janeiro, 141p.

Lamparelli, R., ROCHA, J., BORGHI, E. (2001) *Geoprocessamento e agricultura de precisão: fundamentos e aplicações*. 1 ed. Guaíba – RS: v. 01. 118 p.

Landim, P. (2003) *Análise estatística de dados geológicos*. 2 Ed. UNESP, São Paulo – SP: Fundação Editora da UNESP/FEU, 253p.

Landim, P., CORSI, A. (2001) *Calculo de superfície de tendência, por regressão polinomial, pelo surfer*. Texto Didático 05 (Laboratório de Geomatemática), Rio Claro – SP, Universidade Estadual Paulista – UNESP, 15p.

Landim P., Monteiro, R., Corsi, A. (2002a) *Introdução à elaboração de mapas pelo software surfer*. Texto Didático 08 (Laboratório de Geomatemática), Rio Claro – SP, Universidade Estadual Paulista - UNESP, 22p.

Landim, P., Sturaro, J. (2002b) *Krigagem indicativa aplicada à elaboração de mapas probabilísticos de riscos*. Texto Didático 06 (Laboratório de Geomatemática), Rio Claro – SP, Universidade Estadual Paulista – UNESP, 20p.

Libardi, P., Manfron, P., Moraes, S., Tuon, R. (1996) Variabilidade da umidade gravimétrica de um solo hidromórfico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas – SP, 20, 1-12.

Linternaute Magazine, <http://www.linternaute.com>, em 24/03/2008.

Marble Connection World, <http://www.marble.com.br/>, página da internet acessada em 20/04/2007 e 29/09/2008.

Matta, P. (2003) *Indústria de Rochas Ornamentais – Rejeitos x Produção Limpa*. Salvador – BA, Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM/BA, 45p.

Mattos, I., Rodrigues, E. (2002), Uso/Adequação e Aplicação de Rochas Ornamentais na Construção Civil. *Cartilha de Rochas Ornamentais* (Curso de Curta Duração) Brasília – DF, SENAI/DN.

Mead, R.; Curnow, R. (1983) *Statistical methods in agriculture and experimental biology*. 2 ed. Chapman and Hall Publisher: Londres.

Medina, A., Lima, E., Briski, S. (2003) Geotecnologias Aplicadas em Estudos Ambientais: Estudo de Caso no Parque Estadual de Campinhos - PR. In: Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, 3, 2003. Curitiba: Universidade Federal do Paraná –UFPR. 20p.

Mello, J., Batista, J., Júnior, P., Oliveira, M. (2005) Ajuste e seleção de modelos espaciais de semivariograma visando à estimativa volumétrica de *Eucalyptus grandis*. *Scientia Forestalis* 69, 25-37.

Minerais do Paraná – MINEROPAR, <http://www.mineropar.pr.gov.br>, acessado em 03/06/2008.

Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão <http://www.planejamento.gov.br>, página acessada em 07/10/2008.

Miranda, S., Jesus, A., Dias, L., Campos, L. (2006) Uso das Técnicas de Georeferenciamento na Locação de Amostras Pontuais Aplicadas a Mapeamento Geotécnico. (Artigo Apresentado). In. *II Simpósio Brasileiro de Jovens Geotécnicos – II Geojovem*. Nova Friburgo – RJ.

Nora, E. (2006) *Diagnóstico, problemática e alternativas para redução do impacto ambiental da extração e industrialização de pedras preciosas do município de Ametista do Sul*. Monografia de Pós-Graduação (Ciências Ambientais), Frederico Wesphalen – RS, Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões - URI, 48p.

Queiroz, J. (1995) *Parâmetros hidrodinâmicos para um solo de várzea para fins de drenagem subterrânea*. Tese de Doutorado (Irrigação e Drenagem) Piracicaba-SP, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo - ESALQ/USP, 167p.

Reis, R., Sousa, W. (2003) Métodos de lavra de rochas ornamentais. *Revista Escola de Minas-REM*, Ouro Preto, 53 (6), 207 – 209.

Revista Rochas de Qualidade, pagina da internet: <http://www.revistarochas.com.br>, acessada em 07/10/2008.

RS, <http://www.rs-components.co.uk/>, em 20 04 08

Salviano, A. (1996) *Variabilidade de atributos de solo e de *Crotalaria juncea* em solo degradado do município de Piracicaba-SP*. Tese de Doutorado (Agronomia), Piracicaba-SP, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - Universidade de São Paulo - ESALQ/USP, 91p.

- Samizava, T., Nunes, J.(2005) Geotecnologias e a análise empírica em geografia: uma abordagem aplicada ao planejamento ambiental. In: *Semana de Geografia*, 6, Presidente Prudente- SP, Universidade Estadual Paulista – UNESP, 11p.
- Sengik, E. (2005) *As rochas e os minerais*. Maringá – PR, Universidade Estadual de Maringá- UEM, 10p.
- Serviço Brasileiro de Apoio às Micros e Pequenas Empresas – SEBRAE, <http://www.sebrae.com.br>, em 03/06/2008.
- Silva, A. (1988) *Variabilidade espacial de atributos físicos do solo*. Tese de Doutorado (Agronomia), Piracicaba. Piracicaba - SP, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo - ESALQ/USP, 105p.
- Silva JR. M. (1984) *Composição florística, estrutura e parâmetros fitossociológicos do cerrado e as relação com o solo na Estação Florestal de Experimentação de Paraopeba, MG*. Dissertação de Mestrado (Ciência Florestal), Viçosa – MG, Universidade Federal de Viçosa - UFV, 130p.
- Silveira J.,Machado, A.,Zonta, E., Silva, J. (1989) *Curso de Estatística I*.Pelotas –RS, Editora Universitária – Universidade Federal de Pelotas, 135p.
- Spiegel, M. (1993) *Estatística*. 3. ed. São Paulo: Makron Books, 643p.
- Sturaro, J. (1993) *Mapeamento geoestatístico de propriedades geológicas-geotécnicas obtidas de sondagens de simples reconhecimento*. Tese de Doutorado (Geotecnia), São Carlos – SP, Escola de Engenharia de São Carlos, 183p.
- Sturaro, J., Landim, P., Reidel, P. O emprego da Técnica Geoestatística da Krigagem Indicativa em Geotecnia Ambiental. Solos e Rochas: *Revista Latino-Americana de Geotecnia*, São Paulo v. 23 n. 3, p. 157-164.
- Travel About.com, <http://goasia.about.com>, em 24/03/2008.

Trilhas e Aventuras, /www.trilhaseaventuras.com.br, site visitado em 08/01/2009.

Universidade de Brasília - UNB, Glossário: Exfoliação, http://www.unb.br/ig/glossario/fig/exfoliacao_esferoidal.htm, em.24/03/2008.

Uribe-Opazo, M. , Johann, J., Vilas-Boas, M., Borssoi, J., Lunkes, C. (2006) Fatores que influenciam na estimação de parâmetros no ajuste de modelos teóricos à semivariogramas experimentais no estudo da produtividade da soja. *Congresso Latinoamericano e do Caribe de Engenharia Agrícola e V Congresso Internacional de Engenharia Agrícola VII*, Cocepción-Chillan-Chile, v. 1 p. 1-8.

Vieira, S., Neto, F (1995) *Variabilidade espacial do potencial de erosão das chuvas do Estado de São Paulo*. Campinas -SP. 8p.

Anexo I

Tabela A-1: Ensaio de Resistência a Compressão Jazida 2 – Metodologia direta na prensa mecânica.

Amostra	D(mm)	W(mm)	A(mm ²)	P(ton)	σ (MPa)	NCC (1,73)	NCC (1,65)
1	74,81	74,81	5597,00	55	96,302	1,8584	3,9388
2	74,81	74,81	5597,00	75	131,32	0,1974	0,9805
3	74,78	74,78	5592,00	85	148,83	0,633	0,4987
4	74,88	74,88	5607,00	71	124,32	0,5296	1,5721
5	74,76	74,76	5589,00	86	150,58	0,7161	0,6466
6	74,85	74,85	5603,00	84	147,08	0,55	0,3508

Através do NCC (Número Crítico de Chauvenet) é descartado a amostra 1 dos ensaios caracterizados na Tabela A-1. A média da resistência a compressão (σ_M) que antes era 133,07 MPa passa a ser 140,43 MPa, enquanto o Desvio Padrão de 20,89 passa para 11,83.

Por regressão linear é possível obter a carga de ruptura equivalente a um diâmetro de 50 mm ($P_{(50)}$), e assim calcular o valor do $Is_{(50)}$ conforme a equação A-1 (ASTM, 1995).

$$Is = \frac{Pr}{De^2} \quad (A-1)$$

Onde:

De^2 : Diâmetro equivalente,

Pr: Força no momento da ruptura.,

A Figura A-1 fornece a equação da reta obtida por regressão. Assim temos para um diâmetro equivalente de 50mm pressão $P_{(50)}=14kN$ e conseqüentemente $Is_{(50)} = 5,6$ MPa. Para a determinação da constante K (equação A-2) é utilizado o resultado obtido com a prensa mecânica (equação A-3), assim é calibrado o equipamento Point-load acondicionado na prensa elétrica com cones de aço.

$$\sigma_c = K I_s \quad (\text{A-2})$$

Onde:

K: Constante da maquina de Point-load,

σ_c : Resistência a compressão simples.

$$\sigma_M = K I_{s(50)} \quad (\text{A-3})$$

Onde:

σ_M : Tensão média de ruptura direta obtida na Tabela A-1.

$I_{s(50)}$: Parâmetro de resistência (ver equação A-1).

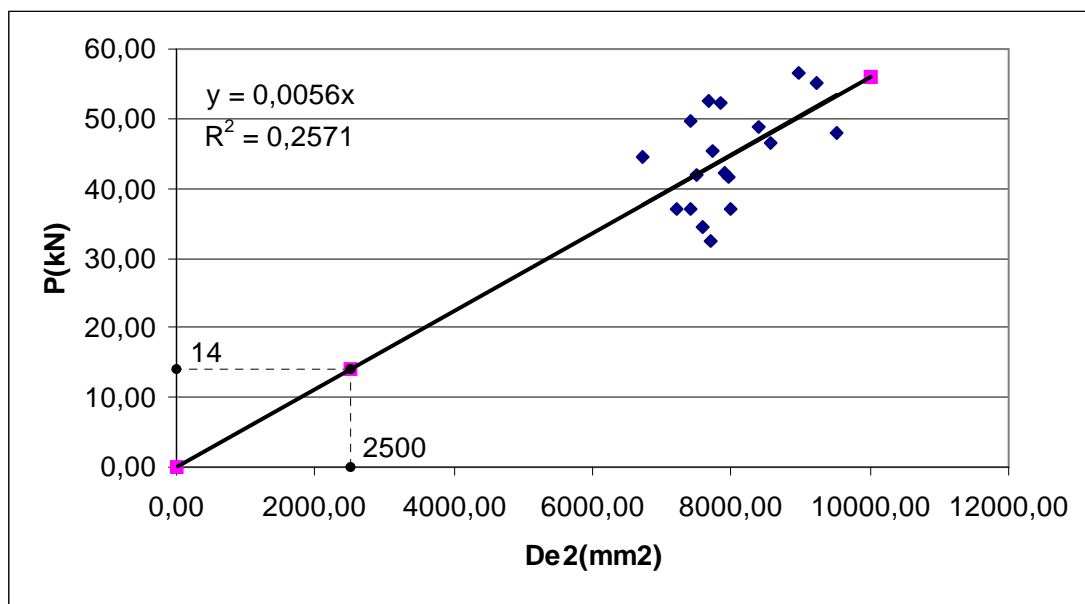


Figura A-1: Dados do Ensaio de Compressão “Point-Load”.

A seguir são apresentados os resultados da determinação da resistência a compressão simples pelo método indireto de Point-load, mostrados na Tabela A-2.

Como a Tensão neste ensaio caracterizado pela Tabela A-2 é obtida pelo I_s multiplicado a constante da máquina ($K=25,07$), o método de Chauvenet analisada então a média e desvio deste índice que são respectivamente 5,61 e 0,8.

A Média e o Desvio Padrão relacionados à resistência a compressão do material são respectivamente 140,65 MPa e 20,11.

Tabela A-2: Ensaio de Resistência a Compressão – Point-Load Jazida 2.

Amostra	D(mm)	W(mm)	A(mm ²)	De ² (mm ²)	P(kN)	I_s	NCC (2,2)	σ (Mpa)
7	66,67	88,24	5882,96	7490,42	41,88	5,59	0,02	140,2
8	69,63	83,49	5813,41	7401,86	49,53	6,69	1,35	167,8
9	70,21	75,23	5281,90	6725,12	44,61	6,63	1,28	166,34
10	72,53	86,11	6245,56	7952,09	41,60	5,23	0,47	131,18
11	76,21	79,79	6080,80	7742,31	45,49	5,88	0,33	147,33
12	76,75	87,64	6726,37	8564,28	46,51	5,43	0,22	136,18
13	77,52	79,44	6158,19	7840,85	52,29	6,67	1,32	167,23
14	78,05	84,34	6582,74	8381,40	48,89	5,83	0,28	146,27
15	78,28	79,21	6200,56	7894,80	42,13	5,34	0,34	133,82
16	78,43	89,76	7039,88	8963,45	56,47	6,30	0,86	157,98
17	78,75	76,50	6024,38	7670,47	52,56	6,85	1,55	171,83
18	81,11	89,26	7239,88	9218,10	55,18	5,99	0,47	150,11
19	85,92	86,99	7474,18	9516,42	47,83	5,03	0,73	126,03
20	75,25	75,25	5662,56	7209,80	37,10	5,15	0,58	129,04
21	79,20	79,20	6272,64	7986,57	36,95	4,63	1,23	116,01
22	76,25	76,25	5814,06	7402,69	37,14	5,02	0,74	125,81
23	77,20	77,20	5959,84	7588,30	34,34	4,53	1,35	113,48
24	77,80	77,80	6052,84	7706,72	32,31	4,19	1,77	105,13