

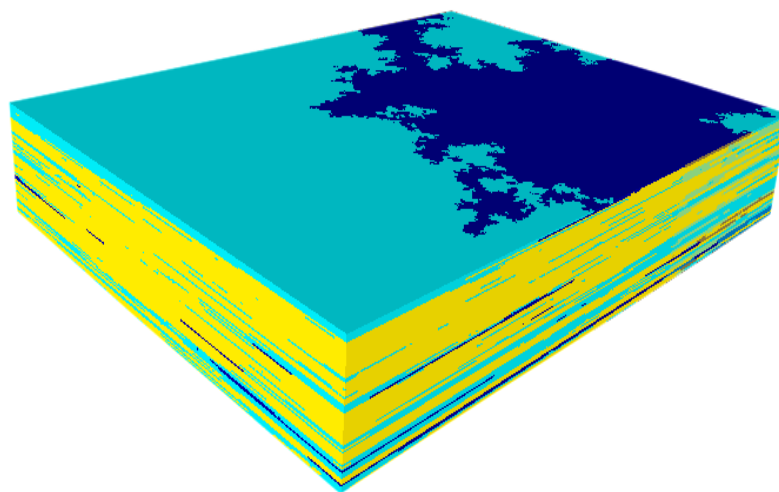


UNIVERSIDADE AGOSTINHO NETO
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE MINAS



José Dala Cabonda

Caracterização litológica do morro Sequele com o uso das probabilidades de transição e a simulação sequencial geoestatística



Luanda, 2023



UNIVERSIDADE AGOSTINHO NETO
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE MINAS



José Dala Cabonda

Caracterização litológica do morro Sequele com o uso das probabilidades de transição e a simulação sequencial geoestatística

Trabalho de fim do curso de Engenharia de Minas, apresentado à Faculdade de Engenharia da Universidade Agostinho Neto, como parte dos requisitos para obtenção do título de licenciado em Engenharia de Mina.

Orientador: Prof. Dr. Emidio Silva

Luanda, 2023

DEDICATÓRIA

Aos meus pais e irmãos pelo apoio incondicional, por serem a minha força e a principal motivação durante este período de formação.

Aos Professores da Universidade Agostinho Neto em especial da Faculdade de Engenharia no departamento de Minas e aos professores de todas as outras instituições frequentada que directamente ou indirectamente contribuíram na obtenção de conhecimentos científicos e habilidades que hoje utilizo para encontrar a solução dos problemas encarados.

Dedico também aos meus amados colegas, amigos e companheiros de formação, graças a eles aprendi muita coisa e muita coisa sem a presença deles não seria realizada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus o Criador, pelo folego de vida e por me ajudar sempre nesta longa caminhada, sem ele nada seria possível. Agradeço em especial à minha família pelo apoio incondicional em todos os momentos da minha vida.

Agradeço o Prof. Dr. Emídio Silva pelos seus incentivos e a sua grandiosa orientação, também agradeço os outros professores e funcionários, desde os seguranças até os responsáveis máximo da faculdade de engenharia que de forma directa ou indirecta contribuíram na concretização deste trabalho.

Não poderia deixar de agradecer os meus grandes colegas e amigos de trincheira pelos momentos vividos e partilhados durante a formação, sem eles muita coisa não seria feita.

"Não é sobre chegar no topo do mundo e saber que venceu. É sobre escalar e sentir que o caminho te fortaleceu. É sobre ser abrigo e também ter morada em outros corações. E assim ter amigos contigo em todas as situações." (***Trem Bala - Ana Vilela***)

RESUMO

O novo formalismo da geoestatística usa modelos de simulação estocástica buscando, fundamentalmente, reproduzir a imagem da "realidade" e a continuidade espacial revelada nos variogramas, com o objetivo de identificar a distribuição espacial, a transição e a incerteza da realidade que pode ser representada por um conjunto de variáveis categóricas como, facies geológicas e classes de solos (SOARES, 2006). O modelo geológico de um depósito mineral é a base de referência para as decisões técnicas e econômicas de um projecto de mineração e frequentemente na modelagem geológica, as maiores fontes de incertezas são as distribuições espacial e o volume dos domínios litológicos (Júnior, 2013). O presente trabalho tem como objectivo geral de construir o modelo litológico do morro do Sequele com a aplicação da simulação sequencial da indicadora, como uma técnica e método apropriado de reprodução das incertezas geológicas da formação não captadas pelas sondagens e amostragens realizadas. Em específico este trabalho procura uma alternativa a modelização da variabilidade espacial das variáveis categóricas que não passe apenas pelo uso das funções covariância e de variograma, mas explore a aplicação dos processos markovianos na caracterização de jazigos de origem sedimentar. O desenvolvimento do trabalho compreendeu a classificação litológica usando diagramas triangulares de Folk para rochas sedimentares que ajudaram na definição do número de litologias a considerar no modelo. Usando a probabilidade de transição das litologias para construir o modelo de continuidade espacial 3D necessário para correr o método da simulação sequencial da variável indicadora (SIS). Entretanto a escolha do SGeMs como software para correr a simulação obrigou a conversão das probabilidades de transição em variogramas. Com as 50 simulações realizadas foi construído o modelo médio geológico da zona, com o processamento E-type, que serviu para a interpretar a distribuição espacial das três litologias identificadas (Calcário, Argila e Areia) no modelo, observando a predominância da litologia Calcário em relação as outras litologias e o aumento da sua presença com a profundidade. As simulações permitiram também, calcular as reservas volumétricas *in situ* das litologias e, no caso do calcário, a medida da incerteza foi feita através das leituras do P10 (cenário pessimista) e P90 (cenário otimista) no histograma acumulado construído com os dados dos 50 modelos simulados.

Palavras-chave: Classificação de Folk, Probabilidades de transição, Continuidade espacial, Simulação Sequencial da indicadora.

ABSTRACT

The new formalism of geostatistics is the use of stochastic simulation models, fundamentally seeking to reproduce the image of "reality" and the spatial continuity revealed in the variograms. The objective of this study was to evaluate the types of lithologies existing in Morro do Sequele.

This evaluation was carried out using the sequential simulation of lithologies in mineralized areas of a given location (Morro do Sequele), using the lithology transition matrix instead of the variogram. with respect to (cross) variogram indicators and (cross) covariance indicators, it facilitates the translation of subjective information and elucidates potential order-relationship problems. Furthermore, it is also shown that the (co)kriging indicator equations can be formulated in terms of the transition probability.

Thus, the transition probability can potentially replace the indicator (crossed) variogram and indicator (crossed) covariance throughout the implementation of the indicator's geostatistics. For this, probability models were treated for processes that evolve in time in a probabilistic way (stochastic processes).

As there are several types of stochastic processes, for the development of this work the Markovian stochastic process type was used. According to Andrei Andreyevich Markov (1856-1922, Russia) a stochastic process becomes a Markovian process if a transition matrix or stochastic matrix is a square matrix that has two characteristics: first all entries are negative and second all columns have sum equal to one and they play an extremely important role in the dynamics of economic systems.

Keywords: Sequential Simulation, Lithology Types, Transition Probability

Lista de figuras

Página

Figura 01 - Visualização de litologias	08
Figura 02 - Diagrama triangular de Folk	09
Figura 03 - Visualização de ambientes sedimentares	10
Figura 04 - Modelo matemático ajustado	17
Figura 05 - Visualização da zona em estudo a partir do mapa	23
Figura 06 - Zoom a partir do mapa em uma das áreas de exploração	24
Figura 07 - Altitude da zona	24
Figura 08 - Vegetação da zona em estudo	25
Figura 09 - Vegetação e clima da zona em estudo	25
Figura 10 - Visualização a partir do mapa das vias de acesso mais rápido	26
Figura 11 - Visualização da situação actual do morro (a)	27
Figura 12 - Visualização da situação actual do morro (b)	28
Figura 13 - Visualização da exploração de inertes na zona em estudo	29
Figura 14 - Mapa da perfuração de vários poços na zona em estudo	31
Figura 15 - Dois cenários da visualização em 3D dos 6 poços usados no estudo	31
Figura 16 - Parte representativa dos dados levantados pela sondagem	32
Figura 17 - Parte representativa dos dados seleccionados para o estudo	33
Figura 18 - Dados do Poço 1 convertidos com 24 amostras	34
Figura 19 - Diagrama estrutural de classificação litológica	35
Figura 20 - Diagrama litológico dos seis poços com 169 amostras	35
Figura 21 - Visualização da distribuição das litologias identificadas em cada poço	35
Figura 22 - Processo de redução de 4 para 3 litologias	36
Figura 23 - Tentativa de ajustar um variograma de forma normal	38
Figura 24 - Construção da matriz das probabilidades de transição	39
Figura 25 - Representação das Probabilidades de transição Directa	40
Figura 26 - Tentativa de ajustamento de um variograma, no SGeMs	42
Figura 27 - Variogramas directos convertidos	43
Figura 28 - Variograma omnidirecional	44
Figura 29 - variograma direcional	45
Figura 30 - Novo ficheiro gslib com a classificação final das litologias.....	48

Figura 31 - Visualização dos dados de entrada (poços) no software (SGeMs)	48
Figura 32 - Malha 3D de células da Simulação.....	49
Figura 33 - Alguns passos dados no software SGeMs, para realizar as simulações	50
Figura 34 - Algumas imagens seleccionadas do conjunto das 50 simuladas.....	51
Figura 35 - Visualização do modelo geológico médio.....	52
Figura 36 - Visualização do topo do modelo geológico.....	53
Figura 37 - Visualização da base do modelo geológico	53
Figura 38 - Secção Transversal do modelo geológico.....	54
Figura 39 - Visualização da proporção com a variação da profundidade	55
Figura 40 - Representação de uma célula	56
Figura 41 - Histograma da simulação nº 2	56
Figura 42 - Modelo geológico médio (b)	58
Figura 43 - Histograma da reserva de Argila	59
Figura 44 - Histograma da reserva de Areia	59
Figura 45(a) - Histograma da reserva de Calcário	59
Figura 45(b) - Histograma da reserva de Calcário analisada	61

Tabela 01 (a) – Legenda das litologias identificadas	35
Tabela 01 (b) – Legenda das litologias consideradas	35
Tabela 02 – Classificação final das litologias	36
Tabela 03 – Quantidade de vezes que um tipo de litologia aparece em cada poço	36
Tabela 04 – Proporção das litologias em cada poço	41
Tabela 05 – Quantidade de vezes que um tipo de litologia aparece em todos os poços	41
Tabela 06 – Proporção geral das litologias em todos os poços	41
Tabela 07 – Parâmetros do variograma horizontal e outras direcções	44
Tabela 08 – Parâmetros do variograma direcional	45
Tabela 09 – legenda das litologias codificadas	46
Tabela 10 – Codificação das três litologias em variáveis indicadoras	47
Tabela 11 – Cálculo do volume	56
Tabela 12 – cálculo das proporções	57
Tabela 13 – cálculo das Reservas	57
Tabela 14 – cálculo das proporções médias	58
Tabela 15 – cálculos das reservas médias	58
Tabela 17 – Sumário estatístico	60
Tabela 16 – P10 (cenário péssimo) e P90 (cenário ótimo)	61

SUMÁRIO

CAPÍTULO I – GENERALIDADE	1
I.1 - INTRODUÇÃO	1
I.2 – JUSTIFICATIVA	3
I.3 – FORMULAÇÃO DO PROBLEMA	3
I.4 - HIPÓTESE	3
I.5 – OBJECTIVOS	4
Objectivo Geral	4
Objectivos Específicos	4
I.6 – METODOLOGIA	5
I.7 - FLUXOGRAMA DO TRABALHO	6
CAPÍTULO II - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
II.1 - LITOLOGIA	7
Rochas ígneas.....	7
Rochas sedimentares	7
Rochas metamórficas	7
II. 2 - MÉTODOS DE CLASSIFICAÇÃO DAS LITOLOGIAS	8
II. 2.1 - caracterização dos ambientes sedimentares.....	10
II. 3 – PROCESSOS MARKOVIANO	11
II. 4 – NOÇÕES DE GEOESTATÍSTICA	14
II. 5 - SIMULAÇÃO SEQUENCIAL GEOESTATÍSTICA.....	18
CAPÍTULO III - CASO DE ESTUDO	23
III. 1 - LOCALIZAÇÃO DA ZONA	23
III. 2 – RELEVO E OUTRAS INFORMAÇÕES DA ZONA	24
III. 3 - VEGETAÇÃO E CLIMA.....	25
III. 4 - VIAS DE ACESSO.....	26
III. 5 ACTIVIDADE MINEIRA E SITUAÇÃO ACTUAL	27
III. 6 – IMPORTÂNCIA DESTE ESTUDO	29
CÁPITULO IV - CLASSIFICAÇÃO LITOLÓGICA	30
IV. 1 - GEOLOGIA DA REGIÃO E DO MORRO	30
IV. 2 – MAPA DA LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS	31
IV. 3 – DADOS LEVANTADOS NOS POÇOS DE SONDAÇÃO	32
IV. 3. 1 – Selecção dos dados para o problema.....	33
IV. 3. 2 – Conversão dos dados.....	33

IV. 4 – DIAGRAMA DA CLASSIFICAÇÃO LITOLÓGICA.....	34
CAPÍTULO V - APLICAÇÃO DO PROCESSO MARKOVIANO	38
V. 1 - PROCESSO MARKOVIANO.....	38
V. 1. 2 - Construção da matriz das probabilidades de transição.....	39
V. 1. 3 - Representação das Probabilidades de transição Directa	40
V. 2 - ESTATÍSTICA DOS POÇOS	41
CAPÍTULO VI - ANÁLISE VARIOGRAFICA DAS LITOLOGIAS.....	42
VI. 1 - CONVERSÃO DAS PROBABILIDADES EM VARIOGRAMAS.....	42
CAPÍTULO VII - APLICAÇÃO DA SIMULAÇÃO SEQUENCIAL	46
VII. 1 - SIMULAÇÃO SEQUENCIAL DA INDICADORA	46
CAPÍTULO VIII – DISCUSSÃO E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS	51
VIII. 1 - MODELO GEOLÓGICO	51
VIII. 1. 1 - Visualização do modelo médio	52
VIII. 2 VARIAÇÃO DAS LITOLOGIAS COM A PROFUNDIDADE	54
VIII. 2. 1 - Secções verticais do modelo médio	54
VIII. 2. 2 - Secções horizontais do modelo médio	55
VIII. 3 - CALCULO DAS RESERVAS	56
VIII. 4 - AVALIAÇÃO DA INCERTEZA	59
CONCLUSÕES.....	62
RECOMENDAÇÕES	63
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64
ANEXOS.....	65
APÊNDICE -A.....	70

CAPÍTULO I – GENERALIDADE

I.1 - INTRODUÇÃO

Actualmente a indústria mineira é muito exigente na obtenção de resultados precisos, por trabalhar com recursos exauríveis do subsolo que requerem melhor estimação dos riscos associados ao investimento e retorno do capital investido no projecto.

Em particular na fase de prospecção do projecto mineiro é feita a recolha de dados por amostragem directa do jazigo e através dos quais é possível construir um modelo geológico, por estimação ou simulação, que permite projectar as actividades nas fases sub-sequentes da exploração mineira, tratamento e comercialização do minério.

Por isso, é constante a procura de novos métodos de estimação, em particular os métodos geostatísticos são um exemplo disso com o surgimento de métodos cada vez mais sofisticados e integradores da informação qualitativa disponível sobre o jazigo.

A integração da informação qualitativa, também conhecida como dados geológicos categóricos, é feita com a utilização de variáveis indicadoras, cada vez mais populares em aplicações nas ciências da terra para estimação, mapeamento e simulação estocástica.

O trabalho está dividido em oito capítulos, no primeiro é feita a introdução geral do trabalho de modo a mostrar de forma simplificada o que cada capítulo trata, apresenta-se o tema do trabalho, mostra-se a justificativa do mesmo, mostra-se o problema, a hipótese, mostram-se os objectivos geral e específico do trabalho, descreve-se o conjunto dos métodos e técnicas (metodologia) utilizadas no desenvolvimento deste trabalho e mostra-se o fluxograma do trabalho.

No segundo capítulo é feito o enquadramento teórico, mostra-se as bases teóricas que dão suporte no desenvolvimento deste trabalho, faz-se uma abordagem sobre: litologias, métodos de classificação das litologias, processos markoviano, noções de geostatística e sobre o método da simulação sequencial.

No terceiro capítulo, é feita a abordagem do caso de estudo, descrevendo a localização da zona, o relevo, a vegetação e o clima, mostra-se as vias de acesso da zona, a actividade mineira e a situação actual do morro e por último explica-se a importância deste caso de estudo.

No quarto capítulo é feita a classificação litológica da zona, aqui começa-se a trabalhar com os dados da amostragem criando o diagrama de classificação litológica, no quinto capítulo fez-se a aplicação do processo markoviano, construiu-se a matriz das probabilidades de transição das litologias e ainda fez-se uma estatística dos poços.

No sexto capítulo é feita a análise variográfica dos dados, de modo a conhecer a sua continuidade e descontinuidade espacial e no sétimo capítulo, é feita a aplicação da simulação sequencial, preparando todas as condições exigidas na aplicação deste método, O oitavo capítulo dedicado a discussão e interpretação dos resultados obtido e por último as conclusões, recomendações.

I.2 – JUSTIFICATIVA

A escolha deste tema tem o intuito de contribuir para o desenvolvimento dos métodos geoestatístico que ajudam a tomada de decisões acertadas dos profissionais da indústria mineira. Em particular e do ponto de vista técnico e científico a escolha da simulação estocástica é justificada pela capacidade do método em transferir ao resultado a incerteza associada as informações litológicas dos dados de partida, porque a quantidade da amostragem litológica é quase sempre incipiente em relação a complexidade genética da formação dos depósitos.

I.3 – FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

O modelo geoestatístico de caracterização das litologias no morro do Sequele encontrou dificuldades na sua aplicação por causa da grande complexidade de construir um modelo de continuidade espacial 3D com a aplicação directa da função do variograma/covariança.

I.4 - HIPÓTESE

Perante o problema em causa existirá uma via alternativa, não obrigatoriamente geoestatística de codificação das informações que facilite a construção de um modelo de continuidade espacial 3D das litologias identificadas no morro do Sequele.

I.5 – OBJECTIVOS

Objectivo Geral

O presente trabalho tem como objectivo geral de construir o modelo litológico do morro do Sequele com a aplicação da simulação sequencial, como uma técnica e método apropriado de reprodução das incertezas geológicas da formação não captadas pelas sondagens e amostragens realizadas.

Objectivos Específicos

- Compreender a aplicação das técnicas de classificação litológicas e poder comparar com a utilização de técnicas mais avançadas;
- Conhecer as possibilidades da modelação da variabilidade espacial de variáveis categóricas para além do uso das funções covariância e de variograma;
- Rever o conhecimento e entender a aplicação dos processos Markovianos na área da caracterização de jazigos sedimentares e tabulares;
- Compreender os aspectos teóricos e aplicativos do uso da estimação ou da simulação geostatística.

I.6 – METODOLOGIA

É sabido que em pesquisa científica são usados métodos, estratégias e formas que levam ao alcance de determinados objectivos. assim, podemos entender que metodologia é o conjunto de métodos, estratégias, formas e técnicas utilizadas no processo de desenvolvimento de um determinado trabalho científico para alcançar os resultados desejados de modo a mostrar e comprovar que a utilização dos mesmos passos, métodos ou técnicas levam ao mesmo resultado.

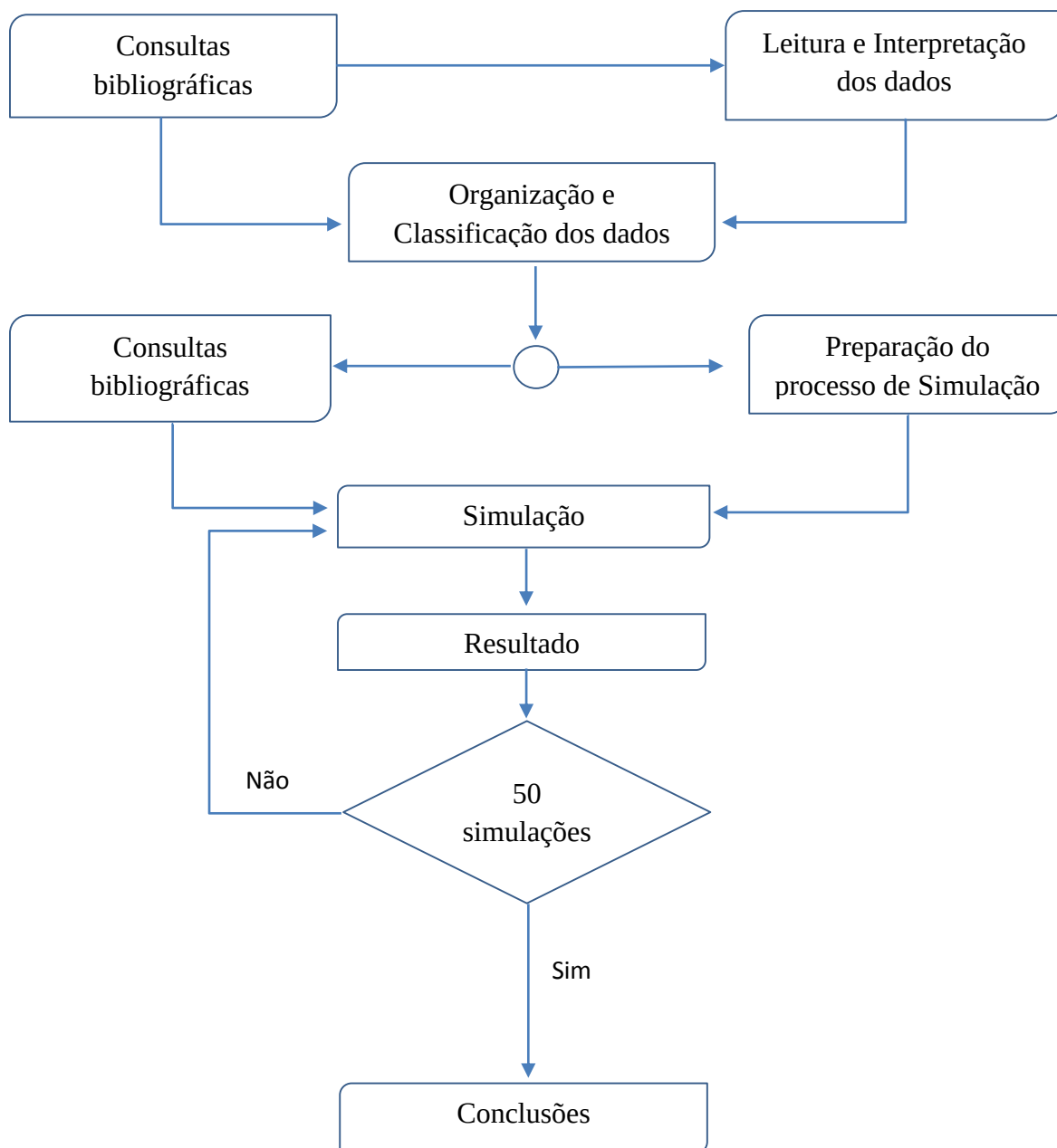
Para este trabalho foi seguida a seguinte metodologia de: natureza aplicada, porque visa produzir conhecimentos para aplicação prática com intenção de solucionar um problema específico. E com uma abordagem qualitativa, por se tratar de um estudo de caso e a observação participante do ambiente natural a fonte directa para colecta de dados e interpretação do fenómeno.

O metodo científico utilizado é o dedutivo, de acordo com a acepção clássica, é o método que parte do geral e, a seguir, desce ao particular, utilizando apenas o necessário para a solução do Problema. O presente trabalho baseou-se na análise de dados contidos no arquivo de formato "gslib" obtidos durante a colaboração da universidade com o Estado e para a recolha de conteúdo usou-se a técnica bibliográfica ou documental, esta técnica foi utilizada na consulta das obras, trabalhos, matérias e pesquisas que abordam o assunto deste trabalho, tendo sido consultados diferentes autores.

Como instrumentos de pesquisa utilizou-se computadores e smartphones ligados a internet, livros e trabalhos de fim curso da faculdade de engenharia e de geologia da UAN encontrados na biblioteca. E para pesquisa de conteúdos, edição do texto, edição de imagens e simulação dos dados foram utilizados softwares como: Google chrome, opera mine, word, excel, power point, tripolt, SGeMs e o Photoshop. SGeMs (Stanford Geostatistical Earth Modeling Software) - é um software de computador e de código aberto, para resolver problemas envolvendo variáveis relacionadas espacialmente.

I.7 - FLUXOGRAMA DO TRABALHO

Aqui nesta parte do trabalho faz-se uma descrição sequencial das etapas realizadas durante o desenvolvimento deste trabalho.



CAPÍTULO II - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

II.1 - LITOLOGIA

Litologia é uma ciência que classifica as rochas a partir do estudo de suas propriedades física e química. Elas também são classificadas de acordo com os processos que dão origem às rochas. Com base nisso, ela se estabelece em três tipos principais de rochas: rochas ígneas, sedimentares e metamórficas, disponível em: www.meteorologiaderede.com.

Rochas ígneas

São aqueles que se formam ao longo do magma. Magma é o material fundido que constitui o manto terrestre. Esses materiais nada mais são do que rocha derretida com gases e líquidos.

Rochas sedimentares

São aqueles que se formam a partir dos sedimentos que se depositam na superfície terrestre e advêm da erosão das rochas existentes. São também chamadas de rochas de origem exógena, pois são formadas a partir de materiais da superfície da crosta terrestre. A formação de muitas dessas rochas tem origem orgânica.

Normalmente esse tipo de rocha que também possui outros seres vivos se caracteriza por ser estratificada. Ou seja, as rochas apresentam camadas ou estratos. Exemplos das rochas sedimentares mais conhecidas eles são calcários com o resto de conchas, arenitos e folhelhos.

Rochas metamórficas

São aqueles que se formam a partir dos dois tipos de processos anteriores. Esses processos ocorrem nas profundezas da crosta terrestre ou mais superficialmente. São rochas que se formam a partir de formações sedimentares que foram submetidas a grandes pressões e altas temperaturas.



Figura 01: visualização de litologias, disponível em: www.meteorologiaderede

A caracterização litológica consiste na descrição de rochas em afloramento ou amostra de mão, com base em várias características, tais como a cor, textura, estrutura, composição mineralógica ou granulometria. Ou seja, formação litológica é o processo de formação da rocha em que esta passa por deformações resultantes do tipo de solo.

II. 2 - MÉTODOS DE CLASSIFICAÇÃO DAS LITOLOGIAS

O termo “classificação litológica” é muito amplo pois as rochas apresentam muitas características. Sabendo que a zona em estudo está constituída por rochas carbonática, que é um tipo de rocha sedimentar de origem química ou bioquímica composta essencialmente por minerais carbonáticos.

Os principais minerais carbonáticos são: a calcita (CaCO_3), a dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) e a aragonita (CaCO_3). A siderita (FeCO_3), a magnesita (MgCO_3) e a ankerita ($\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe})(\text{CO}_3)_2$) também são minerais do grupo carbonatos, embora com menor participação na composição das rochas. Além dos minerais do grupo dos carbonatos, as rochas carbonáticas também podem apresentar argilominerais, quartzo, minerais fosfáticos, óxidos e sulfetos.

As principais classificações de rochas carbonáticas existentes na literatura, foram propostas por Folk (1959), Embry & Klovan (1971) e Lucia (1983) foram realizadas para classificar as rochas carbonáticas detríticas. Riding (2002) definiu rochas carbonáticas (reef rocks) como sendo depósitos calcários in situ formados por organismos sésseis, os reef rocks são estruturas complexas e diversificadas com uma longa história geológica.

O mesmo autor também propôs uma classificação alternativa para rochas carbonáticas recifais (reef rocks), esta classificação se baseia nos três principais componentes das rochas recifais: matriz, esqueleto e cimento. Na classificação proposta por Riding (op. Cit.) são incluídos os travertinos, apesar do envolvimento orgânico não seja suficientemente importante para a sua formação. Os travertinos são formados pela precipitação de carbonato de cálcio a partir de processos orgânicos e inorgânicos em ambiente de fontes termais.

Há diversas classificações para as rochas carbonáticas, o primeiro a criar um esquema de classificação para carbonatos foi Grabau (1904), esta classificação é uma das mais abrangentes, porém é bastante confusa e por isto, nunca foi popular, uma série de classificações foram propostas desde então, incluindo:

- Os sistemas de classificações de carbonatos detríticos desenvolvidos por Folk (1959, 1962) e Dunham (1962), considerados os mais populares e modernos;
- As classificações para rochas carbonáticas orgânicas propostas por Embry & Klovan (1971) e Riding (2002);
- O esquema de classificação que inclui aspectos deposicionais, diagenéticos e biológicos proposto por Wright (1992);
- Classificação de Travertinos e outras mais.

Para este trabalho usou-se o método de classificação proposto por Folk afim de expressar a composição mineralógica, foram usados os valores obtidos na contagem de pontos e em seguida, recalculados para percentagens de calcário, argila e quartzo. Posteriormente, os dados foram inseridos no diagrama triangular de classificação de rochas sedimentares (Folk, 1980).

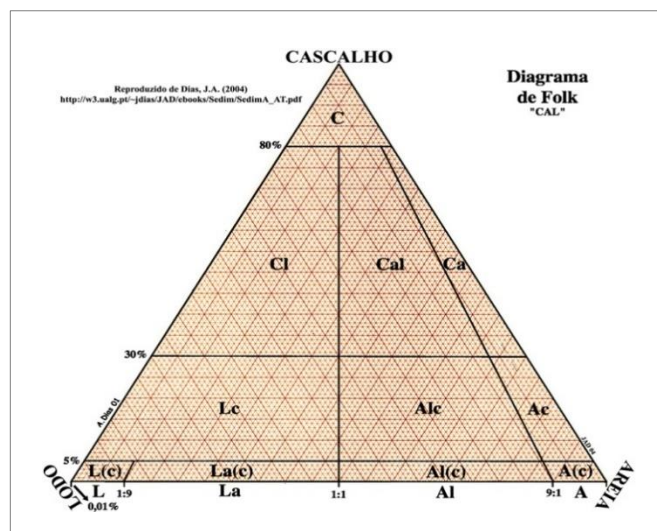


Figura 02: Diagrama triangular de Folk

II. 2.1 - caracterização dos ambientes sedimentares

Ambientes de sedimentação são áreas da superfície da terra onde depositam-se e acumulam-se grandes volumes de material sólido (sedimento) que foram transportados pelos agentes atmosféricos em clima de erosão. Ondine Evans (2009), Frederick L. Schwab, Keith A.W. Crook e outros (2017).

Este fenômeno é estudado em detalhes pela geologia, especialmente para entender e recriar as condições terrestres do passado. O acúmulo de sedimentos no solo de um local está compactando o material sólido ao longo do tempo, formando o que é chamado de rochas sedimentares.

A composição dessas rochas varia de acordo com as condições climáticas, o local e os agentes de transporte envolvidos. Ao estudar a composição do solo e seu material sedimentado, muitas dessas informações são interpretáveis.



Figura 03: visualização de ambientes sedimentares, (google)

Ambientes sedimentares como desfiladeiros, falésias costeiras e desertos rochosos mostram material solidificado no chão e nas paredes durante séculos em camadas típicas ou fácies horizontais, uma acima da outra. Os tipos de ambientes sedimentares podem ser classificados de acordo com: O clima em que ocorrem, a composição geométrica dos sedimentos, a sequência de fácies e o tipo de agente climático-atmosférico do fenômeno. Esta última classificação é a mais conhecida e será explicada abaixo.

II. 3 – PROCESSOS MARKOVIANO

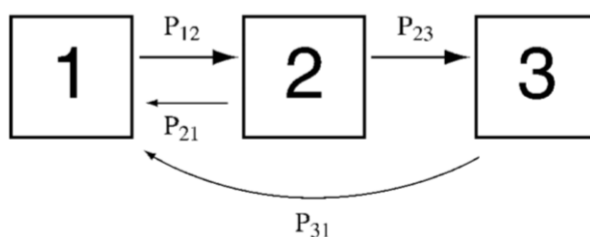
Um processo estocástico é definido como uma coleção de variáveis randômicas ($X(t)$) indexadas por um parâmetro interesse no tempo t . Quando “ t ” pertencente ao conjunto “ T ”, frequentemente T é tomado para ser o conjunto dos inteiros não-negativos (porém outros conjuntos são perfeitamente possíveis) e $X(t)$ representa uma característica mensurável (Epd042, 2009).

Processos estocásticos são de interesse para descrever o procedimento de um sistema operando sobre algum período, com isso, em termos formais, a variável randômica $X(t)$ representa o estado do sistema no parâmetro (geralmente é o tempo) t . Portanto, pode-se afirmar que $X(t)$ é definido em um espaço denominado espaço de estados, os processos estocásticos podem ser classificados em relação ao estado e em relação ao tempo. Existem vários tipos de processos estocásticos, porém neste trabalho será abordado um tipo de processo estocástico denominado processo Markoviano.

Este processo é realizado com modelos matriciais referentes a alguma situação encontrada (ou fenômeno estudado) e avaliada estatisticamente em algum momento de tempo, que pode propiciar, com certa precisão, prever algum comportamento futuro e com isso tomar uma decisão a fim de se atingir os resultados almejados.

Os modelos matriciais são probabilísticos, isto é, aqueles que fornecem dados com algum grau de certeza, com eles é possível obter certa previsibilidade de factos, porque possuem a capacidade de prever um estado futuro baseado apenas no estado atual.

Em palavras simples, uma Cadeia de Markov é um modelo matemático que estuda transição entre estados, tais que a ocorrência de um estado imediatamente futuro, depende apenas do estado actual.



Definição:

Seja P uma matriz $k \times k$ com elementos $\{P_{i,j} : i, j = 1, \dots, k\}$. Um processo aleatório $(X_0, X_1, \dots)$ com espaço de estado finito $S = \{s_1, s_2, \dots, s_k\}$ é dito ser uma Cadeia de Markov com matriz de transição P , se $\forall n$, todo $i, j \in \{1, \dots, k\}$ e todo $i_0, \dots, i_{n+1} \in \{1, \dots, k\}$, temos: $P(X_{n+1} = s_j | X_0 = s_{i_0}, X_1 = s_{i_1}, \dots, X_{n-1} = s_{i_{n-1}}, X_n = s_i) = P(X_{n+1} = s_j | X_n = s_i) = P_{i,j}$

Observação - Os elementos da matriz de transição P são chamados de probabilidade de transição e têm que satisfazer estas condições:

- ❖ $P_{i,j} \geq 0 \quad \forall i, j \in 1, \dots, k$
- ❖ $\sum_{j=1}^k P_{i,j} = 1 \quad \forall i \in 1, \dots, k$

Conforme se viu la acima será um processo Markoviano se:

$$P\{X(t_{k+1}) \leq x_{k+1} | X(t_k) = x_k, X(t_{k-1}) = x_{k-1}, \dots, X(t_1) = x_1, X(t_0) = x_0\} = P\{X(t_{k+1}) \leq x_{k+1} | X(t_k) = x_k\} \quad (1)$$

para $t_0 \leq t_1 \leq \dots \leq t_k \leq t_{k+1} = 0, 1, \dots$ e toda sequência $k_0, k_1, \dots, k_{t-1}, k_t, k_{t+1}$

A expressão (1) pode ser traduzida da seguinte forma: A probabilidade condicional de qualquer evento futuro, dado qualquer evento passado e o estado presente $X(t_k) = x_k$ é independente do evento passado e depende somente do estado presente. Em termos mais resumidos, um processo estocástico é dito um processo Markoviano se o estado futuro depende apenas do estado presente e não dos estados passados.

Este tipo de processo é também denominado de *memoryless process* (processo sem memória), uma vez que o passado é esquecido (desprezado).

As probabilidades condicionais, $P\{X(t_{k+1}) = x_{k+1} | X(t_k) = x_k\}$

São denominadas probabilidades de transição e representam, portanto, a probabilidade do estado $X(t_{k+1})$ ser x_{k+1} no instante t_{k+1} dado que o estado $X(t_k)$ é x_k no instante t_k .

Se para cada x_{k+1} e x_k , tem-se:

$$P\{X(k+1) = x_{k+1} | X(k) = x_k\} = P\{X(1) = x_1 | X(0) = x_0\} \quad (2)$$

$$\forall \text{ seqüência } 1, 2, \dots, k-1, k, k+1$$

Então, as probabilidades de transição são ditas estacionárias. Assim, tendo-se probabilidades de transição estacionárias implica que as probabilidades de transição não mudam em relação ao tempo. Ainda, de acordo com a expressão (2), as probabilidades de transição são denominadas probabilidades de transição de passo 1. A existência de probabilidades de transição estacionárias de passo 1 implica que para cada X_{k+n} e X_k e n ($n = 0, 1, 2, \dots$), tem-se:

$$P\{X(k+n) = x_{k+n} | X(k) = x_k\} = P\{X(n) = x_n | X(0) = x_0\} \quad (3)$$

$$\forall \text{ seqüência } 1, 2, \dots, k-1, k, k+1$$

Estas probabilidades condicionais são chamadas de probabilidades de transição de passo n . Para simplificação da notação, adotando X_{k+1} ou X_{k+n} de j e X_k de i , pode-se definir:

$$p_{ij}^{(n)} \geq 0 \quad \forall (i, j), n = 0, 1, 2, \dots \quad (4)$$

e

$$\sum_{j=0}^M p_{ij}^{(n)} = 1 \quad \forall i; n = 0, 1, 2, \dots \quad (5)$$

Uma maneira conveniente de mostrar todas as probabilidades de transição de passo n é:

Estado	0	1	...	M
0	$p_{00}^{(n)}$	$p_{01}^{(n)}$	...	$p_{0M}^{(n)}$
1	$p_{10}^{(n)}$	$p_{11}^{(n)}$	...	$p_{1M}^{(n)}$
.	.	.	...	.
M	$p_{M0}^{(n)}$	$p_{M1}^{(n)}$	...	$p_{MM}^{(n)}$

ou, equivalentemente, por uma matriz $P^{(n)}$:

$$P^{(n)} = \begin{bmatrix} p_{00}^{(n)} & p_{01}^{(n)} & \dots & p_{0M}^{(n)} \\ p_{10}^{(n)} & p_{11}^{(n)} & \dots & p_{1M}^{(n)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{M0}^{(n)} & p_{M1}^{(n)} & \dots & p_{MM}^{(n)} \end{bmatrix}$$

A matriz $P^{(n)}$ é denominada matriz de transição de passo n , quando $n = 1, 2, 3, \dots, k$ e quando $n = 1$, a matriz é denominada apenas matriz de transição.

II. 4 – NOÇÕES DE GEOESTATÍSTICA

As primeiras publicações sobre geoestatística tiveram início na metade dos anos de 1900, com os trabalhos de “Geoestatística” de Kolmogorov (1941), as contribuições de Daniel Krige (1951) e De Wijs (1951; 1953), Matern (1960) e Matheron (1962; 1963; 1971), com a “Teoria das variáveis regionalizadas”, que tornaram possível a aplicação da Geoestatística.

O engenheiro de minas sul-africano Daniel Krige (1951), trabalhando com concentrações de ouro em que não conseguiu encontrar relação entre as amostras, utilizando a estatística clássica, definiu que as amostras possuíam uma relação em função da posição geográfica, a qual não poderia ser explicada por uma estatística simples, sendo necessário, pois o uso de modelos matemáticos para estimar uma população baseada na correlação espacial, dependente da posição geográfica.

A teoria das variáveis regionalizadas parte do princípio da “primeira lei da geografia”, em que “todas as coisas são parecidas, mas coisas mais próximas se parecem mais que coisas mais distantes” (TOBLER, 1979). Surge então a necessidade de quantificar a estrutura de dependência espacial dos depósitos de reservas minerais, porém somente com a estatística clássica não seria possível, pois ignora a continuidade espacial.

Desta maneira, consolidam-se métodos estatísticos para a análise espacial aplicada: a geoestatística (GOOVAERTS, 1997). A quantificação da dependência espacial é comumente descrita por meio de correlogramas ou variogramas, sendo que o último é mais utilizado por ser menos restritivo para os dados encontrados na natureza (WARRICK; NIELSEN, 1980).

Segundo Webster e Oliver (2007), o facto de a variação espacial parecer aleatória sugere um caminho a seguir. Se adotarmos uma visão estocástica, então para cada ponto na área de estudo, não existe somente um valor do atributo estudado, mas um conjunto de valores. O valor observado é considerado como um possível valor retirado aleatoriamente de acordo com alguma lei de alguma distribuição de probabilidade.

Assim, na posição x , um valor de um atributo do solo $Z(x)$ é tratado como uma variável aleatória com uma média, μ , e uma variância σ^2 , momentos de ordem superior, e uma função de distribuição acumulada (F.D.A). Ele tem distribuição de probabilidade completa, e é desta distribuição que o valor actual foi retirado. Se for conhecida aproximadamente essa distribuição, podem-se estimar valores em locais não amostrados pelos dados na vizinhança do ponto e colocar erros nestas estimativas.

Os métodos geostatístico indicadores estão se tornando cada vez mais populares nas ciências da terra para estimativa, mapeamento e simulação estocástica porque muitos dados geológicos são categóricos, por exemplo, fácies, classificações de solo, fases de mineralização, intervalos de concentração e etc. além disso, dados geológicos e geofísicos de contínua natureza pode não se conformar aos modelos gaussianos e pode necessitar de uma abordagem não paramétrica (Journel, 1983).

Ao aplicar uma abordagem geoestatística de indicador, a modelagem de continuidade espacial pode ser a etapa mais crucial e difícil. Tradicionalmente, os variogramas de indicadores de amostra (cruzados) são ajustados empiricamente com funções matemáticas permitidas e compatíveis, como os modelos esféricos ou exponenciais (Christakos, 1984; Armstrong, 1992; Deutsch e Journel, 1992, p. 23).

Na prática, os dados podem não ser suficientemente abundantes para suportar o cálculo direto do modelo, especialmente na aplicação à subsuperfície, exigindo alguma combinação de ajuste de modelo empírico e subjetivo, a tradução do conhecimento subjetivo em modelagem de continuidade espacial pode ser crucial para a implementação bem-sucedida de indicador na geoestatística. De acordo com Deutsch e Journel (1992, p. 58), é a interpretação subjetiva que faz um bom modelo geológico, os dados, por si só, raramente são suficientes.

O aspecto subjetivo do desenvolvimento do modelo geológico pode ser muito melhorado pela capacidade de traduzir quantitativamente conceitos e observações no modelo de continuidade espacial. As características fundamentais das variáveis indicadoras (categóricas) que podem ser inferidas subjetivamente são: Proporção, comprimento médio (por exemplo, espessura média na direção vertical) e padrões de justaposição.

“Justaposicionamento” aqui se refere como uma categoria, incluindo padrões não aleatórios e específicos de direção (assimétricos), como ciclos de ajuste para cima (ver Allen, 1970). A anisotropia ocorre quando os comprimentos médios diferem com a direção.

Essas informações conceituais podem ser fornecidas por interpretações geológicas, por exemplo, da arquitetura de fácies ou padrões de mineralização. Modelos de continuidade espacial simulações e estimativas de (co) krigagem para variáveis indicadoras também devem obedecer às leis básicas de probabilidade, também chamadas de “relações de ordem” em geoestatística (Journel e Posada, 1990).

A consideração da construção do modelo de continuidade espacial das leis de probabilidade ajuda a evitar as correções de relações de ordem frequentemente exigidas na estimativa do indicador (co) krigagem (Deutsch e Journel, 1992, p. 77-81).

Com este trabalho procurou-se mostrar como a probabilidade de transição com respeito aos indicadores (cruzados) variogramas e indicadores (cruzados) covariâncias, facilita a tradução de informações subjetivas e elucida problemas potenciais de relação de ordem.

Além disso, mostra-se também que as equações indicadoras de (co) krigagem podem ser formuladas em termos da probabilidade de transição. Assim, a probabilidade de transição pode potencialmente substituir o indicador (cruzado) variograma e indicador (cruzado) covariância ao longo da implementação da geoestatística do indicador. Para isso serão tratados modelos de probabilidade para processos que evoluem no tempo de maneira probabilística, tais processos são denominados processos estocásticos.

O semivariograma ou variograma é um estimador imparcial e sem tendência, podendo ser afectado quando se têm observações atípicas (TRANGMAR; YOST; UEHARA, 1985; ISAACS; SRIVASTAVA, 1989). Os parâmetros do variograma são: alcance (a), efeito pepita (C_0) e patamar (C_0+C_1) caracterizam os três elementos mais importantes do modelo de variabilidade de uma variável (TRANGMAR; YOST; UEHARA, 1985).

Alcance (Amplitude)

O alcance de um processo espacial pode ser visto como a distância máxima de correlação entre as variáveis $Z(x_i)$ e $Z(x_i + h)$, e acima desta medida não se consideram correlacionadas ou a distância h para a qual as variáveis $Z(x_i)$ e $Z(x_i + h)$ são independentes, sendo a distância h , na qual o modelo alcança o patamar. Os pontos separados por uma distância inferior ao alcance consideram-se espacialmente correlacionados. Assim, observações espaçadas por distâncias maiores que o alcance, são consideradas independentes.

Patamar

A curva do modelo ajustado no semivariograma experimental cresce até se estabilizar. Esta parte horizontal é denominada de patamar; isto implica que, para valores grandes de h , não existe estrutura dependência espacial entre os dados, pois todas as estimativas da variância das diferenças serão invariantes com a distância de separação entre as amostras.

Efeito Pepita

Na teoria, o semivariograma é nulo na origem, mas o modelo ajustado nem sempre passa pela origem devido a uma descontinuidade na origem do fenômeno em função da variação de microescala, erros de medições de campo, laboratoriais e/ou microvariabilidade (HERNÁNDEZ, 2009). Esta medida é denominada efeito pepita e ele é representado por C_0 , termo extraído das aplicações no minério (pepita, nugget), e é a situação em que o variograma não tende a 0 próximo da origem (MATHERON, 1963).

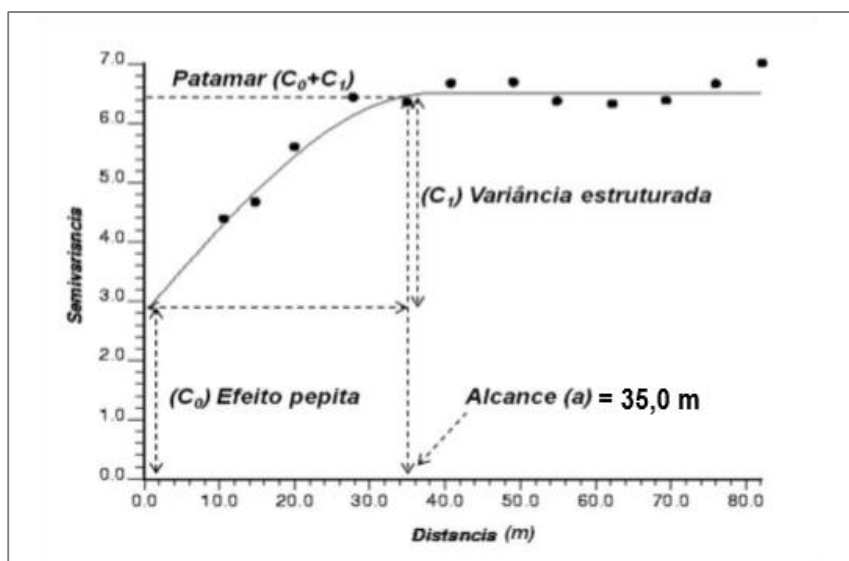


Figura 04: Modelo matemático ajustado, Adaptado de (SILVA JÚNIOR et al., 2012).

Outros critérios são usados no cálculo do variograma experimental, dependendo do objetivo ou software utilizado, como por exemplo:

- ❖ Distância mínima considerada (cutoff distance).
- ❖ Distância máxima considerada (cutoff distance).
- ❖ Limite angular (bandwidth).
- ❖ Número de classes (number of lags).
- ❖ Tamanho da classe (lag distance).
- ❖ Tolerância ao tamanho da classe (lag tolerance).

II. 5 - SIMULAÇÃO SEQUENCIAL GEOESTATÍSTICA

O uso das informações da variabilidade espacial de atributos do solo e de sua relação com a produtividade é essencial para se conhecer as causas da variabilidade espacial, somente assim podemos explicar bem as relações de causa e efeito, podendo ser pontos-chave na inclusão de modelos de predição (DANIELS; NIELSON, 1987).

As concepções desses autores são complementadas por Wilding e Dress (1983) em que essa variabilidade espacial é resultante de vários factores causais, e responsáveis pela evolução da paisagem, sendo preciso entender os tipos de variação do solo, por exemplo, se é sistemática ou aleatória.

Outro factor importante a considerar em estudos de variabilidade espacial é que sempre aparecerá o problema do número de amostras quando se considera a área de estudo como “homogênea”, mas a questão que permanece é: qual é o número de amostras para serem representativas? Esta é uma abordagem que depende da distribuição de vários parâmetros, que depende do objetivo da pesquisa (WARRICK; NIELSEN, 1980).

A preocupação com a variabilidade espacial de atributos e de solos não é um tema novo, pois existe desde o início da ciência do solo, porém não existiam métodos práticos, como a geoestatística, capazes de quantificar tal problema (REICHARDT; VIEIRA; LIBARDI, 1986). A geoestatística é a melhor ferramenta a ser recomendada para estudos de variabilidade espacial (WILDING; DRESS, 1983).

Surge então a necessidade de quantificar a estrutura de dependência espacial dos depósitos de reservas minerais, porém somente com a estatística clássica não seria possível, pois ignora a continuidade espacial. Desta maneira, consolidam-se métodos estatísticos para a análise espacial aplicada: a geoestatística (GOOVAERTS, 1997).

A quantificação da dependência espacial é comumente descrita por meio de correlogramas ou variogramas, sendo que o último é mais utilizado por ser menos restritivo para os dados encontrados na natureza (WARRICK; NIELSEN, 1980).

Com o tempo foram desenvolvidos modelos de simulação que, ao contrário dos métodos clássicos (Krigagem), são capazes de reproduzir a continuidade espacial e ainda, a função de distribuição de probabilidade. Entre os algoritmos de simulação condicional, está a simulação sequencial indicatriz, sendo bastante utilizada para quantificar e avaliar a incerteza de um atributo (GOOVAERTS, 1998).

Estes modelos geram imagens que devem cumprir três condições:

- i) Reprodução da função de densidade de probabilidade acumulada condicional;
- ii) Capacidade de reprodução da estrutura espacial (histograma, variância);
- iii) Reprodução exata dos valores amostrados.

A simulação permite infinitas realizações de mapas, cada qual com aproximadamente, o mesmo histograma e o mesmo semi-variograma que os dados originais. Teoricamente, a média de um grande número de mapas simulados deve fornecer resultados mais reais e, consequentemente mais confiáveis para predições. A simulação tenta atingir realismo e a acurácia da estimativa.

As simulações estocásticas consistem em um conjunto de métodos capazes de gerar modelos numéricos ou realizações da distribuição espacial de uma variável categórica (por exemplo, unidades geológicas, classes de solos, presença ou ausência de pragas agrícolas, entre outras) ou uma variável numérica (porosidade, permeabilidade, saturação de água, densidade do solo);

O conjunto de saída consiste em imagens igualmente prováveis, ou seja, tem a mesma probabilidade de ocorrência (MATHERON et al., 1987; JOURNEL; ALABERT, 1988; PEREZ; JOURNEL, 1990; GOOVAERTS, 1996).

Estes modelos são baseados num formalismo probabilístico e provam ser os mais adequados para descrever a heterogeneidade espacial dos atributos do solo, esta técnica é a mais indicada, pois permite visualizar um conjunto de imagens diferentes, igualmente prováveis da distribuição espacial dos principais atributos do solo, descreve a erosão do solo, mineralogia da fracção argila do solo, acidez do solo, permeabilidade, porosidade e etc.

Muitos algoritmos, para realizar simulações estocásticas das variáveis categóricas, foram descritos na literatura com diferentes origens. Exemplos de algoritmos de simulação estocástica, usados para criar imagens igualmente prováveis da arquitetura interna de um conjunto categórico, incluem modelos booleanos (modelos baseados em objetos) (RIPLEY, 1987; HALDORSEN; BRAND; MACDONALD, 1988; DEUTSCH; WANG, 1996), a simulação sequencial indicatriz (JOURNEL; ALABERT, 1988) e a mais recente simulação de arrefecimento “annealing” (DEUTSCH; JOURNEL, 1992).

É também possível combinar estas técnicas individuais para resolver várias questões em casos especiais. Tendo em conta a diversidade de métodos propostos na literatura, a definição do mais adequado é uma tarefa difícil. E a resposta com bom senso a esta questão: é que depende de cada estudo particular, pois qualquer método tem vantagens e desvantagens, dependendo da formulação e de sua teoria e adequação às características específicas de cada caso estudado.

De maneira geral, qualquer método pode ser usado, desde que ele possa integrar todas as informações disponíveis e garantir que atenda ao objetivo do trabalho (DEUTSCH, 1994).

Vários aspectos evidenciados pelas amostras podem ser combinados. Estes aspectos são dependentes da quantidade e da diversidade disponível de informação (informações sobre solos, modelos de paisagem, sistemas de cultivo, entre outros) e as principais metas definidas para o estudo.

A simulação geoestatística coloca uma grande propagação de incerteza nas imagens finais, condicionadas pelos dados experimentais, e quantifica essa incerteza (ALMEIDA, 1999). Todos os algoritmos envolvidos em um estudo de simulação estocástica são projetados para combinar um conjunto de medidas reveladas pelos dados experimentais.

Segundo Almeida (1999), geralmente com um modelo de simulação geoestatística, pretende-se reproduzir nas imagens finais a variabilidade espacial dos fenômenos, impondo-lhes duas seguintes estatísticas: a função de distribuição de probabilidade e o variograma ou variograma multifásico.

E quando se tratar de um conjunto categórico (estruturas multifásicas), as imagens simuladas finais devem honrar os seguintes aspectos:

- i) A proporção de cada fase K , ($i = 1, \dots, K$ fases) como evidenciado no conjunto de dados inicial;
- ii) A continuidade do espaço, conforme revelado pelos variogramas individuais e/ou multifásicos;
- iii) Em cada localização x de dados experimentais, as imagens simuladas têm o mesmo valor de $K(x)$.

O conjunto de imagens resultantes é chamado de igualmente provável, de tal maneira que todas as imagens têm a mesma probabilidade de ocorrência e reproduzem as duas estatísticas principais - a função de densidade de probabilidade acumulada condicional e o variograma aos dados experimentais.

Os métodos de simulação sequenciais pertencem relativamente a uma nova família de algoritmos de simulação com base em uma abordagem sequencial (JOURNAL; ALABERT, 1988). Desta forma, ao lidar com variáveis categóricas, o método a ser utilizado é a simulação sequencial indicatriz.

A simulação sequencial de variáveis categóricas baseia-se numa abordagem tradicional da simulação sequencial de variáveis discretas. No entanto, simulação morfológica (SMorf) caracteriza a forma de corpos (populações) de fenômenos espaciais, com o objetivo de usar os modelos de simulação para gerar imagens equiprováveis de corpos bifásicos ou multifásicos que incluem todos os dados disponíveis dentro de uma vizinhança, inclusive os dados originais e todos os valores previamente simulados, possuindo vantagens pela sua simplicidade (SOARES, 2006).

A SMorf, tem o procedimento semelhante a simulação sequencial indicatriz (SSI) normal, como o estimador da krigagem indicatriz (KI), que é chamada por Soares (2006) de krigagem multifásica, é usada para modelar as funções de densidades de probabilidades acumuladas condicionais (f.d.p.a.c.) em cada local não amostrado. A área A é dividida num conjunto de corpos $N, \dots, X_k, 1 \leq k \leq n$, mutuamente disjuntos.

A simulação de indicadores sequenciais de variáveis categóricas segue um procedimento semelhante ao descrito para variáveis contínuas:

- Transforma-se cada dado categórico $\delta(U_\alpha)$ em um vetor de dados de indicadores rígidos K , definidos como:

$$i(U_\alpha; S_k) = \begin{cases} 1 & \text{se } \delta(U_\alpha) = S_k \\ 0 & \text{se não} \end{cases} \quad K = 1, \dots, k$$

- Define-se um caminho aleatório visitando cada nó da malha apenas uma vez, e
- Em cada nó U' :
 1. Determina-se a probabilidade condicional de ocorrência de cada categoria S_k , $[P(U'; S_k | (n))]^*$, usando (co)krigagem de indicador simples ou ordinário. A informação de condicionamento (n) consiste em dados de indicadores originais vizinhos e valores de indicadores previamente simulados.
 2. Faz-se a correção dessas probabilidades por ordem em relação aos desvios.
 3. Define-se qualquer ordenação das categorias K e constrói-se uma função do tipo cdf adicionando as probabilidades de ocorrência correspondentes; por exemplo,

$$[F(U'; S_{k'} | (n))]^* = \sum_{k=1}^{k'} [p(U'; S_k | (n))]^* \quad k' = 1, \dots, k$$

4. Desenha-se um número aleatório P uniformemente distribuído em $[0, 1]$. A categoria simulada na localização U' é aquela que corresponde ao intervalo de probabilidade que inclui p :

$$s^{(1)}(U') = S_{k'} \text{ such as } [F(U'; S_{k'-1} | (n))]^* < p \leq [F(U'; S_{k'} | (n))]^*$$

5. Adicione-se esse valor simulado $s^{(1)}(U')$ ao conjunto de dados de condicionamento.
6. Segue-se para o próximo nó ao longo do caminho aleatório e repita as etapas 1 a 5.

Repete-se todo o procedimento sequencial com um caminho aleatório diferente para gerar outra realização $\{S^{(1)}(U'_j), j = 1, \dots, N\}$, $i' \neq i$.

CAPÍTULO III - CASO DE ESTUDO

III. 1 - LOCALIZAÇÃO DA ZONA

A zona de estudo está localizada no município do Cacuaco a Norte da província de Luanda, entre os meridianos de 12º e 14º e pelos paralelos de 8º e 10º, Limita-se a Sul com os municípios de Viana e Cazenga, a Oeste com o Oceano Atlântico e município de Luanda e a Norte e a Leste com o município do Dande, na província do Bengo. O município do Cacuaco é atravessado no sentido N-S pelo rio Bengo.

O objecto de estudo deste trabalho é o lugar conhecido como *Morro do Sequele* (fig. 05) com uma extensão de aproximadamente 4 Km², tendo como coordenadas UTM, 325000, 9028000, 325000, 9024000, 329000, 9024000, 329000, 9028000.

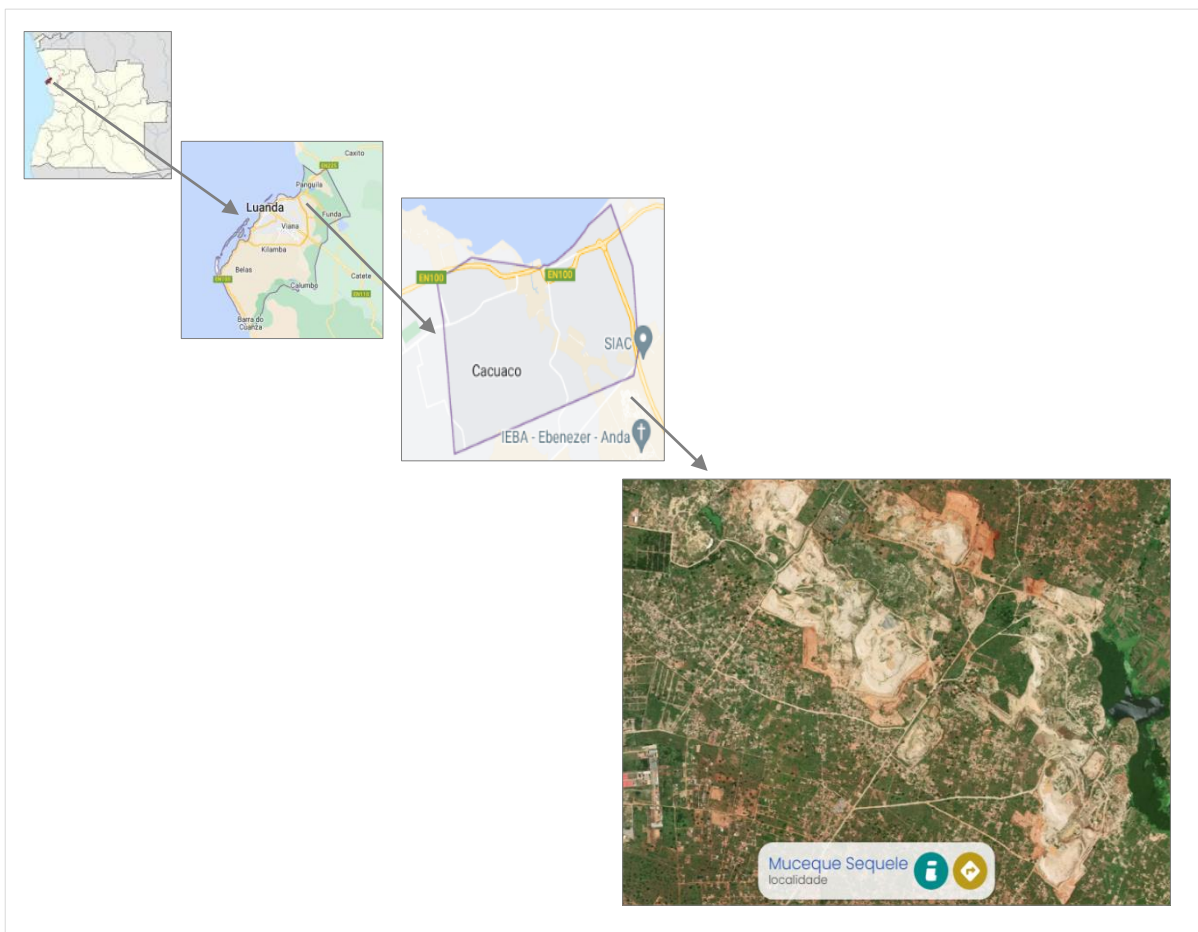


Figura 05: visualização da zona em estudo a partir do mapa, fontes: mapcarta e googlemaps

III. 3 - VEGETAÇÃO E CLIMA

O crescimento continuo demografico que a cidade de Luanda tem vivido nos ultimos anos, alterou profundamente o meio natural e consequentemente a vegetação, contudo o tipo de vegetação existente é predominante de médio a baixo porte, constituída por cajueiros, mangueiras e palmeiras, existem também alguns arbustos espinhosos, o fundo dos vales fluvias tem uma cobertura florestal considerável, algumas vezes de difícil acesso, com alguns embondeiros, segundo Pinto (2002) e Miguel (2001 – 2002).

A região de Luanda onde se enquadra a zona de estudo está sujeita a um regime de clima tropical seco, constituído por duas estações, uma chuvosa e outra seca (cacimbo) em função da sua localização geografica com baixa altitude e proximidade ao mar (Sicato et al., 2007).



Figura 08: vegetação da zona em estudo (a)



Figura 09: Vegetação e clima da zona em estudo (b)

III. 4 - VIAS DE ACESSO

O acesso ao morro do Sequele pode ser feito por várias vias, as três vias mais rápidas que dão o acesso ao morro, são pela:

1. Estrada de Catete, dentre as três vias ou trajectos aqui seleccionados está é a mais rápida, saindo de luanda (concretamente do aeroporto de luanda) para o local em estudo de carro faz-se 44,9 km em 46 min, conforme mostra a ilustração abaixo.
2. Estrada de Cacuaco, dos três trajectos seleccionados este é o segundo mais rápido, partindo de luanda (concretamente do aeroporto de luanda) para o local em estudo de carro faz-se 44,8 km e 56 min, conforme mostra a ilustração abaixo.
3. Via expresso, nos três trajectos seleccionados este o menos rápido, partindo de luanda (concretamente do aeroporto de luanda) para o local em estudo 58,8 km que correspondem a 56 min de viagem por carro, conforme mostra a ilustração abaixo.

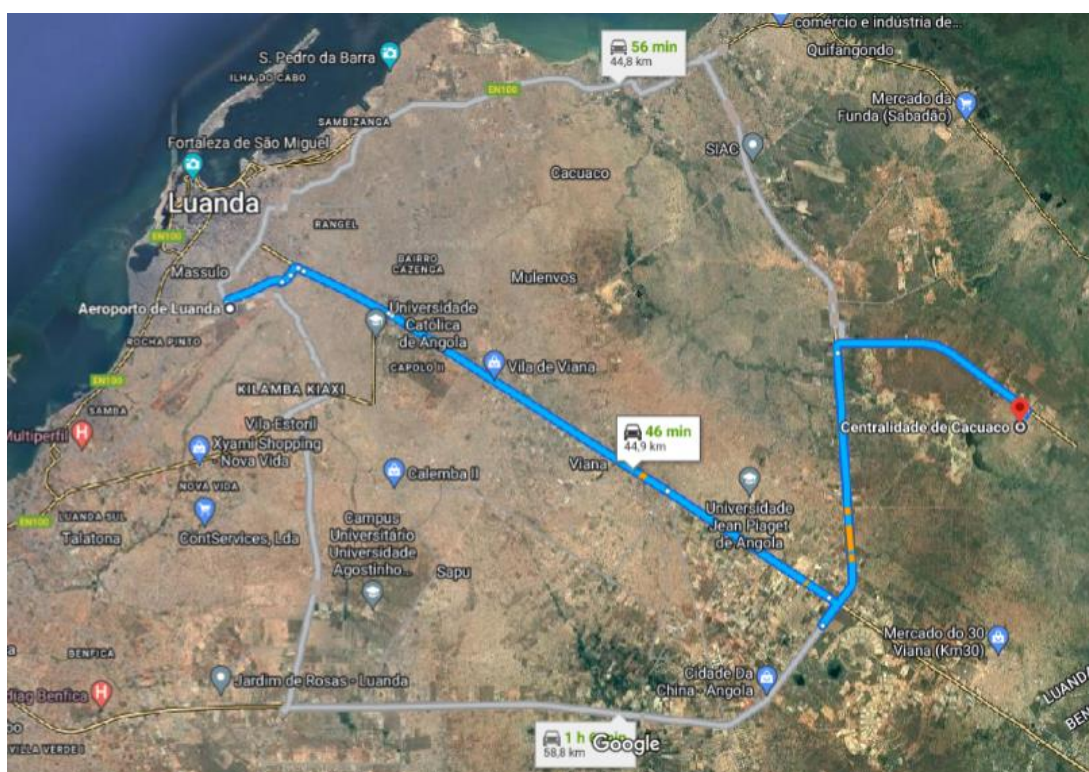


Figura 10: visualização a partir do mapa das vias de acesso mais rápido, fonte:google-Maps

III. 5 ACTIVIDADE MINEIRA E SITUAÇÃO ACTUAL

A exploração de inertes no morro do Sequele tem contribuído no sector da construção do país. Mas a situação actual do morro é preocupante, devido o estado de degradação e exploração anárquica feita pelos garimpeiros que tem acontecido sem o cumprimento das medidas de preservação do ambiente e ainda mais por ser uma zona próxima a residências, de acordo com as normas de segurança e higiene no trabalho, actividades feitas deste modo representam um perigo autêntico para a sociedade.



Figura 11: visualização da situação actual do morro (a)

A exploração de areia e burgau na zona de extracção de inertes, nos arredores da Centralidade do Sequele, município de Cacuaco, em Luanda, continua, apesar da proibição da actividade, pela Direcção do Serviço Nacional e Fiscalização do Ministério do Ambiente.

A actividade foi suspensa, devido aos impactos negativos decorrentes do incumprimento das normas que visam minimizar os efeitos nocivos ao ambiente. Homens e máquinas têm invadido a zona habitacional e os campos de cultivo, cavando a terra, colocando em perigo a vida dos residentes e danificando algumas infra-estruturas sociais construídas naquele perímetro.

“As escola primária, as residências e os edifícios da cidade do Sequele estão a ganhar fissuras na sequência da exploração de inertes, sem a devida reposição dos solos”, acrescentando, as crianças correm perigo de vida, porque os acessos à escola estão a ganhar enormes buracos.

Na zona há regularmente muita poeira, pondo em risco a saúde da população que ali reside. Refere-se que a exploração tem sido realizada nos três períodos do dia, por empresas com comparticipação de angolanos e chineses, sem a presença de fiscais ou agentes da Polícia Nacional, situação que os leva a não cumprir com as medidas de protecção ambiental.



Figura 12: visualização da situação actual do morro (b)

O director do Serviço Nacional e Fiscalização do Ministério do Ambiente admitiu ao Jornal de Angola dificuldades na inspecção das empresas relativamente ao cumprimento da proibição de exploração de inertes, por indisponibilidade de um posto fixo do Serviço Nacional e Fiscalização do Ministério do Ambiente, Jornal de Angola, (2020).

Confirmou-se que todas as empresas estão proibidas de explorar inertes nos arredores do Sequele, pelo facto da actividade estar a criar um impacto negativo à área, devido ao incumprimento das medidas de preservação do ambiente. O responsável afirmou que o sucesso na fiscalização depende de acções conjuntas de vários organismos ligados à defesa e à segurança.

“As empresas, de uma forma geral, não têm implementado as medidas de mitigação de impacto ambiental, orientadas pelo Decreto-Lei vigente sobre o ambiente. Por isso foram obrigadas a parar as máquinas, salvo uma ou outra que deve apenas remover inertes já preparados de um local para o outro”.



Figura 13: visualização da exploração de inertes na zona em estudo

III. 6 – IMPORTÂNCIA DESTE ESTUDO

Sendo o cimento um produto fundamental na indústria de construção, que está presente desde a mais simples moradia até a mais complexa obra de infraestrutura, do início ao acabamento final. E actualmente, o sector de construção civil passa por um período apertado devido as construções constantes de habitações, de estradas, os programas de infraestruturas, as reparações e outros, que têm de ser supridas, prometem fazer da construção civil um dos principais impulsores da economia.

Nesta senda, é importante o país expandir a produção deste insumo essencial para as construções. Sendo o morro do Sequele uma das zonas argilosa de Cacuo, surgiu então a Importância de fazer um estudo nesta zona para conhecer a proporção ou a extensão dos recursos minerais da mesma de modo a avaliar o morro como uma reserva, com a ideia de criar um projecto economico de exploração industrial para a produção de cimento.

CÁPITULO IV - CLASSIFICAÇÃO LITOLÓGICA

IV. 1 - GEOLOGIA DA REGIÃO E DO MORRO

Sendo o Município de Cacuo (concretamente o morro do Sequele) a zona escolhida para o estudo desta monografia, uma vez que integra a província de Luanda e tendo em conta a semelhança nas suas características geomorfológicas da plataforma continental, achou-se por bem generalizar as abordagens, mencionando em conjunto, Luanda e Cacuo.

Pois, os diferentes factores naturais e antropogénicos que neles ocorrem relativamente ao litoral e a história de evolução, o transporte de sedimentos e o tipo de praias, areias finas e grossas, são características comuns de ambas zonas litorais.

A cidade de Luanda (Cacuo) encontra-se no centro da área de afloramentos de camadas sedimentares da bacia do Cuanza, cerca de 4000 metros de espessura total, depositadas desde as mais recentes até as mais antigas, em superfície irregular de rochas cristalinas do Maciço Antigo.

Estes afloramentos possuem formações com estruturas variadas, mas predominando nas mais recentes, os dispositivos monoclinais, por vezes quase horizontais, os processos erosivos modelaram escarpas intensamente abarrocadas, sobretudo nos do Miocénico superior constituídos pela alternância de rochas calcárias, greso-calcárias, areníticas, margosas, argilosas, de areias brancas ferruginosas com leitos de burgaus ou burgalhos (cascalhos).

Sobre tudo isso estão as areias vermelhas ou amarelo-acastanhadas, plistocénicas, ditas dos “musseques”, com espessuras variáveis, até algumas dezena de metros, cobrindo peneplanície do final do terciário.

A zona urbana de Cacuo é constituída de areias a excepção da zona nordeste onde podem ser encontradas áreas com argilas expansivas. Contudo, o mapa geológico de Cacuo, incluindo a zona do morro Sequele, revela a presença de rochas calcárias com uma grande variedade de *facies*, áreas de argilas expansivas, áreas de rochas areníticas, margosas, areias brancas ferruginosas com leitos de burgaus ou burgalhos (cascalhos).

IV. 2 – MAPA DA LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS

Este estudo de carterização litológica no Morro do Sequele, baseou-se nos resultados obtidos no plano de perfuração e amostragem de varios poços feitos no morro com a intenção de avaliar a reserva de materias primas para a produção de cimento.

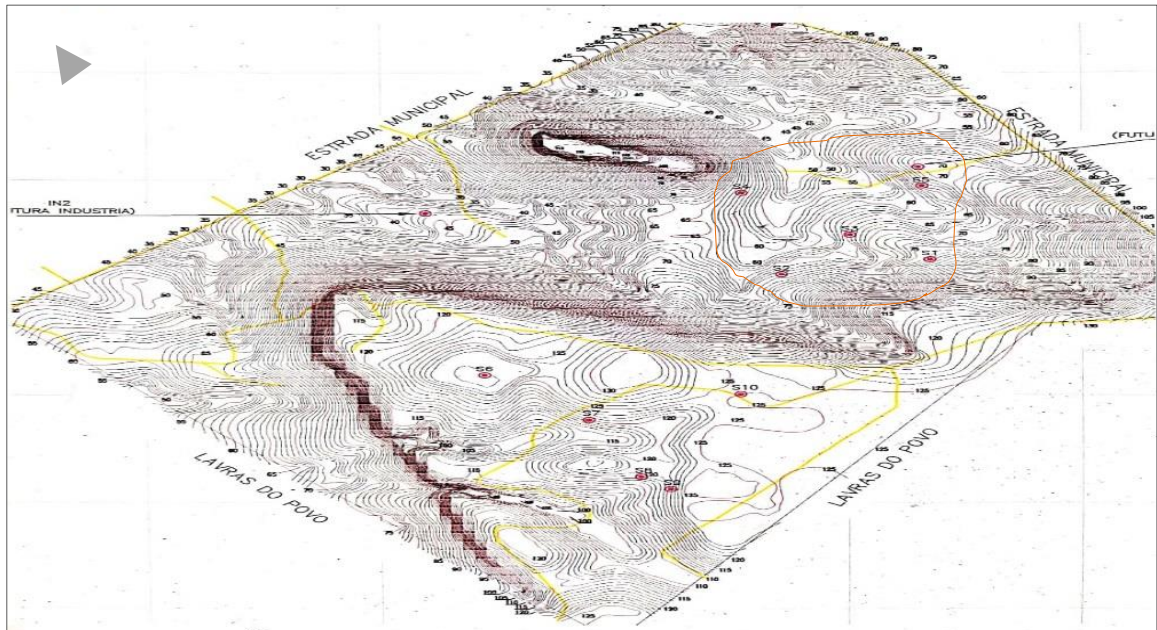


Figura 14: mapa da perfuração de vários poços na zona em estudo

No entanto para este estudo foram utilizados apenas 6 desses poços(furos) cujo a perspectiva em 3D da localização, profundidade e distribuição de litologias ao longo dos poços pode ser visto na figura 15, e recolheu-se as informações que cada poço contem no seu conjunto de amostras de acordo com a sua profundidade de perfuração.

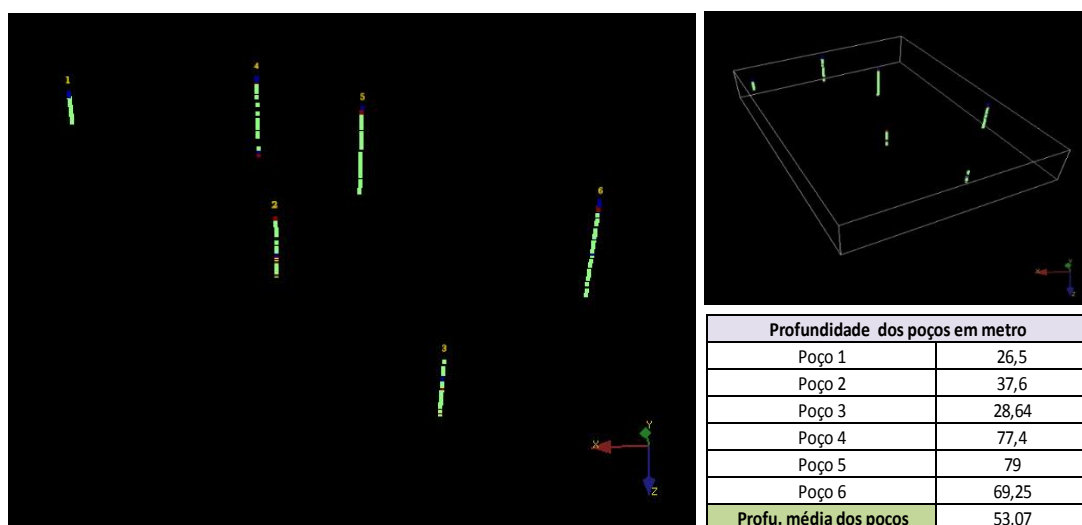
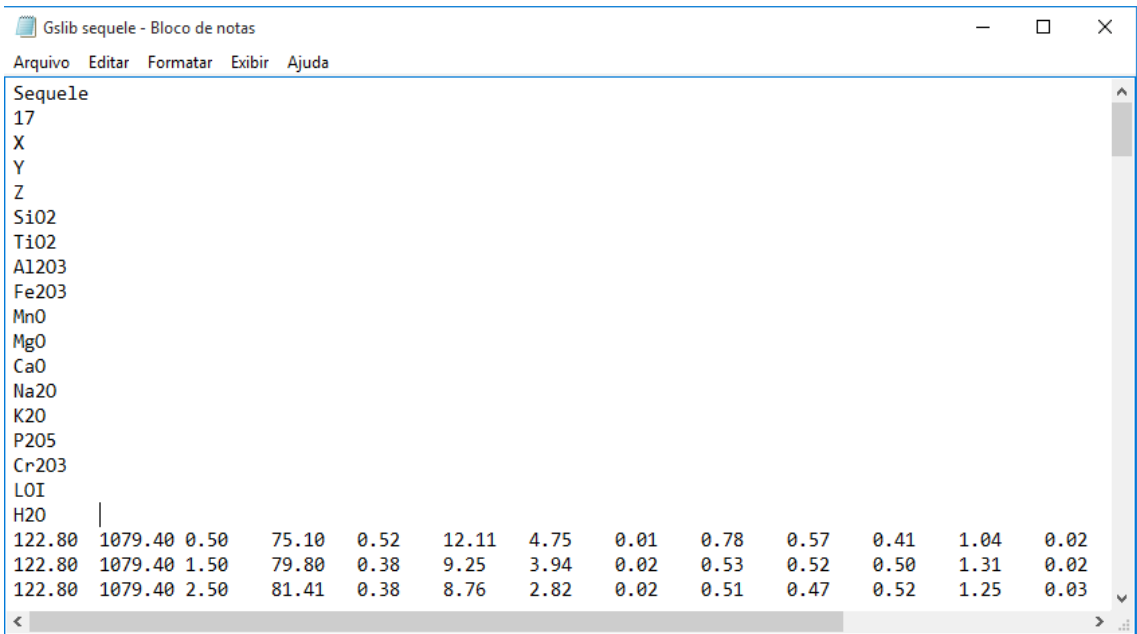


Figura 15 – Dois cenários da visualização em 3D dos 6 poços usados no estudo

IV. 3 – DADOS LEVANTADOS NOS POÇOS DE SONDAGEM

Durante a campanha de sondagem realizada na zona de estudo foram levantados um conjunto de dados que podemos visualizar na figura 16:



Sequele																
17																
X																
Y																
Z																
SiO2																
TiO2																
Al2O3																
Fe2O3																
MnO																
MgO																
CaO																
Na2O																
K2O																
P2O5																
Cr2O3																
LOI																
H2O																
122.80	1079.40	0.50	75.10	0.52	12.11	4.75	0.01	0.78	0.57	0.41	1.04	0.02				
122.80	1079.40	1.50	79.80	0.38	9.25	3.94	0.02	0.53	0.52	0.50	1.31	0.02				
122.80	1079.40	2.50	81.41	0.38	8.76	2.82	0.02	0.51	0.47	0.52	1.25	0.03				

Figura 16: Parte representativa dos dados levantados pela sondagem

Estes dados estão estruturados no formato chamado “gslib” que é frequentemente utilizado em estudos geostatísticos. Eles estão ordenados em 17 colunas sendo as três primeiras as coordenadas de localização em x, y, e z das amostras recolhidas seguindo-se os teores dos elementos químicos contidos nas amostras e a litologia. Em resumo as informações no ficheiro figura 16 estão ordenados da seguinte forma:

- 1.º O nome do arquivo (linha 1)
- 2.º O número de variáveis (linha 2)
- 3.º As coordenadas X,Y e Z (linha 3, 4 e 5)
- 4.º Lista dos elementos químicos analisados (linha 6 a 18)
- 5.º Tipo de litologia (linha 19)
- 6.º Os dados de todas as variáveis representados por colunas.

IV. 3. 1 – Selecção dos dados para o problema

Com os dados e as informações originais das amostras dos 6 (seis) poços (ver figura 16) retirados na zona do Sequele e para construir o diagrama triangular de classificação das rochas sedimentares, Folk(1980), foram seleccionados três elementos químicos de entre o total de 11 elementos analisados em cada amostra.

Os elementos seleccionados foram: Quartzo (SiO_2), Argila (Al_2O_3), Calcário (CaO). Esta selecção não foi feita de forma aleatória, mas sim baseando-se na composição química dos elementos mais importantes para a produção do cimento. A lista dos elementos analisados e seleccionados para a classificação estão assinalados a vermelho (●) na figura 17.

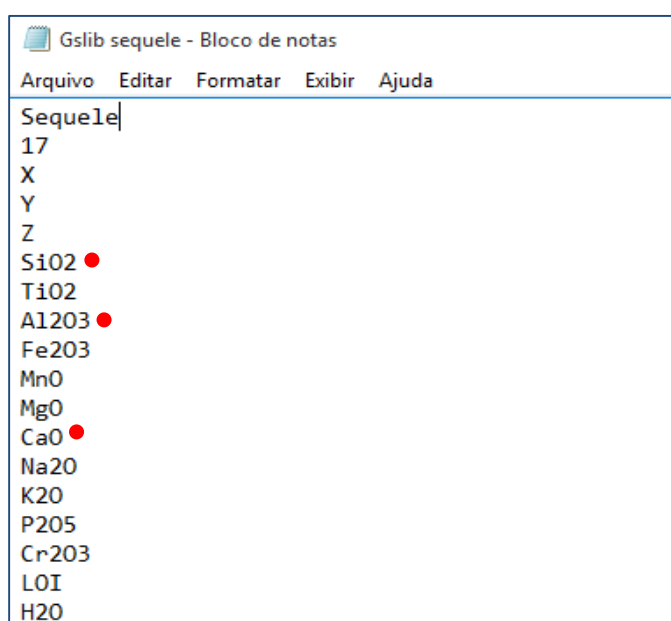


Figura 17: Parte representativa dos dados seleccionados para o estudo

IV. 3. 2 – Conversão dos dados

A seguir o conjunto dos dados foi exportado para o Excel no qual foi feita a conversão dos valores dos elementos seleccionados em percentagens, sendo essa uma exigência do método de classificação triangular. A conversão dos valores foi feita da seguinte forma: Conhecendo o valor dos três elementos Calcário(A), Argila(B) e Quartzo(C) da mesma amostra fez-se em seguida a divisão de cada um deles pela soma dos três valores ($A+B+C$) e multiplicando por 100%.

$$\text{Fórmula exemplar: } \frac{A}{(A + B + C)} * 100\%$$

COORDENADAS			ELEMENTOS CONTIDO NAS AMOSTRAS															CONVERTIDOS %			Soma
X	Y	Z	SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5	Cr2O3	LOI	H2O	Lito	SiO2	Al2O3	CaO	%	
POÇO 1	122,80	1079,40	0,50	75,10	0,52	12,11	4,75	0,01	0,78	0,57	0,41	1,04	0,02	0,01	5,07	4,23	1,00	85,55	13,80	0,65	100,00
	122,80	1079,40	1,50	79,80	0,38	9,25	3,94	0,02	0,53	0,52	0,50	1,31	0,02	0,00	3,76	2,62	1,00	89,09	10,33	0,58	100,00
	122,80	1079,40	2,50	81,41	0,38	8,76	2,82	0,02	0,51	0,47	0,52	1,25	0,03	0,00	3,48	2,73	1,00	89,82	9,66	0,52	100,00
	122,80	1079,40	3,30	79,77	0,43	9,81	3,54	0,02	0,61	0,55	0,48	1,05	0,03	0,01	4,09	3,18	1,00	88,51	10,88	0,61	100,00
	122,80	1079,40	3,75	3,37	0,03	0,57	0,37	0,01	0,48	52,73	0,09	0,01	0,09	0,00	41,88	0,40	2,00	5,95	1,01	93,05	100,00
	122,80	1079,40	4,35	1,97	0,02	0,18	0,23	0,01	0,49	53,82	0,05	0,01	0,07	0,00	42,66	0,21	2,00	3,52	0,32	96,16	100,00
	122,80	1079,40	5,35	2,20	0,02	0,30	0,15	0,01	0,46	54,08	0,08	0,01	0,04	0,00	42,35	0,26	2,00	3,89	0,53	95,58	100,00
	122,80	1079,40	6,45	2,12	0,02	0,32	0,29	0,01	0,49	53,86	0,07	0,01	0,06	0,00	42,43	0,31	2,00	3,77	0,57	95,67	100,00
	122,80	1079,40	7,75	1,77	0,02	0,16	0,10	0,00	0,44	54,19	0,06	0,01	0,07	0,00	42,61	0,26	2,00	3,15	0,29	96,56	100,00
	122,80	1079,40	9,25	1,69	0,02	0,30	0,13	0,00	0,52	54,10	0,16	0,01	0,12	0,00	42,65	0,33	2,00	3,01	0,53	96,45	100,00
	122,80	1079,40	11,00	2,11	0,02	0,33	0,14	0,00	0,50	54,01	0,06	0,01	0,09	0,00	42,40	0,32	2,00	3,74	0,58	95,68	100,00
	122,80	1079,40	12,50	2,68	0,03	0,58	0,25	0,00	1,01	52,64	0,08	0,01	0,04	0,00	42,27	0,33	2,00	4,79	1,04	94,17	100,00
	122,80	1079,40	13,75	1,25	0,02	0,18	0,13	0,00	0,84	53,91	0,05	0,01	0,06	0,00	43,11	0,29	2,00	2,26	0,33	97,42	100,00
	122,80	1079,40	16,25	3,20	0,02	0,18	0,14	0,00	1,00	52,24	0,21	0,01	0,06	0,00	42,37	0,28	2,00	5,75	0,32	93,92	100,00
	122,80	1079,40	18,35	1,76	0,02	0,27	0,14	0,00	1,36	53,13	0,09	0,01	0,05	0,00	42,90	0,27	2,00	3,19	0,49	96,32	100,00
	122,80	1079,40	18,95	2,04	0,02	0,40	0,18	0,00	4,43	48,86	0,02	0,01	0,05	0,00	43,67	0,35	2,00	3,98	0,78	95,24	100,00
	122,80	1079,40	19,60	2,52	0,03	0,63	0,22	0,01	6,03	46,48	0,09	0,01	0,06	0,00	43,51	0,50	2,00	5,08	1,27	93,65	100,00
	122,80	1079,40	20,45	2,22	0,03	0,52	0,30	0,00	4,76	48,28	0,03	0,01	0,06	0,00	43,41	0,34	2,00	4,35	1,02	94,63	100,00
	122,80	1079,40	21,45	1,20	0,02	0,17	0,11	0,00	3,34	50,97	0,03	0,01	0,09	0,00	43,72	0,27	2,00	2,29	0,32	97,38	100,00
	122,80	1079,40	22,50	2,81	0,02	0,32	0,15	0,00	6,02	46,63	0,02	0,01	0,11	0,00	43,56	0,36	2,00	5,65	0,64	93,71	100,00
122,80	1079,40	23,50	1,76	0,02	0,28	0,13	0,00	3,94	49,70	0,08	0,01	0,11	0,00	43,62	0,31	2,00	3,40	0,54	96,06	100,00	
122,80	1079,40	24,50	2,25	0,03	0,32	0,16	0,00	2,80	50,94	0,05	0,02	0,11	0,00	43,00	0,23	2,00	4,20	0,60	95,20	100,00	
122,80	1079,40	25,50	5,15	0,06	0,98	0,40	0,01	3,65	47,58	0,09	0,05	0,09	0,00	41,55	0,54	2,00	9,59	1,82	88,59	100,00	
122,80	1079,40	26,50	6,59	0,08	1,48	0,56	0,01	3,87	46,22	0,14	0,15	0,11	0,00	40,46	0,77	2,00	12,14	2,73	85,14	100,00	
1000,00	632,40	1,25	51,90	0,98	18,58	9,45	0,02	2,41	2,90	0,45	3,00	0,15	0,04	9,45	6,30	3,00	70,73	25,32	3,95	100,00	

Figura 18: Dados do Poço 1 convertidos com 24 amostras

Após a conversão dos elementos químicos selecionados nos dados, estes foram exportados para o software Triplot que foi utilizado para criar o diagrama da classificação litológica dos três elementos químicos selecionados A, B e C.

IV. 4 – DIAGRAMA DA CLASSIFICAÇÃO LITOLÓGICA

O método de classificação de rochas sedimentares proposto por Folk (1980), baseia-se na construção de diagrama triangular a partir do conteúdo químico dos elementos seleccionados, dados em percentagem e representados cada um deles na escala de 0 a 100% em cada um dos lados do diagrama triangular. A representação de cada amostra no diagrama é feita através da marcação do ponto de intercepção das rectas traçadas a partir do ponto de leitura dos valores dos conteúdos químicos em cada lado do diagrama triangular.

Depois de projectadas todas as amostras no diagrama (fig.19 e 20) é possível identificar e agrupar as amostras segundo a estrutura e a litologia. De acordo com o diagrama podemos concluir que as amostras estão estruturalmente agrupadas em três categorias seguintes: estratificação nitida, estratificação incipiente e aspecto maciço.

Ainda em termos estrutural podemos concluir de acordo com o diagrama que de entre as três camadas referidas predominam as duas últimas, estratificação incipiente e aspecto maciço o que de certa forma corresponde com o que vimos durante as visitas realizadas ao morro Sequele.

No entanto não é foco deste trabalho conhecer ou estudar a composição estrutural das rochas no morro do Sequele, mas sim conhecer e classificar as litologias na zona e modelar a sua distribuição.



Figura 19: Diagrama estrutural de classificação litológica

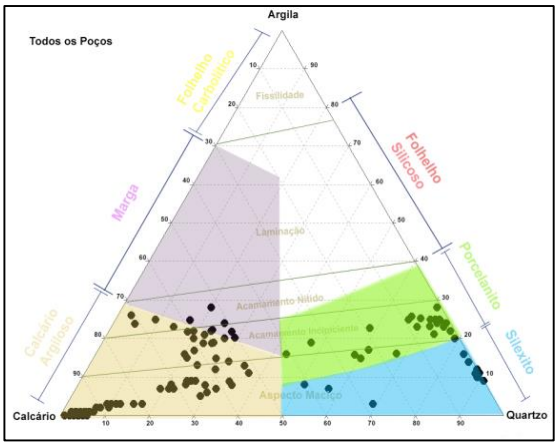


Figura 20: Diagrama litológico dos seis poços com 169 amostras

Segundo os diagramas triangulares de classificação (Fig. 19 e 20), as litologias identificadas no caso de estudo foram as seguintes:

Tabela 01 (a): legenda das litologias identificadas

Quadro das Litologias dos Poços	
Calcário	
Marga	
Porcelanito (Argila)	
Silexito (Areia)	

Diagrama triangular da classificação litológica de cada poço

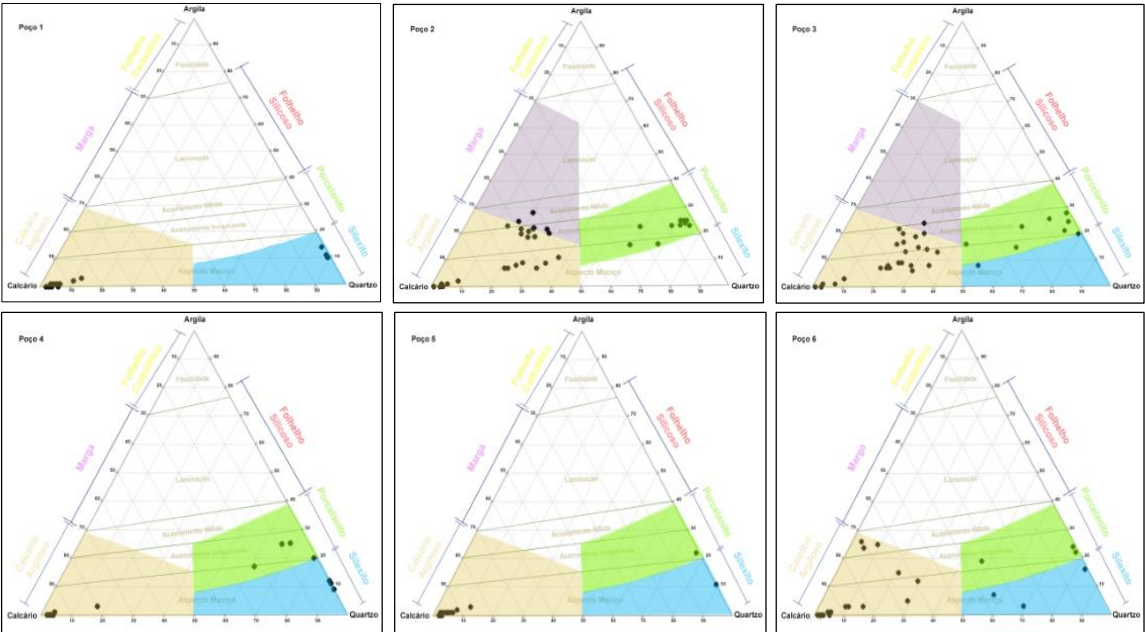


Figura 21: visualização da distribuição das litologias identificadas em cada poço

Mediante a ilustração que representa o diagrama da classificação triangular de cada poço é notável a distribuição das quatro litologias identificadas durante o processo de classificação, com isso podemos ver que no poço 1 temos dois tipos de litologias (Calcário e Areia), no poço 2 temos três tipos de litologias (Argila, Calcário e Marga), no poço 3 com a presença das quatro litologias identificadas (Marga, Calcário, Argila e Areia) e nos poços 4, 5 e 6 temos a presença de três litologias (Calcário, Argila e Areia).

Com isso a classificação feita indica para a presença de 4 litologias “figura 20”. No entanto uma observação mais detalhada faz notar que no caso da litologia de “Marga” o número de amostra é relativamente pequeno (aproximadamente 6 amostras) e para além disso essas amostras estão localizadas juntos da zona limite com a litologia de “Calcário”. Por esta razão e também porque a litologia “Marga” está presente em apenas dois poços (Fig. 21), achou-se conveniente reduzir o número de litologias de 4 para 3 litologias atribuindo a litologia “Calcário” às 6 amostras classificadas como “Marga”. Uma terceira razão para esta redução esta na diminuição da complexidade na construção do modelo de facies litológicas que depende do número de litologias.

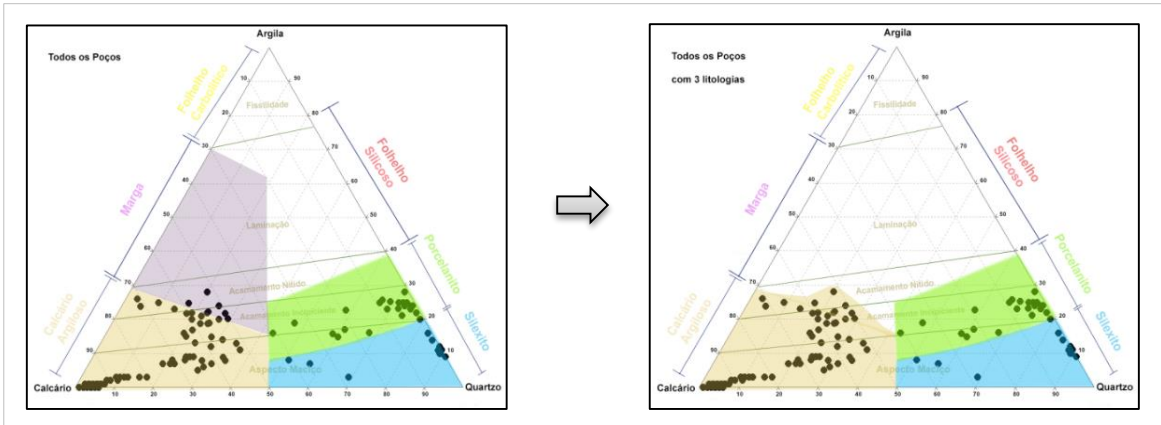


Figura 22: Processo de redução de 4 para 3 litologias, com a eliminação da litologia “Marga”

Assim, em resumo o processo de redução das litologias e o resultado final é mostrado na tabela 02 e na tabela seguinte:

Tabela 01 (b): legenda das litologias

Quadro das Litologias dos Poços	
Silexito (Areia)	
Calcário	
Porcelanito (Argila)	

Quadro final da classificação litológica

Tabela 02: Classificação final das litologias

	Nº da Amostra	COORDENADAS			ELEMENTOS CONTIDO NAS AMOSTRAS			ELEMENTOS CONVERTIDOS EM PERCENTAGEM (%)				Tipo de litologia
		X	Y	Z	SiO2	Al2O3	CaO	C	B	A	Soma	
								SiO2	Al2O3	CaO	%	
P O Ç O 1	1	122,80	1079,40	0,50	75,10	12,11	0,57	85,55	13,80	0,65	100	1
	2	122,80	1079,40	1,50	79,80	9,25	0,52	89,09	10,33	0,58	100	1
	3	122,80	1079,40	2,50	81,41	8,76	0,47	89,82	9,66	0,52	100	1
	4	122,80	1079,40	3,30	79,77	9,81	0,55	88,51	10,88	0,61	100	1
	5	122,80	1079,40	3,75	3,37	0,57	52,73	5,95	1,01	93,05	100	2
	6	122,80	1079,40	4,35	1,97	0,18	53,82	3,52	0,32	96,16	100	2
	7	122,80	1079,40	5,35	2,20	0,30	54,08	3,89	0,53	95,58	100	2
	8	122,80	1079,40	6,45	2,12	0,32	53,86	3,77	0,57	95,67	100	2
	9	122,80	1079,40	7,75	1,77	0,16	54,19	3,15	0,29	96,56	100	2
	10	122,80	1079,40	9,25	1,69	0,30	54,10	3,01	0,53	96,45	100	2
	11	122,80	1079,40	11,00	2,11	0,33	54,01	3,74	0,58	95,68	100	2
	12	122,80	1079,40	12,50	2,68	0,58	52,64	4,79	1,04	94,17	100	2
	13	122,80	1079,40	13,75	1,25	0,18	53,91	2,26	0,33	97,42	100	2
	14	122,80	1079,40	16,25	3,20	0,18	52,24	5,75	0,32	93,92	100	2
	15	122,80	1079,40	18,35	1,76	0,27	53,13	3,19	0,49	96,32	100	2
	16	122,80	1079,40	18,95	2,04	0,40	48,86	3,98	0,78	95,24	100	2
	17	122,80	1079,40	19,60	2,52	0,63	46,48	5,08	1,27	93,65	100	2
	18	122,80	1079,40	20,45	2,22	0,52	48,28	4,35	1,02	94,63	100	2
	19	122,80	1079,40	21,45	1,20	0,17	50,97	2,29	0,32	97,38	100	2
	20	122,80	1079,40	22,50	2,81	0,32	46,63	5,65	0,64	93,71	100	2
	21	122,80	1079,40	23,50	1,76	0,28	49,70	3,40	0,54	96,06	100	2
	22	122,80	1079,40	24,50	2,25	0,32	50,94	4,20	0,60	95,20	100	2
	23	122,80	1079,40	25,50	5,15	0,98	47,58	9,59	1,82	88,59	100	2
	24	122,80	1079,40	26,50	6,59	1,48	46,22	12,14	2,73	85,14	100	2
P O Ç O 2	25	1000,00	632,40	1,25	51,90	18,58	2,90	70,73	25,32	3,95	100	3
	26	1000,00	632,40	3,00	2,64	0,45	53,23	4,69	0,80	94,51	100	2
	27	1000,00	632,40	5,30	1,71	0,34	54,17	3,04	0,60	96,35	100	2
	28	1000,00	632,40	8,10	2,81	0,50	53,05	4,99	0,89	94,13	100	2
	29	1000,00	632,40	9,55	4,71	1,30	51,90	8,13	2,24	89,62	100	2
	30	1000,00	632,40	11,60	0,81	0,12	54,85	1,45	0,22	98,33	100	2
	31	1000,00	632,40	16,10	1,39	0,09	50,85	2,66	0,17	97,17	100	2
	32	1000,00	632,40	19,45	2,02	0,24	53,84	3,60	0,43	95,97	100	2
	33	1000,00	632,40	20,45	13,00	18,14	34,00	19,96	27,85	52,20	100	2
	34	1000,00	632,40	22,00	19,40	18,71	45,50	23,20	22,38	54,42	100	2
	35	1000,00	632,40	23,05	37,59	10,10	16,54	58,52	15,72	25,75	100	3
	36	1000,00	632,40	23,25	18,92	4,05	37,00	31,55	6,75	61,70	100	2
	37	1000,00	632,40	23,60	46,91	11,26	11,48	67,35	16,17	16,48	100	3
	38	1000,00	632,40	24,00	23,00	5,83	39,60	33,61	8,52	57,87	100	2
	39	1000,00	632,40	24,35	58,16	17,72	1,21	75,44	22,99	1,57	100	3
	40	1000,00	632,40	25,10	12,20	18,41	43,20	16,53	24,94	58,53	100	2
	41	1000,00	632,40	25,85	54,23	17,67	2,41	72,98	23,78	3,24	100	3
	42	1000,00	632,40	26,25	21,10	17,34	54,20	22,78	18,72	58,51	100	2
	43	1000,00	632,40	26,65	16,30	15,65	43,20	21,69	20,83	57,49	100	2
	44	1000,00	632,40	27,00	16,02	15,72	39,10	22,61	22,19	55,19	100	2
	45	1000,00	632,40	27,45	53,39	18,18	2,59	71,99	24,51	3,49	100	3
	46	1000,00	632,40	27,85	52,07	17,11	3,83	71,32	23,44	5,25	100	3
	47	1000,00	632,40	28,35	15,87	5,71	40,56	25,54	9,19	65,27	100	2
	48	1000,00	632,40	30,50	13,38	4,56	43,44	21,80	7,43	70,77	100	2
	49	1000,00	632,40	32,80	11,24	17,60	48,86	14,47	22,65	62,88	100	2
	50	1000,00	632,40	33,65	21,10	16,45	38,82	27,63	21,54	50,83	100	2
	51	1000,00	632,40	34,40	23,40	17,55	51,10	25,42	19,07	55,51	100	2
	52	1000,00	632,40	35,15	15,80	18,09	49,60	18,92	21,67	59,41	100	2
	53	1000,00	632,40	35,65	54,62	18,62	1,71	72,88	24,84	2,28	100	3
	54	1000,00	632,40	35,95	26,40	18,10	45,10	29,46	20,20	50,33	100	2
	55	1000,00	632,40	36,35	48,24	16,36	5,62	68,70	23,30	8,00	100	3
	56	1000,00	632,40	37,00	35,66	10,21	50,50	37,00	10,59	52,40	100	2
	57	1000,00	632,40	37,60	14,94	5,08	41,42	24,32	8,27	67,42	100	2
	58	1469,60	469,20	2,25	1,66	0,57	54,56	2,92	1,00	96,07	100	2
	59	1469,60	469,20	5,40	1,56	0,12	55,22	2,74	0,21	97,05	100	2
	60	1469,60	469,20	7,00	0,69	0,10	54,88	1,24	0,18	98,58	100	2
	61	1469,60	469,20	8,35	4,31	0,53	57,46	6,92	0,85	92,23	100	2

1	Areia
2	Calcário
3	Argila

CAPÍTULO V - APLICAÇÃO DO PROCESSO MARKOVIANO

V. 1 - PROCESSO MARKOVIANO

Num estudo geoestatístico a etapa mais importante, algumas vezes também complexa é a construção do modelo de continuidade espacial (TRANGMAR; YOST; UEHARA, 1985), na maioria dos casos com o ajustamento dos variogramas experimentais. Neste caso de estudo trata-se do ajustamento dos variogramas directos e cruzados das litologias classificadas no capítulo IV.

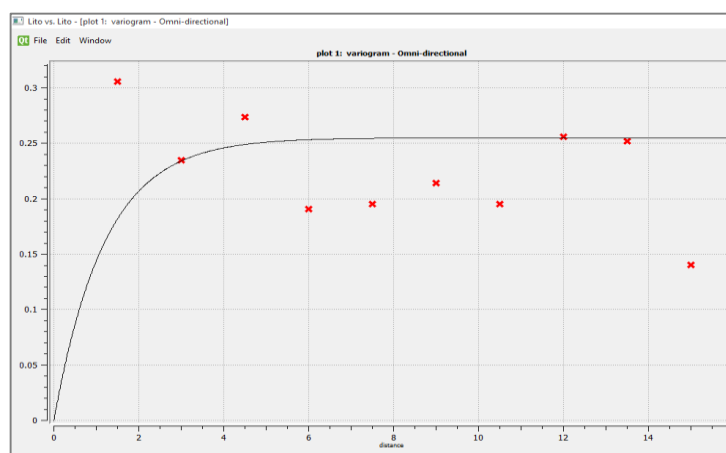


Figura 23: Tentativa de ajustar um variograma de forma normal

A figura 23, mostra o quanto é difícil realizar um ótimo ajustamento do variograma e foi a partir daí que se pensou em usar um outro caminho para construir o modelo de continuidade espacial.

O caminho escolhido foi uso das matrizes de probabilidades de transição ligados as cadeias de Markov e o processo markoviano aproveitando a relação que existe entre probabilidades de transição e a função variograma (ver ponto VI.2).

O processo Markoviano aplicado a sequência estratigráfica sedimentar (que se pensa ser o caso do morro do Sequele), requer a construção de uma matriz de transição de estados onde os estados representam os diferentes tipos de litologias. Ou seja, é preciso encontrar as probabilidades de transição de um tipo de litologia para outro tipo de litologia e ainda verificar o estado estacionário da matriz.

Aqui fez-se somente a representação das probabilidades de transição directa por se realizar uma (Co) krigagem média e não Full, o facto é que para realizar a (Co) krigagem média só é necessário as probabilidades directa. Mas em anexos está a representação das probabilidades de transição indirecta (cruzada).

V. 1. 2 - Construção da matriz das probabilidades de transição

Para construção da matriz de transição das litologias acha-se primeiro a matriz de contagem bruta. A matriz de contagem bruta é depois convertida em proporções dividindo cada um dos elementos pelo total da linha para gerar uma matriz de transição P. Os elementos P_{ij} , da matriz de transição P resumem a proporção de células da litologia “i” que mudou para litologia “j” durante um intervalo de tempo (passo), Markov (1856-1922, Russia).

A sequência a seguir, de tabelas e imagens, mostra o exemplo da construção da matriz de transição de probabilidades a vários passos do intervalo de tempo referente ao poço “2” no morro Sequele.

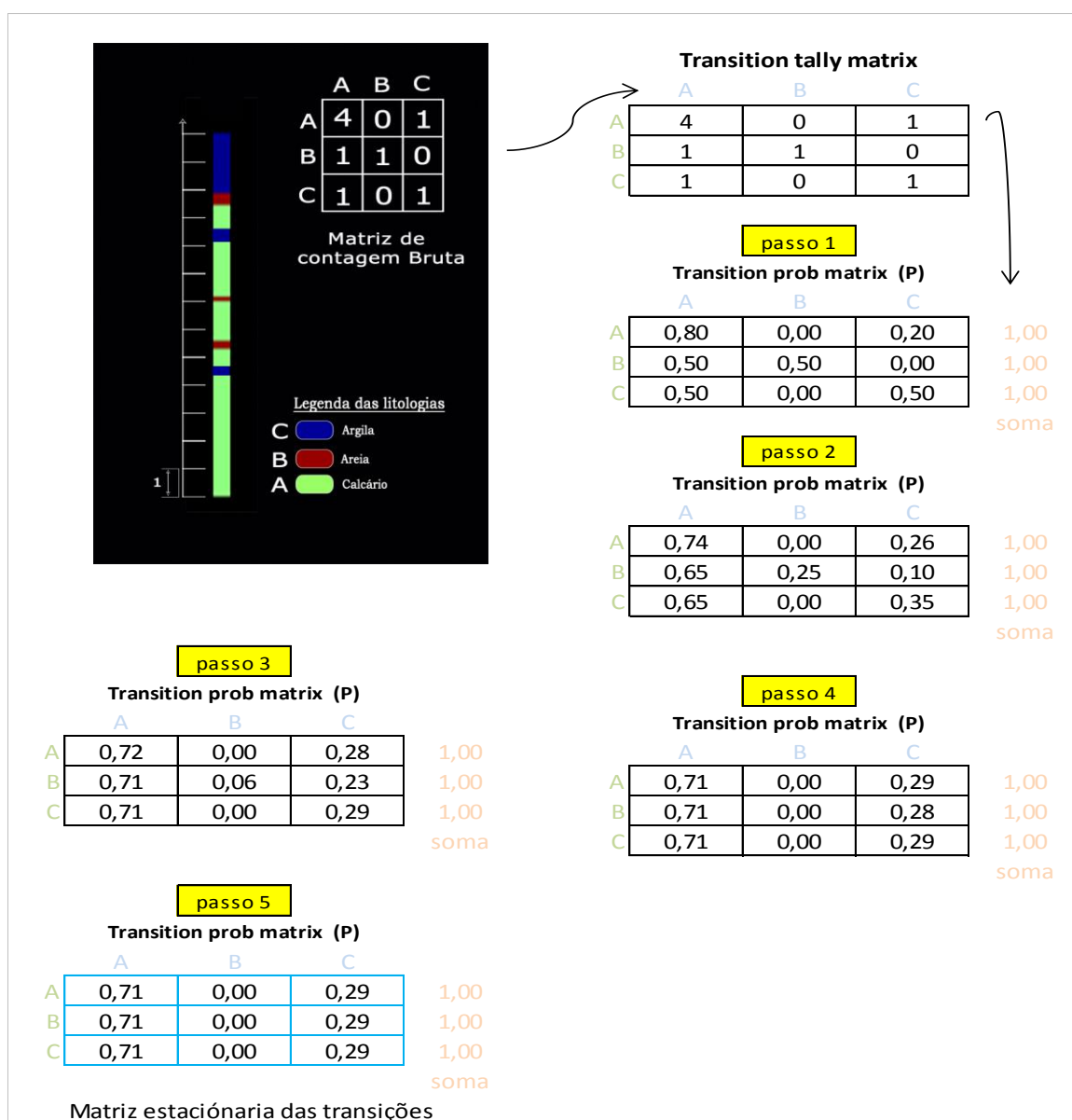


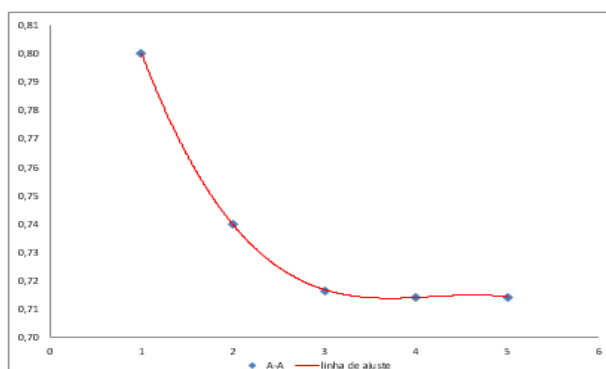
Figura 24: Construção da matriz das probabilidades de transição

V. 1. 3 - Representação das Probabilidades de transição Directa

As probabilidades de transição directa ($P_{i.i}$), isto é, a probabilidade de transição de uma litologia para ela própria, das litologias de Calcário(A), Areia(B) e Argila(C), estão representadas nas tabelas e gráficos, que se podem ver a seguir:

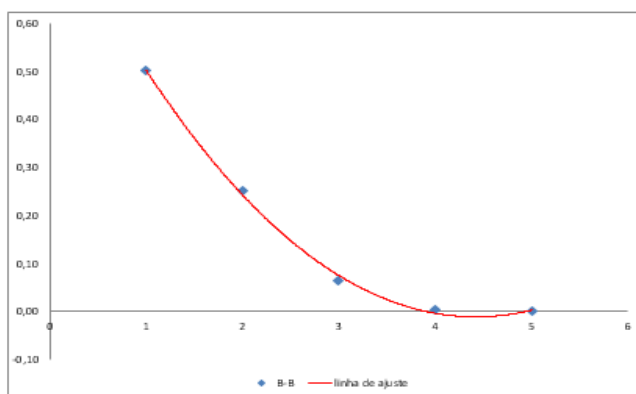
Calcário (A-A)

Passos	Dirieto
	A-A
1	0,80
2	0,74
3	0,72
4	0,71
5	0,71



Areia (B-B)

Passos	Dirieto
	B-B
1	0,50
2	0,25
3	0,06
4	0,00
5	0,00



Argila (C-C)

Passos	Dirieto
	C-C
1	0,50
2	0,35
3	0,29
4	0,29
5	0,29

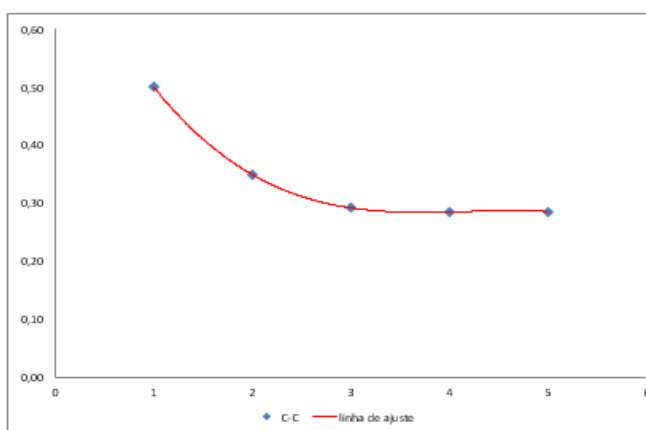


Figura 25: Representação das Probabilidades de transição Directa

V. 2 - ESTATÍSTICA DOS POÇOS

Com os resultados obtidos na classificação litológica permitiu fazer uma análise estatística dos poços de modo a conhecer a quantidade de vezes que um tipo de litologia aparece em cada poço, conhecer a proporção das litologias e outras informações estatística.

Tabela 03: Quantidade de vezes que um tipo de lito aparece em cada poço

	Lito 1	Lito 2	Lito 3	Total
poço 1	4	20	0	24
poço 2	0	24	9	33
poço 3	3	26	7	36
poço 4	5	14	4	23
poço 5	1	21	1	23
poço 6	4	23	3	30

Tabela 04: Proporção das lito em cada poço

% Lito 1	% Lito 2	% Lito 3	% Total
0,17	0,83	0,00	1,00
0,00	0,73	0,27	1,00
0,08	0,72	0,19	1,00
0,22	0,61	0,17	1,00
0,04	0,91	0,04	1,00
0,13	0,77	0,10	1,00

Tabela 05: Quantidade de vezes que um tipo de lito aparece em todos os poços

	Lito 1	Lito 2	Lito 3	Total
Total	17	128	24	169

Tabela 06: Proporção geral das lito em todos poços

% Lito 1	% Lito 2	% Lito 3	% Total
0,10	0,76	0,14	1,00

CAPÍTULO VI - ANÁLISE VARIOGRAFICA DAS LITOLOGIAS

VI. 1 - CONVERSÃO DAS PROBABILIDADES EM VARIOGRAMAS

1. Na direcção vertical

Como foi referido antes no capítulo V a matriz das probabilidades de transição foi o caminho escolhido para a construção da função variograma, como podemos ver pela figura 25, devido o resultado instável obtido nas tentativas de ajustamento do variograma usando o SGeMs. Uma segunda razão para o recurso as probabilidades de transição foi a relação que possuiu com os variogramas e como o Software SGeMs não usa as probabibilidades de transição para o calculo da continuidade espacial foi necessário converter as probabilidades em variogramas usando as formulas de relação que elas possuem.

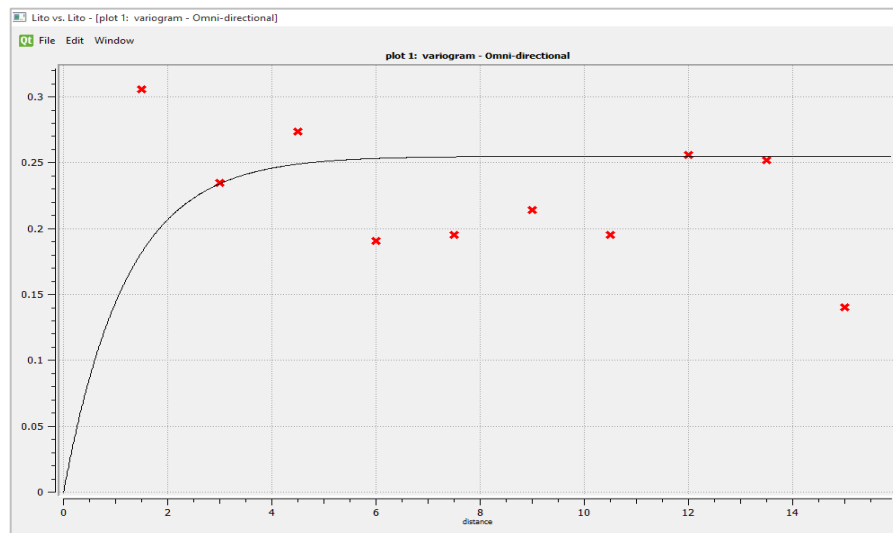


Figura 26: Tentativa de ajustamento de um variograma, no SGeMs

A conversão das probabilidades de transição para o variograma no caso de variáveis categóricas (litologias) é feita com base nas fórmulas (PIERRE GOOVAERTS, 1997), seguintes:

- a) $K \neq k'$, para os variogramas direitos: $\gamma(h, k, k') = p_k * p_{kk'}(h)$
- b) $K = k'$, para os variogramas cruzados: $\gamma(h, k, k') = p_k * (1 - p_{kk'}(h)) \geq 0$

Onde:

- K = um tipo de litologia
- K' = outro tipo de litologia
- p_k = proporção da litologia
- $p_{k,k'}$ = Probabilidade de transição da litologia k para litologia k' no passo h

A seguir estão representados os variogramas directos das litologias que foram convertidos a partir das probabilidades de transição. Os variogramas cruzados das litologias foram transferidos para os anexos deste trabalho, isto porque foi escolhido o “Median IK” e não o “Full Kriging” no qual a sua utilização não é necessária.

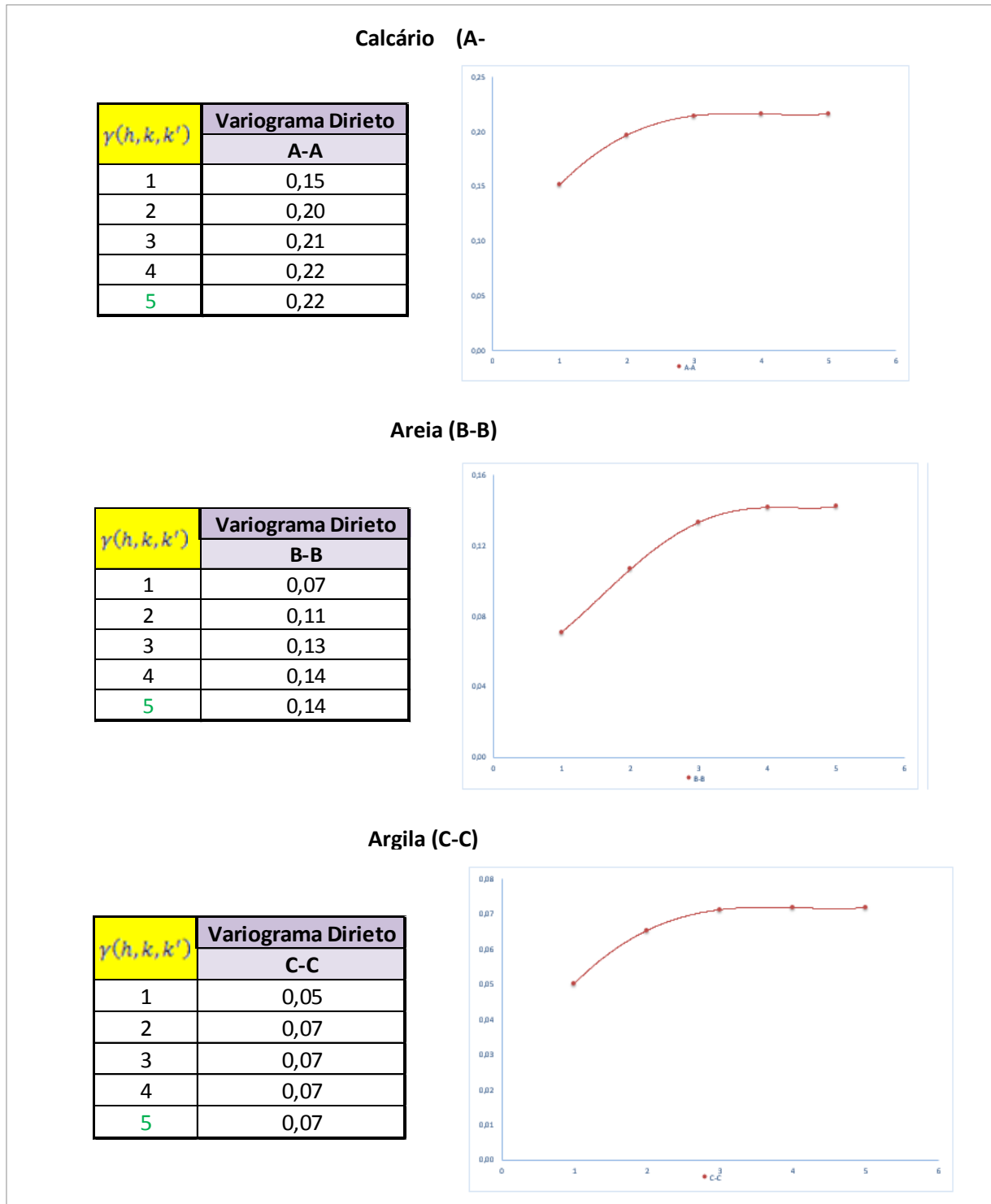


Figura 27: variogramas directos das litologias que foram convertidos a partir das probabilidades de transição

2. Em outras direcções

Nesta direcção não foi necessário fazer a conversão a partir das probabilidades de transição, porque o ajustamento dos variogramas não apresentou alguma dificuldade. Os variogramas experimentais nos quatro azimuths: 0°, 45°, 90° e 135°, Figura 28, mostram a não existência de anisotropia, e por está razão foi ajustado o modelo isotrópo usando o método exponencial tendo as seguintes características:

$$\gamma(h) = C \left[1 - \text{Exp} \left(-\frac{3h}{a} \right) \right]$$

Tabela 07: Parâmetros do variograma horizontal e outras

Horizontal e em outras direcções	
Amplitude	1000
patamar	0,22

Ou seja, não existe diferença de continuidade espacial dos atributos dos solos em diferentes direcções, na determinada área de estudo. A anisotropia equivale à existência de direcções privilegiadas que condicionaram a gênese do fenómeno sob estudo. Caso não existir anisotropia, utiliza-se um semivariograma médio para todas as direcções, chamado na literatura de omnidirecional (isotrópico).

Durante o estudo geológico sobre a área e também com os relatos vistos em trabalhos realizados por geólogos que estudaram este mesmo local viu-se que nas outras direcções excepto na direcção vertical encontra-se um comportamento isotrópico, com estas informações fez-se o variograma das outras direcções.

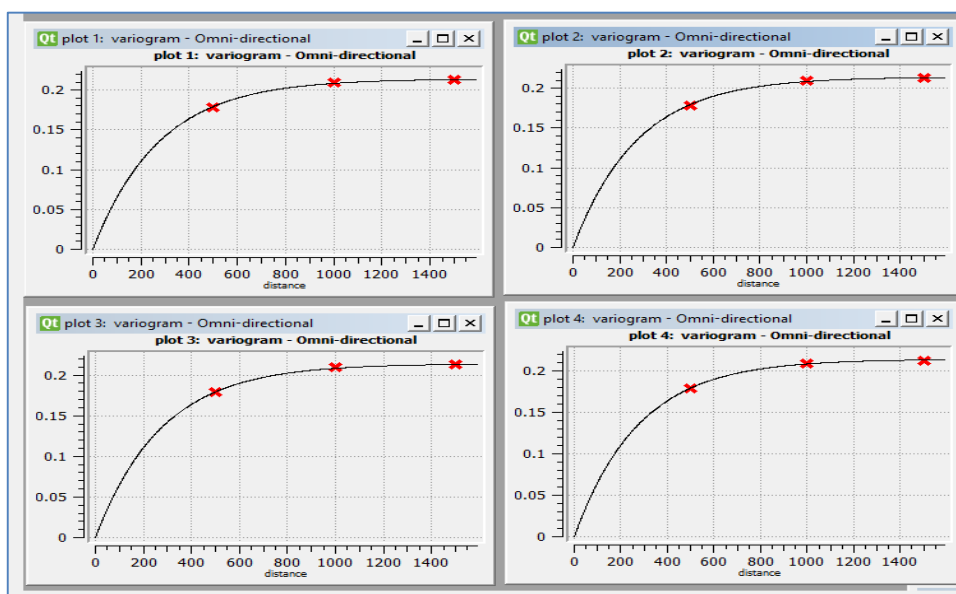


Figura 28: Variograma omni-direcional

Acima temos os variogramas com um patamar de 0.22 nas seguintes direções Azimuth (0°, 45°, 90° e 135°). Podemos ver que o comportamento não varia independentemente da inclinação.

Variograma Direcional

Abaixo temos um gráfico que junta o variograma vertical e o variograma das outras direções.

Tabela 08: Parâmetros do variograma direcional

vertical		horizontal	
Amplitude	4	Amplitude	1000
patamar	0,22	patamar	0,22

$$\gamma(h) = C \left[1 - \exp \left(-\frac{3h}{a} \right) \right]$$

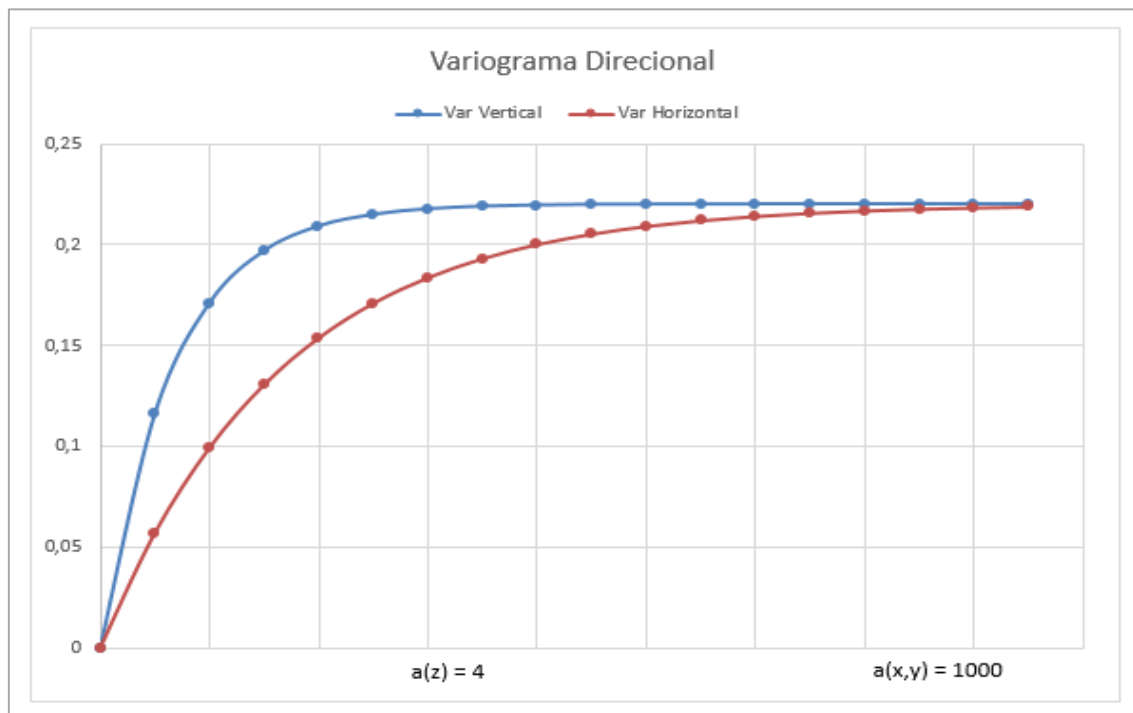


Figura 29: Variograma direcional

CAPÍTULO VII - APLICAÇÃO DA SIMULAÇÃO SEQUENCIAL

VII. 1 - SIMULAÇÃO SEQUENCIAL DA INDICADORA

O novo formalismo da geoestatística usa modelos de simulação estocástica, buscando, fundamentalmente, reproduzir a imagem da "realidade" e a continuidade espacial revelada nos variogramas e com o objetivo de identificar a distribuição espacial, a transição e a incerteza da realidade que pode ser representada por um conjunto de variáveis categóricas como, facies geológicas e classes de solos (SOARES, 2006).

A gestão dos recursos naturais tem beneficiado com a modelação espacial de variáveis categóricas (rochas e solos), em muitos casos sendo esta uma das maiores dificuldades quando se trata de situações geológicas complexas do ponto sedimentológico e estrutural. Neste caso de estudo e através da leitura dos dados das litologias ao longo dos poços e da correlação entre eles, o morro do Sequele não apresenta alguma complexidade geológica para além da simples sequência de estratos de Areia, Argila e Calcário com uma continuidade horizontal elevada se tivermos em conta as amplitudes reveladas pelos variogramas calculados no capítulo anterior.

Em concreto, no uso da estimação e/ou simulação geoestatística, ainda segundo SOARES, (1998), o algoritmo de simulação sequencial da indicatriz se tem mostrado uma ferramenta vantajosa na simulação de estruturas multifásicas e de variáveis categóricas.

A simulação de indicadores sequenciais de variáveis categóricas segue um procedimento semelhante ao descrito para variáveis contínuas:

- Transforma-se cada dado categórico $\delta(U_\alpha)$ em um vector de dados de indicadores rígidos K, definidos como, (PIERRE GOOVAERTS, 1997).

$$i(U_\alpha; S_k) = \left\{ \begin{array}{ll} 1 & \text{se } \delta(U_\alpha) = S_k \\ 0 & \text{se não} \end{array} \right\} \quad K = 1, \dots, k$$

No nosso caso e depois de feita a classificação das litologias, conforme é mostrado nesta tabela:

Tabela 09: legenda das litologias codificadas

Legenda das litologias		
C	1	Areia
A	2	Calcário
B	3	Argila

A codificação das três litologias em variáveis indicadoras foi feita com atribuição do valor [1] a litologia da amostra $\delta(U_\alpha)$ igual a S_k , sendo S_k = Areia, Argila ou Calcário, e o valor [0] atribuído as outras litologias não presente na amostra (ver tabela abaixo).

Tabela 10: Codificação das três litologias em variáveis indicadoras

ELEMENTOS CONVERTIDOS EM PERCENTAGEM (%)				Tipo de litologia	INDICADOR DO TIPO DE LITOLOGIA		
C	B	A	Soma		Lito 1	Lito 2	Lito 3
SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	%	Lito			
85,55	13,80	0,65	100	1	1	0	0
89,09	10,33	0,58	100	1	1	0	0
89,82	9,66	0,52	100	1	1	0	0
88,51	10,88	0,61	100	1	1	0	0
5,95	1,01	93,05	100	2	0	1	0
3,52	0,32	96,16	100	2	0	1	0
3,89	0,53	95,58	100	2	0	1	0
3,77	0,57	95,67	100	2	0	1	0
3,15	0,29	96,56	100	2	0	1	0
3,01	0,53	96,45	100	2	0	1	0
3,74	0,58	95,68	100	2	0	1	0
4,79	1,04	94,17	100	2	0	1	0
2,26	0,33	97,42	100	2	0	1	0
5,75	0,32	93,92	100	2	0	1	0
3,19	0,49	96,32	100	2	0	1	0
3,98	0,78	95,24	100	2	0	1	0
5,08	1,27	93,65	100	2	0	1	0
4,35	1,02	94,63	100	2	0	1	0
2,29	0,32	97,38	100	2	0	1	0
5,65	0,64	93,71	100	2	0	1	0
3,40	0,54	96,06	100	2	0	1	0
4,20	0,60	95,20	100	2	0	1	0
9,59	1,82	88,59	100	2	0	1	0
12,14	2,73	85,14	100	2	0	1	0
70,73	25,32	3,95	100	3	0	0	1

A tabela foi construída para servir de input de dados necessários para o lançamento do algoritmo de simulação sequencial da indicatriz no software SgeMs. O processo de simulação sequencial da indicatriz (SSI) necessita dos seguintes passos:

- 1º) Preparação do ficheiro de dados no formato gslib
- 2º) Criação da malha 3D de células da Simulação
- 3º) Introdução das informações seguintes:
 - 3.1 - Modelo do variograma (amplitudes e patamares)
 - 3.2 – A opção da simulação (sequencial da indicatriz)
 - 3.3 Dados estatísticos das litologias e gerais da simulação
- 4º) Correr o algoritmo.

Primeiro passo: Preparação do ficheiro de dados no formato gslib

A figura 30 mostra o ficheiro de dados de leitura em formato gslib que foi preparado para correr o algoritmo.

Sequele									
10									
X									
Y									
Z									
SiO2									
Al2O3									
CaO									
Lito									
Lito1									
Lito2									
Lito3									
122.80	1079.40	0.50	75.10	12.11	0.57	1.00	1.00	0.00	0.00
122.80	1079.40	1.50	79.80	9.25	0.52	1.00	1.00	0.00	0.00
122.80	1079.40	2.50	81.41	8.76	0.47	1.00	1.00	0.00	0.00
122.80	1079.40	3.30	79.77	9.81	0.55	1.00	1.00	0.00	0.00
122.80	1079.40	3.75	3.37	0.57	52.73	2.00	0.00	1.00	0.00
122.80	1079.40	4.35	1.97	0.18	53.82	2.00	0.00	1.00	0.00
122.80	1079.40	5.35	2.20	0.30	54.08	2.00	0.00	1.00	0.00
122.80	1079.40	6.45	2.12	0.32	53.86	2.00	0.00	1.00	0.00
122.80	1079.40	7.75	1.77	0.16	54.19	2.00	0.00	1.00	0.00

Figura 30: Novo ficheiro gslib com os dados da classificação final das litologias

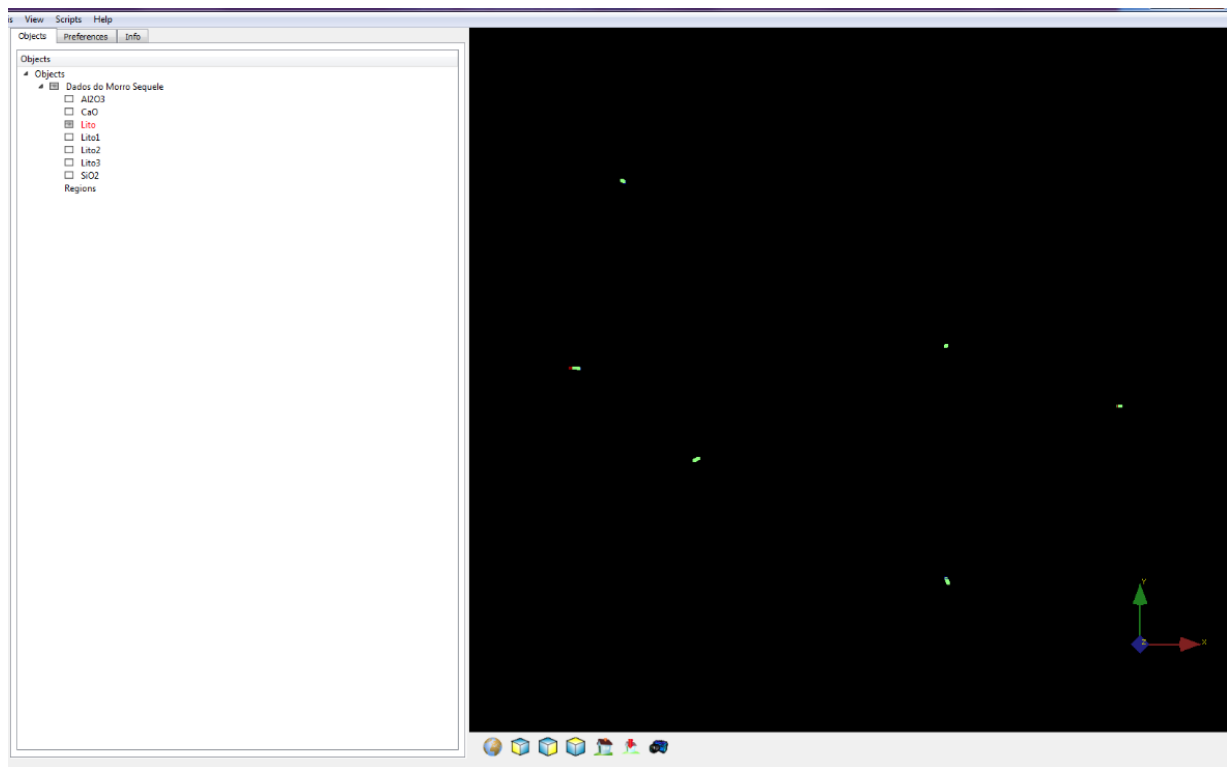


Figura 31: Visualização dos dados de entrada (poços) no software (SgeMs)

Segundo Passo: Criação da malha 3D de células da Simulação

Depois do modelo do variograma e da leitura dos dados, foi a vez da criação da malha 3D de células. Para isso foi necessário ter em conta os dados de Azimuth e profundidade dos furos de sondagem. Na figura 32 podemos ver os dados usados na construção da malha (dimensão e nº de células nas direcções X,Y e Z) e visualização da malha 3D criada em duas perspectiva, vista de cima e vista lateral.

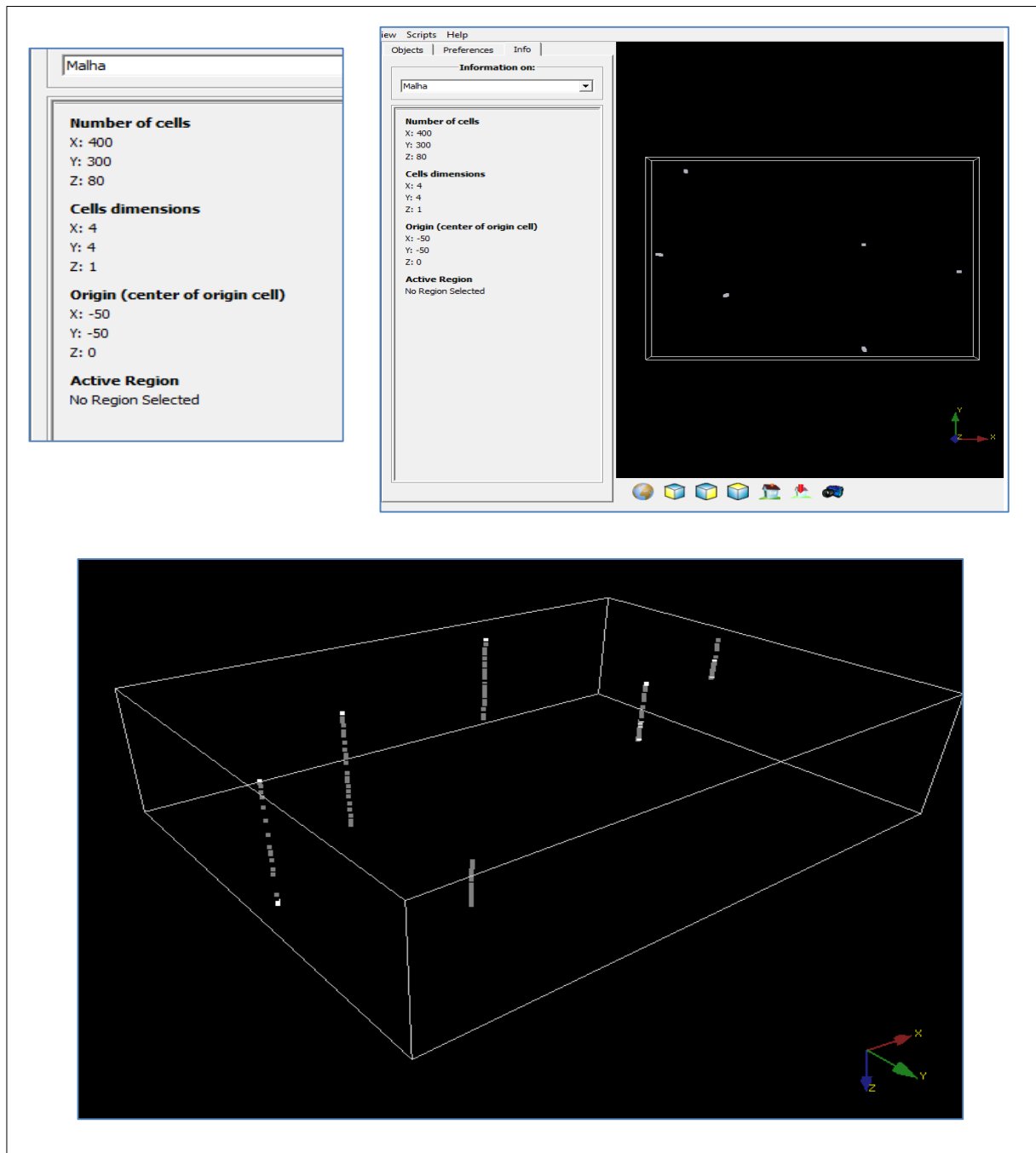


Figura 32: Malha 3D de células da Simulação

Terceiro e quarto passo: Introdução das informações (Modelo do variograma, opção da simulação, Dados estatísticos das litologias e gerais da simulação e correr o algoritmo).

A figura 33 mostra a escolha do algoritmo da simulação sequencial da indicatriz, assim como as informações das proporções das três litologias e informações gerais relacionadas com algoritmo. Os resultados e comentários da simulação serão apresentados e discutidos no capítulo seguinte.

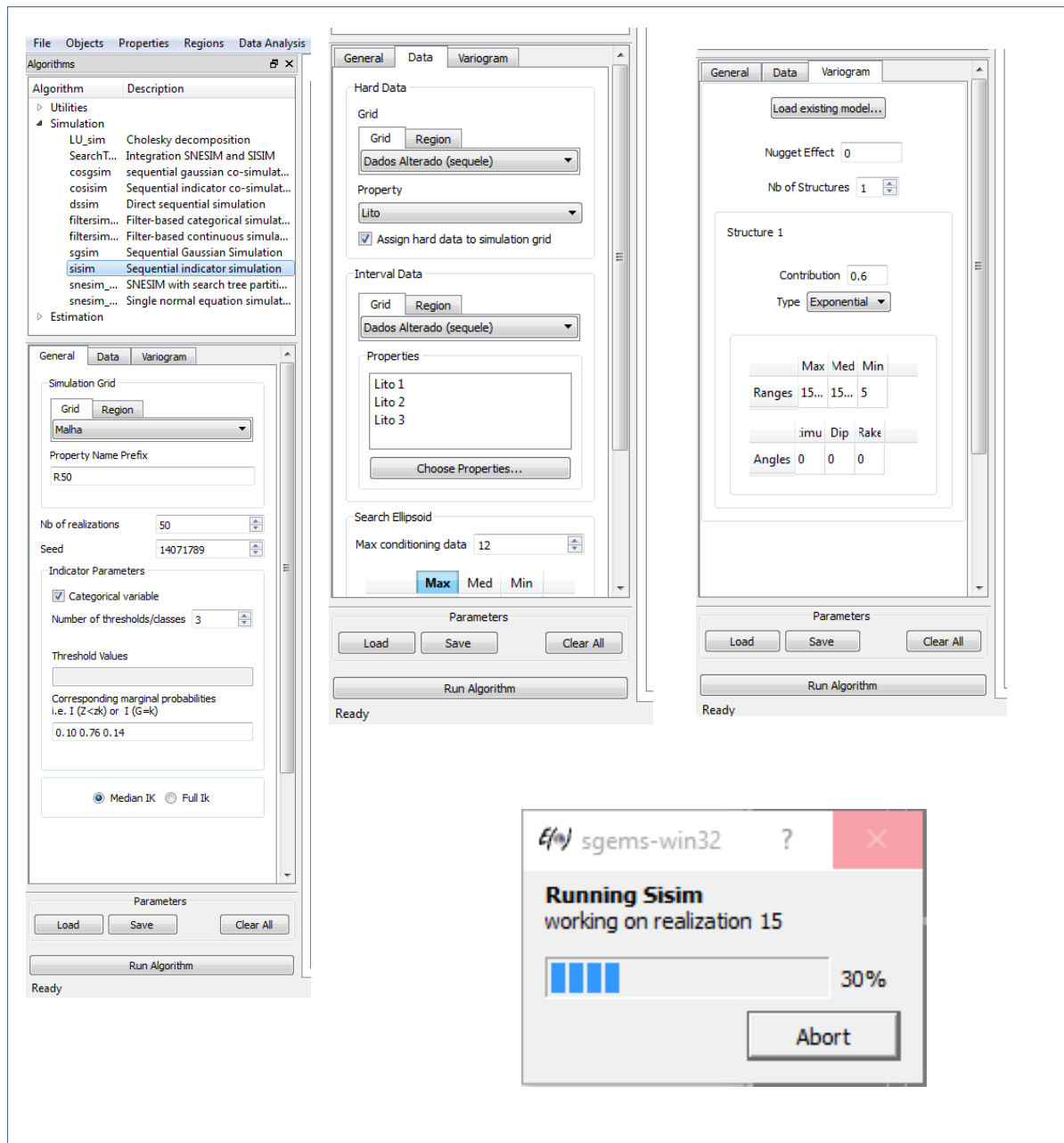


Figura 33: Alguns passos dados no software SgeMs, para realizar as simulações

CAPÍTULO VIII – DISCUSSÃO E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

VIII. 1 - MODELO GEOLÓGICO

A simulação foi realizada com o total dos 164 amostras recolhidas nos poços de sondagem, no conjunto das 50 imagens simuladas foram seleccionadas algumas para compôr a figura 34 que permite visualizar um conjunto de imagens diferentes, igualmente prováveis da distribuição espacial das principais litologias, que, no entanto, deixam ver diferentes distribuições das litologias de uma imagem a outra.

O processamento pós-simulação das imagens e observação detalhada permite verificar e medir as variações locais de uma imagem para outra e proceder análise estatística dos resultados, como veremos a seguir e mais adiante.

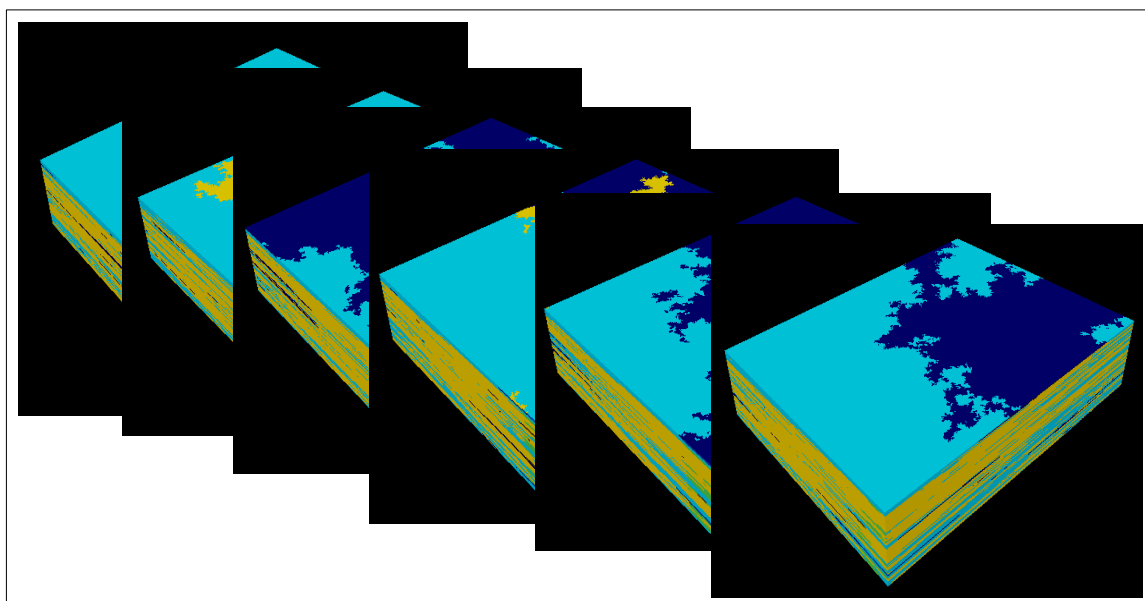


Figura 34: Algumas imagens seleccionadas do conjunto das 50 simuladas



VIII. 1. 1 - Visualização do modelo médio

Com o pós-processamento foi possível construir o modelo geológico médio, usando a opção E-Type no algoritmo de pós-processamento da simulação no SGeMs, cujo o resultado podemos ver na figura 35. Na realidade a simulação produz várias imagens e cada uma representa um modelo igualmente provável de distribuição das litologias (PIERRE GOOVAERTS, 1997).

No entanto, para descrição mais detalhada e completa da distribuição necessitamos de escolher um modelo, isto é, um resultado representativo de entre todas as simulações feitas, a escolha recai sobre o modelo médio, da mesma forma que a média seria a medida representativa de uma amostra para fazer a visualização e interpretação do resultado.

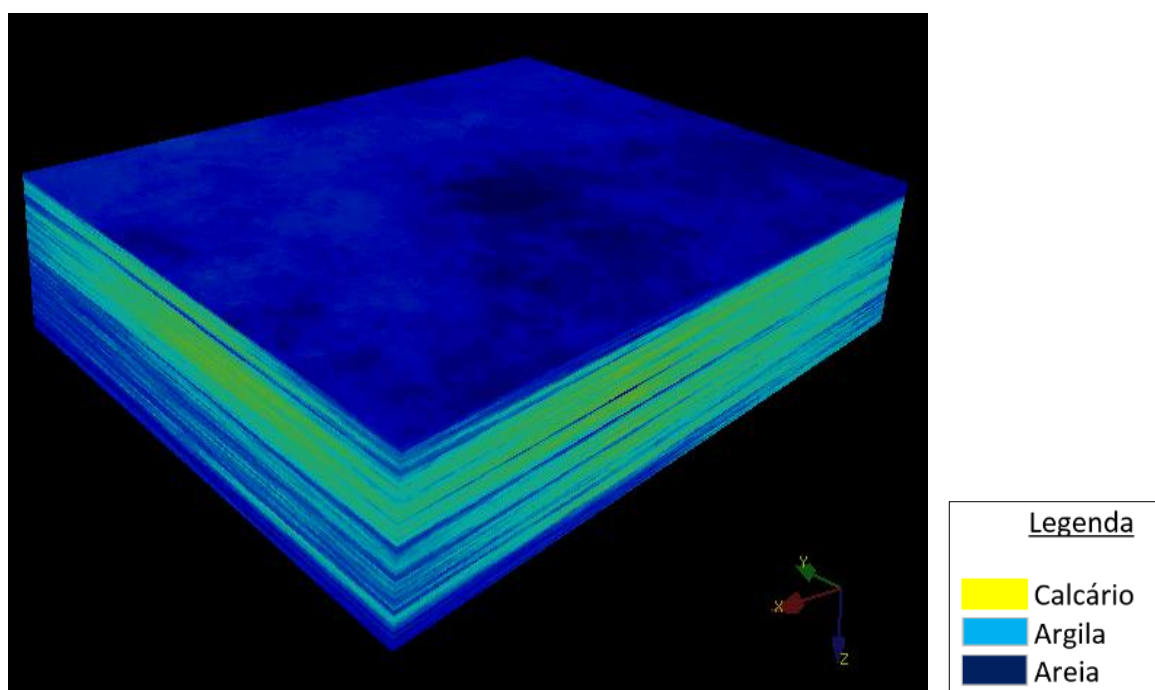


Figura 35: Visualização do modelo geológico médio

a. Superfície do Topo do Modelo

É a imagem do modelo médio projectada na vertical, isto é a superfície de topo quando o modelo é visto por cima (figura 36).

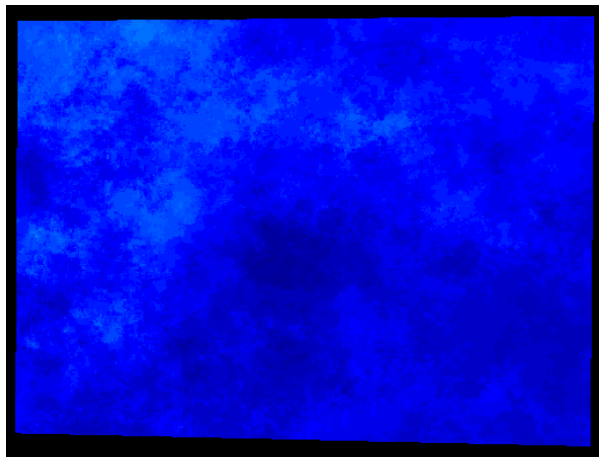


Figura 36: Visualização do topo do modelo geológico

b. Superfície da Base do Modelo

Esta superfície corresponde a visualização do modelo visto por baixo (figura 37) que revela um resultado muito diferente se comparado com a superfície de topo do morro. As diferenças vão desde o numero de litologias, a sua distribuição e as suas proporções.

Notamos que o calcário não aparece no topo, só na base e a areia é abundante no topo e quase inexistente na base. As diferentes superfícies do topo e da base levam a crer que existe uma variação interessante das litologias com o variar da profundidade que será apresentada na secção a seguir.

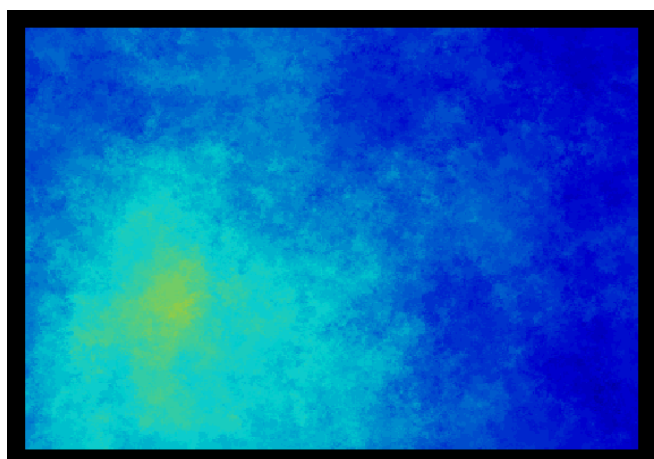


Figura 37: Visualização da base do modelo geológico

VIII. 2 VARIAÇÃO DAS LITOLOGIAS COM A PROFUNDIDADE

VIII. 2. 1 - Secções verticais do modelo médio

A secção vertical do modelo médio ajuda a compreender a disposição do seu interior e também serve como referência para o controle de qualidade do resultado da simulação.

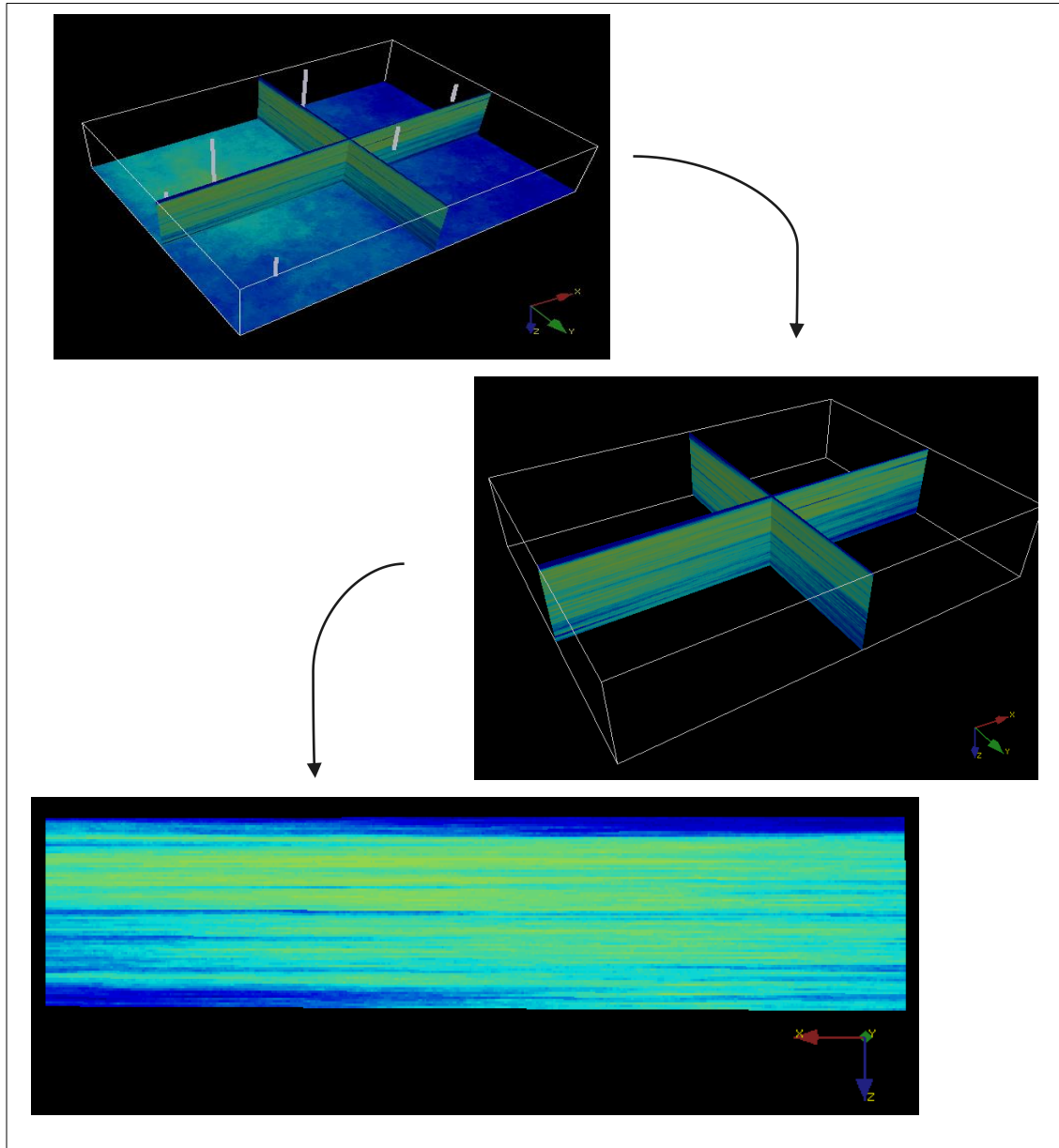


Figura 38: Secção transversal do modelo geológico

Com este cortes feitos podemos ter uma ideia como estão sobrepostas as camadas das litologias identificadas no morro e não só também é notável o tipo de litologia com maior distribuição ao longo do morro.

VIII. 2. 2 - Secções horizontais do modelo médio

Para conhecer as proporções de cada litologia e suas variações no modelo geológico médio foram feitas varias secções (cortes) horizontais a diferentes níveis de profundidade e obtiveram-se mapas que se vêem nas imagens abaixo:

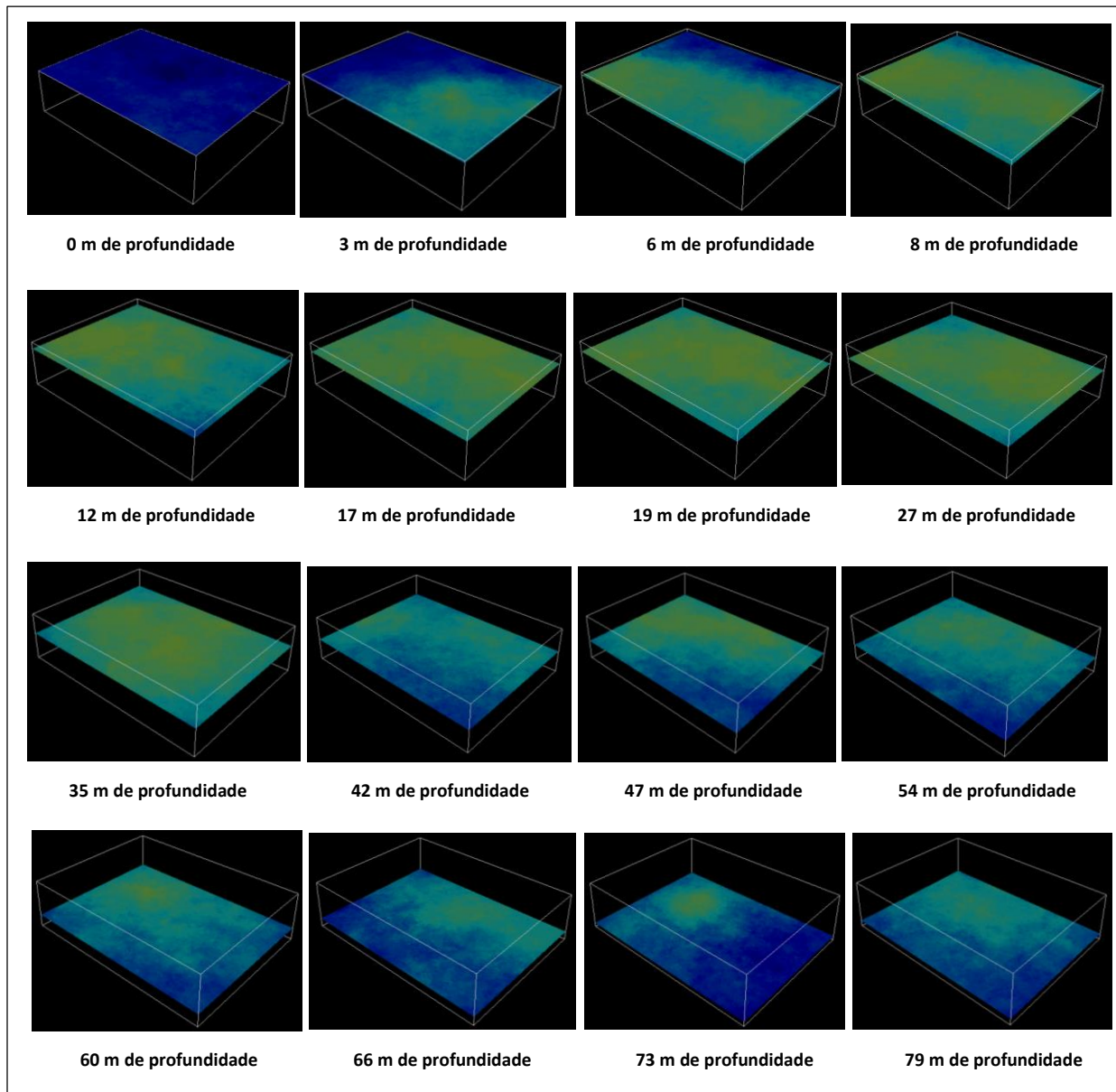


Figura 39: Visualização da proporção das litologias com a variação da profundidade

Com a variação da profundidade nota-se que a litologia de Calcário está em maior proporção a excepção de uma pequena camada de cobertura de areia de alguns metros de profundidade, o modelo revela que o morro é essencialmente composto de calcário e com isso podemos dizer que a zona é rica em Calcário e pode servir para ser uma zona de exploração industrial de calcário, para reforçar o estudo feito calculou-se a seguir a reserva de cada litologia nas simulações realizadas.

VIII. 3 - CALCULO DAS RESERVAS

As simulações foram feitas numa malha 3D de células (blocos) com as dimensões (4 x 4 x 1) m (figura 32). Para conhecer as reservas in situ de cada litologia dos modelos simulados para chegar ao modelo médio (figura 35) é preciso saber o volume (tabela 11) e também as proporções de cada litologia (tabela 12) que pode ser obtida lendo as proporções de cada litologia no histograma (figura 41).

Tabela 11: cálculo do volume

Cálculo do volume			
	x	y	z
Nº células	400	300	80
Lado da célula	4 m	4 m	1 m
Dimensão do lado	1600 m	1200 m	80 m
Área	1.920.000 m ²		
Volume	153.600.000 m ³		

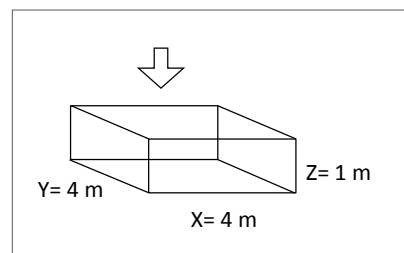


Figura 40: Representação de uma célula

Imagem abaixo do histograma é da simulação nº 2, ela mostra como foram calculadas as proporções de cada litologia em cada simulação feita, para obter a proporção da litologia de Areia nesta simulação retirou-se a probabilidade de ocorrência dela e em seguida para litologia de Argila também retirou-se o valor probabilidade de ocorrência dela no histograma, mas como se trata de uma distribuição de probabilidade acumulada fez a diferença desta probabilidade com a anterior e em seguida achou-se a probabilidade da litologia de Calcário e este procedimento foi aplicado em todas as 50 simulações para calcular as proporções.

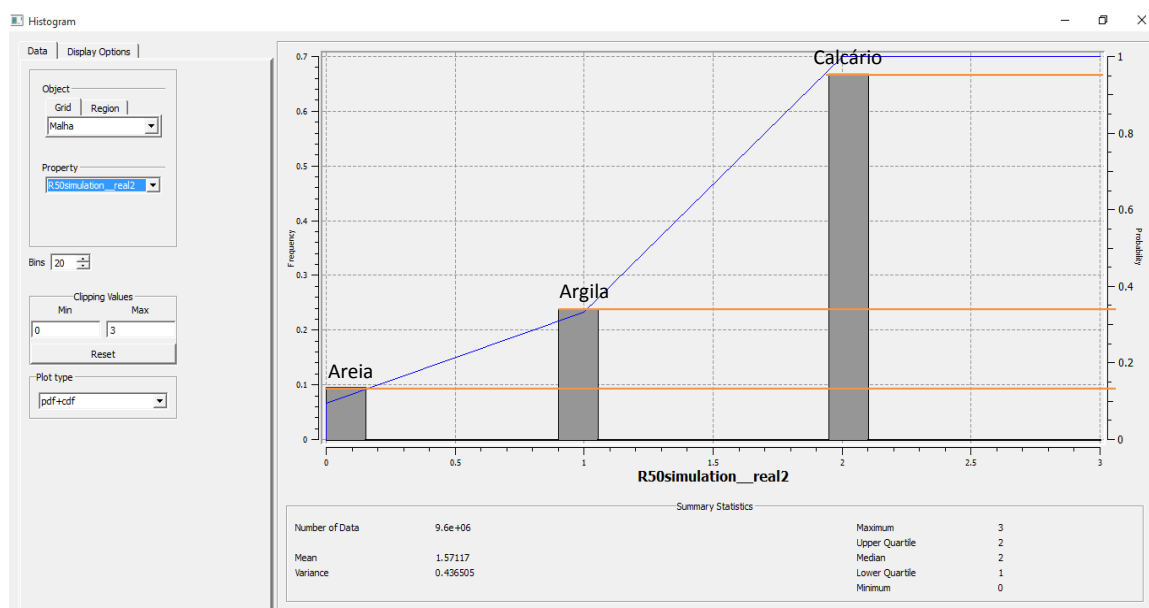


Figura 41: Histograma da simulação nº 2, exemplar para mostrar como foi calculado as proporções

Este procedimento pode ser feito com uma imagem, que seria o modelo geológico médio, mas também com todas as imagens (modelos). A tabela 13 mostra o resultado das reservas in situ das três litologias para todas as imagens (modelos) que ajuda a perceber o quanto as reservas variam de modelo a modelo, sendo essa a característica da simulação que nos permite ter acesso a incerteza do modelo escolhido e seus resultados (na secção a seguir).

Tabela 12: cálculo das proporções

Proporções de cada litologia em %				
Nº de simulações	Areia	Argila	Calcário	soma
1	0,06	0,15	0,79	1
2	0,14	0,16	0,78	1
3	0,03	0,42	0,55	1
4	0,03	0,32	0,65	1
5	0,07	0,35	0,58	1
6	0,01	0,38	0,61	1
7	0,02	0,43	0,55	1
8	0,11	0,25	0,64	1
9	0,1	0,21	0,69	1
10	0,05	0,33	0,62	1
11	0,04	0,35	0,61	1
12	0,06	0,25	0,69	1
13	0,05	0,26	0,69	1
14	0,04	0,41	0,55	1
15	0,04	0,39	0,57	1
16	0,07	0,32	0,61	1
17	0,04	0,36	0,60	1
18	0,08	0,29	0,63	1
19	0,04	0,23	0,73	1
20	0,02	0,31	0,67	1
21	0,04	0,41	0,55	1
22	0,08	0,28	0,64	1
23	0,02	0,31	0,67	1
24	0,03	0,27	0,70	1
25	0,07	0,31	0,62	1
26	0,01	0,4	0,59	1
27	0,04	0,38	0,58	1
28	0,06	0,32	0,62	1
29	0,1	0,16	0,74	1
30	0,07	0,34	0,59	1
31	0,05	0,4	0,55	1
32	0,04	0,23	0,73	1
33	0,1	0,31	0,59	1
34	0,07	0,33	0,60	1
35	0,01	0,44	0,55	1
36	0,06	0,25	0,69	1
37	0,07	0,22	0,71	1
38	0,01	0,38	0,61	1
39	0,06	0,34	0,60	1
40	0,06	0,25	0,69	1
41	0,05	0,39	0,56	1
42	0,07	0,39	0,54	1
43	0,04	0,35	0,61	1
44	0,05	0,37	0,58	1
45	0,03	0,4	0,57	1
46	0,1	0,24	0,66	1
47	0,03	0,32	0,65	1
48	0,05	0,23	0,72	1
49	0,01	0,3	0,69	1
50	0,02	0,33	0,65	1

Tabela 13: cálculo das reservas

Reservas de cada litologia em m³		
Areia	Argila	Calcário
9 216 000,00	23 040 000,00	121 344 000,00
21 504 000,00	24 576 000,00	119 808 000,00
4 608 000,00	64 512 000,00	84 480 000,00
4 608 000,00	49 152 000,00	99 840 000,00
10 752 000,00	53 760 000,00	89 088 000,00
1 536 000,00	58 368 000,00	93 696 000,00
3 072 000,00	66 048 000,00	84 480 000,00
16 896 000,00	38 400 000,00	98 304 000,00
15 360 000,00	32 256 000,00	105 984 000,00
7 680 000,00	50 688 000,00	95 232 000,00
6 144 000,00	53 760 000,00	93 696 000,00
9 216 000,00	38 400 000,00	105 984 000,00
7 680 000,00	39 936 000,00	105 984 000,00
6 144 000,00	62 976 000,00	84 480 000,00
6 144 000,00	59 904 000,00	87 552 000,00
10 752 000,00	49 152 000,00	93 696 000,00
6 144 000,00	55 296 000,00	92 160 000,00
12 288 000,00	44 544 000,00	96 768 000,00
6 144 000,00	35 328 000,00	112 128 000,00
3 072 000,00	47 616 000,00	102 912 000,00
6 144 000,00	62 976 000,00	84 480 000,00
12 288 000,00	43 008 000,00	98 304 000,00
3 072 000,00	47 616 000,00	102 912 000,00
4 608 000,00	41 472 000,00	107 520 000,00
10 752 000,00	47 616 000,00	95 232 000,00
1 536 000,00	61 440 000,00	90 624 000,00
6 144 000,00	58 368 000,00	89 088 000,00
9 216 000,00	49 152 000,00	95 232 000,00
15 360 000,00	24 576 000,00	113 664 000,00
10 752 000,00	52 224 000,00	90 624 000,00
7 680 000,00	61 440 000,00	84 480 000,00
6 144 000,00	35 328 000,00	112 128 000,00
15 360 000,00	47 616 000,00	90 624 000,00
10 752 000,00	50 688 000,00	92 160 000,00
1 536 000,00	67 584 000,00	84 480 000,00
9 216 000,00	38 400 000,00	105 984 000,00
10 752 000,00	33 792 000,00	109 056 000,00
1 536 000,00	58 368 000,00	93 696 000,00
9 216 000,00	52 224 000,00	92 160 000,00
9 216 000,00	38 400 000,00	105 984 000,00
7 680 000,00	59 904 000,00	86 016 000,00
10 752 000,00	59 904 000,00	82 944 000,00
6 144 000,00	53 760 000,00	93 696 000,00
7 680 000,00	56 832 000,00	89 088 000,00
4 608 000,00	61 440 000,00	87 552 000,00
15 360 000,00	36 864 000,00	101 376 000,00
4 608 000,00	49 152 000,00	99 840 000,00
7 680 000,00	35 328 000,00	110 592 000,00
1 536 000,00	46 080 000,00	105 984 000,00
3 072 000,00	50 688 000,00	99 840 000,00

É necessário o comentário de que as reservas in situ calculadas dessa maneira sobre-estimam o resultado, porque o volume total corresponde a uma figura geométrica (figura 32) que tem um volume superior ao volume real do morro Sequele. No modelo médio foi aplicado o mesmo procedimento para conhecer a proporção e calcular a reserva média de cada litologia.

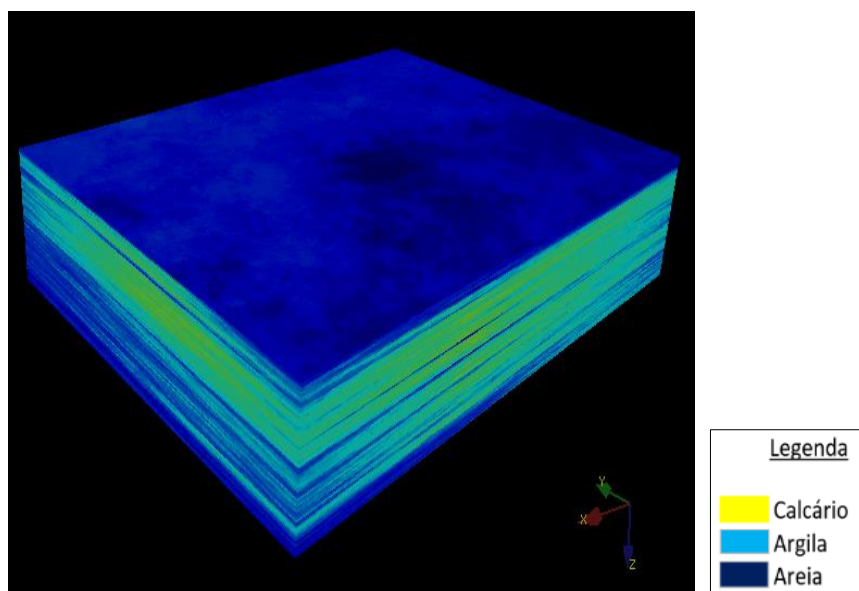


Figura 42: Modelo geológico médio (b)

Tabela 14: cálculo das proporções médias

Proporções média de cada litologia em %				
Modelo médio	Areia	Argila	Calcário	soma
	0,18	0,27	0,69	1

Tabela 15: cálculo das reservas médias

Reservas média de cada litologia em m^3		
Areia	Argila	Calcário
27 648 000 m^3	41 472 000 m^3	105 984 000 m^3

VIII. 4 - AVALIAÇÃO DA INCERTEZA

Para a avaliação da incerteza foi escolhida a litologia Calcário, por ser aquela que mais predomina no morro. A ser necessário, o mesmo procedimento seria aplicado às outras duas litologias. Com os valores calculados as reservas das litologias por cada modelo simulado (tabela 13) foi possível construir um histograma (fig.43), cuja descrição e análise permite observar o quadro da variabilidade das reservas produzidas pela simulação. Segundo os histogramas das reservas de cada litologia podemos ver que possuem classes (blocos) de valores com variabilidade na sua frequência.

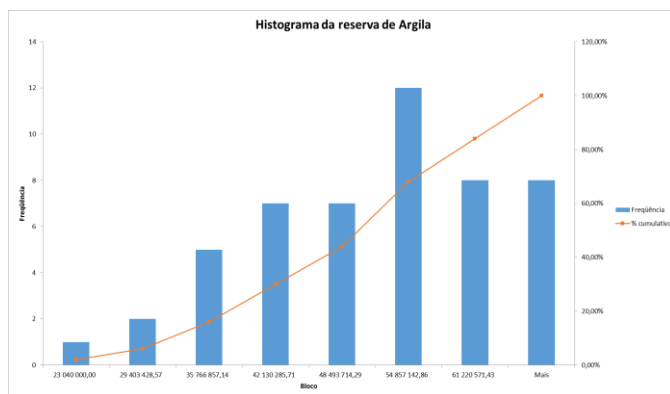


Figura 43: Histograma da reserva de Argila

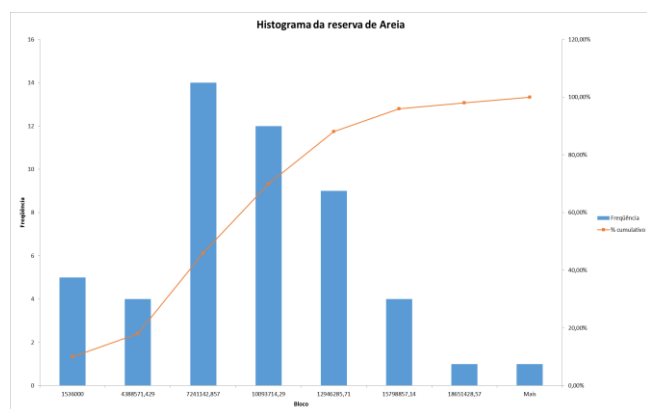


Figura 44: Histograma da reserva de Areia

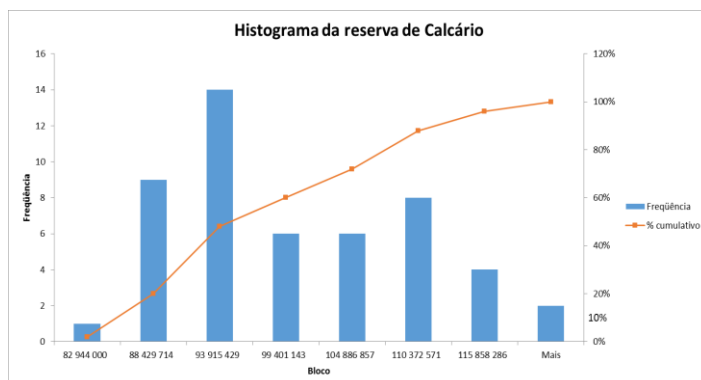


Figura 45 (a): Histograma da reserva de Calcário

Sumário estatístico

<i>Areia</i>	<i>valor</i>	<i>Argila</i>	<i>valor</i>	<i>Calcário</i>	<i>valor</i>
Média	7 956 480	Média	48 967 680	Média	96 921 600
Erro padrão	629 404	Erro padrão	1 504 736	Erro padrão	1 299 084
Mediana	7 680 000	Mediana	49 152 000	Mediana	95 232 000
Modo	6 144 000	Modo	38 400 000	Modo	105 984 000
Desvio padrão	4 450 561	Desvio padrão	10 640 091	Desvio padrão	9 185 910
Variância da amostra	19 807 493 642 449	Variância da amostra	113 211 540 793 469	Variância da amostra	84 380 943 673 469
Curtose	0,61	Curtose	- 0,85	Curtose	- 1,05
Assimetria	0,75	Assimetria	- 0,23	Assimetria	0,28
Intervalo	19 968 000	Intervalo	43 008 000	Intervalo	32 256 000
Mínimo	1 536 000	Mínimo	24 576 000	Mínimo	82 944 000
Máximo	21 504 000	Máximo	67 584 000	Máximo	115 200 000
Soma	397 824 000	Soma	2 448 384 000	Soma	4 846 080 000
Contagem	50	Contagem	50	Contagem	50
Nível de confiança(95,0%)	1 264 835	Nível de confiança(95,0%)	3 023 880	Nível de confiança(95,0%)	2 610 607

Tabela 16: Sumário estatístico

Média – podemos ver (tab.16) que dentre as três litologia a maior média de valores é a de calcário isso mostra que nesta litologia a concentração de dados distribuidos que formam esta reserva é maior em relação as outras.

Erro padrão – mostra que quanto menor ele for, a estimativa da média é mais precisa.

Desvio padrão – dentre as três litologias, podemos ver que a de Argila tem o maior desvio padrão, isso mostra que o nível de dispersão é maior em relação as outras litologias, aqui o conjunto de dados está mais distante da média.

Variância da amostra – está medida de dispersão mostra em geral que quanto mais ela for maior, mais os valores da variável estarão distante do valor esperado.

Curtose – Está medida caracteriza o achatamento da curva da função de distribuição, dentre as três litologias podemos ver que o Calcário tem o menor curtose, logo a sua curva é achatada.

Assimetria – Este coeficiente permite distinguir as distribuições assimetricas, dentre as três litologias podemos ver que o Calcário e a Areia possuem assimetrias positivas, isso significa que a cauda do lado esquerdo da função densidade de probabilidade é maior que a do lado direito e acontece o contrario para a litologia de Argila, tem a cauda do lado direito maior por ter uma assimetria negativa.

Se no lugar do histograma usarmos a curva de partição (histograma acumulado, a curva de linha na figura 45(b)), então poderemos fazer leituras estimadas da probabilidade que as reservas superem um determinado valor de significado estatístico e tenha impacto econômico.

É exemplo disto, a prática de avaliação da incerteza utilizada na indústria petrolífera (ref.), com a definição de dois valores, P10 e P90, correspondendo eles respectivamente, ao decil a 10% e o decil a 90% e com o significado de representarem respectivamente do cenário pessimista (P10) e o cenário otimista (P90) das reservas em Calcário associadas a medida de probabilidade a 10% e a 90%, respectivamente de esses valores (cenários) não serem superados.

O processo para a determinação de P10 e P90 é ilustrado na figura 45(b). Os valores P10 e P90 foram obtidos por intermédio de interpolação linear dos valores das classes e das frequências do histograma, conforme se pode ver na figura

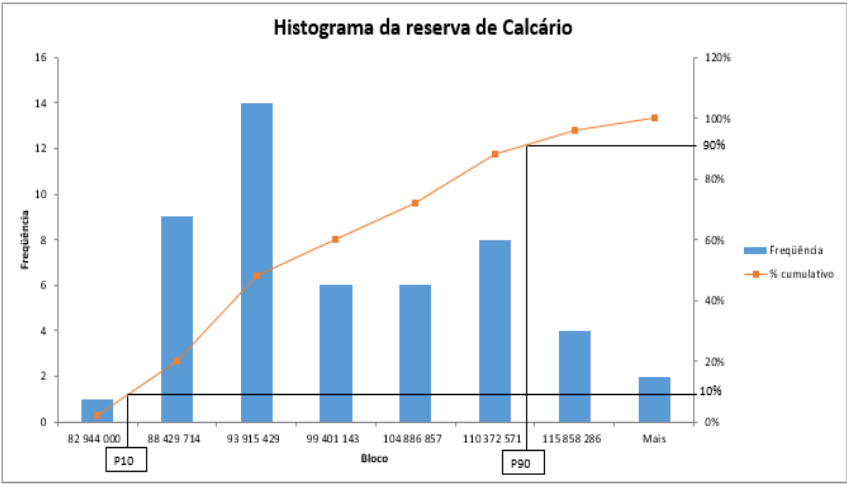


Figura 45 (b): Histograma da reserva de Calcário

Tabela 17: P10 (cenário péssimo) e P90 (cenário ótimo)

	valor mínimo a 10%			valor máximo a 90%	
	reserva em m³	%		reserva em m³	%
	82 944 000	2%		110 372 571	88%
	88 429 714	20%		115 858 286	96%
P10	85 382 095	8%	P90	111 744 000	2%

Com esta análise viu-se que os resultados obtidos indicam as incertezas na tomada de decisão, em que o risco é maior se a decisão for explorar a reserva acima ou igual a 90%, a reserva até pode ser maior mas a incerteza também é maior, por sugestão a decisão mais cuidadosa e provavelmente mais segura é a escolha do valor mínimo de 10%.

CONCLUSÕES

Actualmente os modelos geostatísticos aplicados a variáveis indicadoras estão a tornar-se cada vez mais populares nas ciências da terra para estimativa, mapeamento e simulação estocástica de dados geológicos categóricos, muito porque a geometria desses corpos geológicos é responsável por uma boa parte da incerteza associada a sua distribuição.

Assim como o uso do variograma pode ser construído como medida da continuidade espacial, onde a covariância não existe (GOOVAERTS, 1996), este caso de modelagem de variáveis categóricas mostra que o uso da probabilidade de transição pode facilitar a construção do modelo de variograma na direcção vertical, cujo variograma experimental se mostrava difícil de construir.

viu-se que os modelos de simulação estocástica, buscam fundamentalmente reproduzir a imagem da "realidade" e a continuidade espacial revelada nos variogramas (SOARES, 2006). E a simulação sequencial da indicatriz é um instrumento imprescindível para o planeamento conservacionista de precisão, pois é eficiente na definição dos limites entre as unidades de mapeamento, ela reproduz e representa com maior confiança os resultados da distribuição espacial (JOÃO JUNIOR, 2014).

Viu-se ainda que estes modelos são baseados num formalismo probabilístico e provam ser os mais adequados para descrever a heterogeneidade espacial dos atributos categóricos, esta técnica é a mais indicada, pois permite visualizar um conjunto de imagens diferentes, igualmente prováveis da distribuição espacial dos principais atributos (MATHERON et al., 1987; JOURNAL; ALABERT, 1988; PEREZ; JOURNAL, 1990; GOOVAERTS, 1996).

Com isso viu-se que o morro do Sequele está litologicamente caracterizado por três tipos de litologias que são: calcário, argila e areia, conseguiu-se estatisticamente conhecer a extensão ou a proporção em diferentes níveis de profundidade de cada uma da litologia.

Dentre os três tipos, viu-se que a litologia de calcário encontra-se em maior proporção em diferentes níveis de profundidade, isso mostrou que a zona em estudo (morro do Sequele) é uma zona rica em calcário que é um dos principais índices geológico-mineiro na procura de zonas apropriadas para implementação de projecto de exploração industrial deste recurso mineral "Calcário" que pode ser utilizado como matéria prima para fabricação de diversos produtos, tais como: o cimento, e etc.

RECOMENDAÇÕES

De acordo com o trabalho realizado e tendo-se constatado uma diversidade de situações recorrentes com problemas relacionados ao estudo, recomenda-se o seguinte:

- ❖ Que faça-se um estudo geoquímico da zona em variáveis multivariadas para se conhecer a variabilidade de cada elemento dentro de cada litologia de forma a conhecer-se detalhadamente o que há em cada tipo de litologia.
- ❖ Indentificar dentro da litologia Calcário a distribuição espacial das sub-litologias, como o Calcário de alto teor de cálcio, Margas e outras.
- ❖ Fazer uma classificação triangular (ternária) diferente da que foi feita neste estudo.
- ❖ Usar técnicas diferentes que combinem os dados das litologias com os outros dados numéricos dos elementos químicos analisados para obter uma codificação e classificação dos dados mais integrada.
- ❖ Ajustar um modelo de continuidade espacial baseado nas probabilidades de transição e incorporá-lo no modelo de simulação. Este modelo de continuidade não está disponível no software SgeMs que teria de ser desenvolvido um algoritmo específico para este caso.
- ❖ O novo formalismo da geoestatística tem sido o uso de modelos de simulação estocástica, por esta razão recomenda-se ao Departamento de Engenharia de Minas a implementação das matérias ligadas às cadeias de Markov e a simulação geoestatística e outras disciplinas afins do plano curricular de Eng.^a de Minas.
- ❖ Devido à demanda do mercado de quadros bem formados em Geoestatística e processamento, recomenda-se a criação de laboratórios de geoestatística e centros de treinamentos para desenvolver programas e habilidades que ajudam na resolução eficiente de problemas de interesse geológico-mineiros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Soares, A. (2006), "Geoestatística para as ciências da Terra e do Ambiente" (2006), Lisboa: Instituto Superior Técnico

Eckhardt, Roger (1987). "Stan Ulam, John von Neumann, and the Monte Carlo method" (PDF). Los Alamos Science (15): 131–137.

ALMEIDA J. A. Use of Geostatistical Models to Improve Reservoir Description and Flow Simulation in Heterogeneous Oil Fields. 1999. 177 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas) – Universidade Técnica de Lisboa - Instituto Superior Técnico, Lisboa, 1999.

DEUTSCH, C. V.; JOURNEL, A. G. GSLIB: Geostatistical software library and user's guide. New York: Oxford University Press, 1992, 340 p.

GOOVAERTS, P. Geostatistics for natural resources evaluation. New York: Oxford University Press, 1997. 483 p.

Eudrice Lopes e Nsingue Bimbe com o tema “Caracterização petrográfica e geoquímica das rochas carbonatadas da região do muqueque do Sequele e a sua aplicação industrial” (2008)

www.meteorologiaenred.com/pt/litologia.html

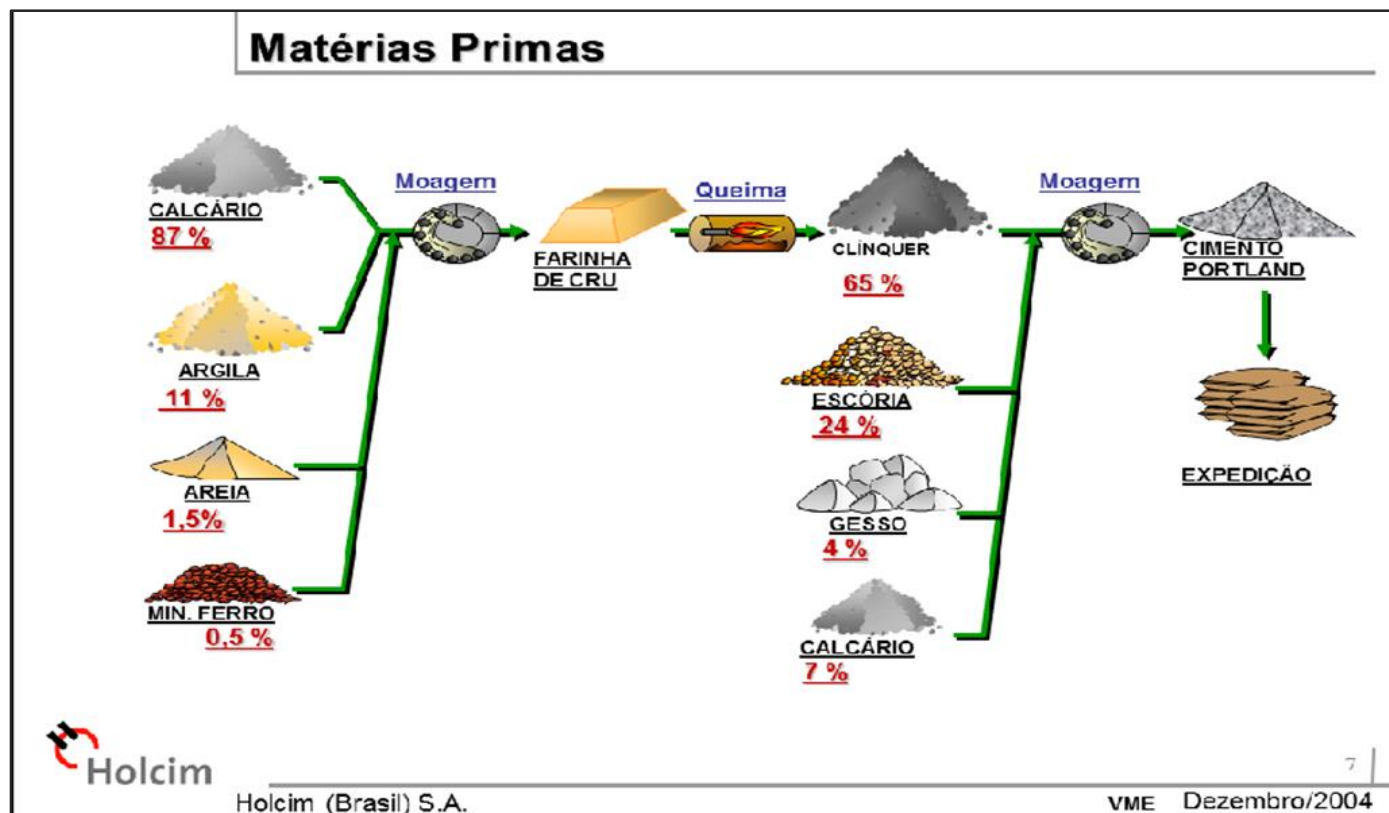
Ondine Evans (2009). Ambientes sedimentares. Museu Australiano Recuperado de australianmuseum.net.au

Frederick L. Schwab, Keith AW Crook e outros (2017). Rocha Sedimentar Encyclopædia Enciclopédia da Ciência. Ambiente Sedimentar Recuperado de science.jrank.org

PEREZ, V. S.; JOURNEL, A. G. Stochastic simulation of lithofacies for reservoir characterization. Stanford: Stanford Center for Reservoir Forecasting, 1990. 77 p.

ANEXOS

O Esquema ilustrativo da fabricação do cimento mostra uma das utilidades



Fonte: www.holcim.com









SHOT ON S15
itel DUAL CAMERA

APÊNDICE -A

Dados das amostras passados no excel e já convertidos

			COORDENADAS			ELEMENTOS CONTIDO NAS AMOSTRAS												CONVERTIDOS %			Soma		
			X	Y	Z	SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5	Cr2O3	LOI	H2O	Lito	SiO2	Al2O3	CaO	%
POÇO 1			122,80	1079,40	0,50	75,10	0,52	12,11	4,75	0,01	0,78	0,57	0,41	1,04	0,02	0,01	5,07	4,23	1,00	85,55	13,80	0,65	100,00
			122,80	1079,40	1,50	79,80	0,38	9,25	3,94	0,02	0,53	0,52	0,50	1,31	0,02	0,00	3,76	2,62	1,00	89,09	10,33	0,58	100,00
			122,80	1079,40	2,50	81,41	0,38	8,76	2,82	0,02	0,51	0,47	0,52	1,25	0,03	0,00	3,48	2,73	1,00	89,82	9,66	0,52	100,00
			122,80	1079,40	3,30	79,77	0,43	9,81	3,54	0,02	0,61	0,55	0,48	1,05	0,03	0,01	4,09	3,18	1,00	88,51	10,88	0,61	100,00
			122,80	1079,40	3,75	3,37	0,03	0,57	0,37	0,01	0,48	52,73	0,09	0,01	0,09	0,00	41,88	0,40	2,00	5,95	1,01	93,05	100,00
			122,80	1079,40	4,35	1,97	0,02	0,18	0,23	0,01	0,49	53,82	0,05	0,01	0,07	0,00	42,66	0,21	2,00	3,52	0,32	96,16	100,00
			122,80	1079,40	5,35	2,20	0,02	0,30	0,15	0,01	0,46	54,08	0,08	0,01	0,04	0,00	42,35	0,26	2,00	3,89	0,53	95,58	100,00
			122,80	1079,40	6,45	2,12	0,02	0,32	0,29	0,01	0,49	53,86	0,07	0,01	0,06	0,00	42,43	0,31	2,00	3,77	0,57	95,67	100,00
			122,80	1079,40	7,75	1,77	0,02	0,16	0,10	0,00	0,44	54,19	0,06	0,01	0,07	0,00	42,61	0,26	2,00	3,15	0,29	96,56	100,00
			122,80	1079,40	9,25	1,69	0,02	0,30	0,13	0,00	0,52	54,10	0,16	0,01	0,12	0,00	42,65	0,33	2,00	3,01	0,53	96,45	100,00
			122,80	1079,40	11,00	2,11	0,02	0,33	0,14	0,00	0,50	54,01	0,06	0,01	0,09	0,00	42,40	0,32	2,00	3,74	0,58	95,68	100,00
			122,80	1079,40	12,50	2,68	0,03	0,58	0,25	0,00	1,01	52,64	0,08	0,01	0,04	0,00	42,27	0,33	2,00	4,79	1,04	94,17	100,00
			122,80	1079,40	13,75	1,25	0,02	0,18	0,13	0,00	0,84	53,91	0,05	0,01	0,06	0,00	43,11	0,29	2,00	2,26	0,33	97,42	100,00
			122,80	1079,40	16,25	3,20	0,02	0,18	0,14	0,00	1,00	52,24	0,21	0,01	0,06	0,00	42,37	0,28	2,00	5,75	0,32	93,92	100,00
			122,80	1079,40	18,35	1,76	0,02	0,27	0,14	0,00	1,36	53,13	0,09	0,01	0,05	0,00	42,90	0,27	2,00	3,19	0,49	96,32	100,00
			122,80	1079,40	18,95	2,04	0,02	0,40	0,18	0,00	4,43	48,86	0,02	0,01	0,05	0,00	43,67	0,35	2,00	3,98	0,78	95,24	100,00
			122,80	1079,40	19,60	2,52	0,03	0,63	0,22	0,01	6,03	46,48	0,09	0,01	0,06	0,00	43,51	0,50	2,00	5,08	1,27	93,65	100,00
			122,80	1079,40	20,45	2,22	0,03	0,52	0,30	0,00	4,76	48,28	0,03	0,01	0,06	0,00	43,41	0,34	2,00	4,35	1,02	94,63	100,00
			122,80	1079,40	21,45	1,20	0,02	0,17	0,11	0,00	3,34	50,97	0,03	0,01	0,09	0,00	43,72	0,27	2,00	2,29	0,32	97,38	100,00
			122,80	1079,40	22,50	2,81	0,02	0,32	0,15	0,00	6,02	46,63	0,02	0,01	0,11	0,00	43,56	0,36	2,00	5,65	0,64	93,71	100,00
		122,80	1079,40	23,50	1,76	0,02	0,28	0,13	0,00	3,94	49,70	0,08	0,01	0,11	0,00	43,62	0,31	2,00	3,40	0,54	96,06	100,00	
		122,80	1079,40	24,50	2,25	0,03	0,32	0,16	0,00	2,80	50,94	0,05	0,02	0,11	0,00	43,00	0,23	2,00	4,20	0,60	95,20	100,00	
		122,80	1079,40	25,50	5,15	0,06	0,98	0,40	0,01	3,65	47,58	0,09	0,05	0,09	0,00	41,55	0,54	2,00	9,59	1,82	88,59	100,00	
		122,80	1079,40	26,50	6,59	0,08	1,48	0,56	0,01	3,87	46,22	0,14	0,15	0,11	0,00	40,46	0,77	2,00	12,14	2,73	85,14	100,00	
		1000,00	632,40	1,25	51,90	0,98	18,58	9,45	0,02	2,41	2,90	0,45	3,00	0,15	0,04	9,45	6,30	3,00	70,73	25,32	3,95	100,00	

Dados do Poço 1 com 24 amostras

		122,80	1079,40	26,50	6,59	0,08	1,48	0,56	0,01	3,87	46,22	0,14	0,15	0,11	0,00	40,46	0,77	2,00		12,14	2,73	85,14	100,00
		1000,00	632,40	1,25	51,90	0,98	18,58	9,45	0,02	2,41	2,90	0,45	3,00	0,15	0,04	9,45	6,30	3,00		70,73	25,32	3,95	100,00
		1000,00	632,40	3,00	2,64	0,03	0,45	0,45	0,01	0,56	53,23	0,05	0,01	0,03	0,00	42,21	0,40	2,00		4,69	0,80	94,51	100,00
		1000,00	632,40	5,30	1,71	0,02	0,34	0,13	0,00	0,38	54,17	0,09	0,01	0,05	0,00	42,84	0,29	2,00		3,04	0,60	96,35	100,00
		1000,00	632,40	8,10	2,81	0,02	0,50	0,20	0,00	0,38	53,05	0,17	0,01	0,06	0,00	42,26	0,39	2,00		4,99	0,89	94,13	100,00
		1000,00	632,40	9,55	4,71	0,04	1,30	0,37	0,00	0,44	51,90	0,09	0,03	0,09	0,00	40,88	0,74	2,00		8,13	2,24	89,62	100,00
		1000,00	632,40	11,60	0,81	0,01	0,12	0,11	0,00	0,31	54,85	0,07	0,01	0,06	0,00	43,29	0,24	2,00		1,45	0,22	98,33	100,00
		1000,00	632,40	16,10	1,39	0,02	0,09	0,09	0,00	3,39	50,85	0,07	0,01	0,06	0,00	43,68	0,22	2,00		2,66	0,17	97,17	100,00
		1000,00	632,40	19,45	2,02	0,02	0,24	0,16	0,01	0,43	53,84	0,07	0,01	0,03	0,00	42,88	0,27	2,00		3,60	0,43	95,97	100,00
		1000,00	632,40	20,45	13,00	0,91	18,14	7,84	0,02	2,39	34,00	0,94	3,04	0,24	0,03	7,49	6,21	2,00		19,96	27,85	52,20	100,00
		1000,00	632,40	22,00	19,40	0,96	18,71	8,20	0,02	2,50	45,50	0,85	3,18	0,19	0,02	8,12	6,39	2,00		23,20	22,38	54,42	100,00
		1000,00	632,40	23,05	37,59	0,48	10,10	3,71	0,03	6,49	16,54	0,80	1,88	0,18	0,01	21,90	2,80	3,00		58,52	15,72	25,75	100,00
		1000,00	632,40	23,25	18,92	0,19	4,05	1,39	0,01	3,23	37,00	0,32	0,54	0,15	0,00	33,54	1,02	2,00		31,55	6,75	61,70	100,00
		1000,00	632,40	23,60	46,91	0,64	11,26	6,06	0,03	4,06	11,48	1,18	2,29	0,26	0,01	15,35	2,90	3,00		67,35	16,17	16,48	100,00
		1000,00	632,40	24,00	23,00	0,30	5,83	1,08	0,03	3,87	39,60	0,74	1,08	0,15	0,00	27,44	1,14	2,00		33,61	8,52	57,87	100,00
		1000,00	632,40	24,35	58,16	0,91	17,72	7,70	0,02	2,49	1,21	1,01	3,07	0,19	0,02	7,56	5,64	3,00		75,44	22,99	1,57	100,00
POÇO2		1000,00	632,40	25,10	12,20	0,96	18,41	8,98	0,03	2,91	43,20	0,64	3,14	0,16	0,02	8,29	7,31	2,00		16,53	24,94	58,53	100,00
		1000,00	632,40	25,85	54,23	0,90	17,67	8,74	0,02	2,82	2,41	0,55	2,81	0,16	0,02	9,48	7,51	3,00		72,98	23,78	3,24	100,00
		1000,00	632,40	26,25	21,10	0,90	17,34	8,78	0,03	2,99	54,20	0,61	2,88	0,16	0,02	9,38	7,63	2,00		22,78	18,72	58,51	100,00
		1000,00	632,40	26,65	16,30	0,82	15,65	7,23	0,04	2,79	43,20	0,84	3,13	0,23	0,02	14,15	5,72	2,00		21,69	20,83	57,49	100,00
		1000,00	632,40	27,00	16,02	0,79	15,72	7,39	0,03	5,04	39,10	0,52	2,58	0,25	0,02	15,16	6,63	2,00		22,61	22,19	55,19	100,00
		1000,00	632,40	27,45	53,39	0,91	18,18	8,45	0,02	3,03	2,59	0,76	3,01	0,22	0,02	9,21	6,89	3,00		71,99	24,51	3,49	100,00
		1000,00	632,40	27,85	52,07	0,87	17,11	7,79	0,02	3,08	3,83	0,80	2,87	0,22	0,03	10,81	6,58	3,00		71,32	23,44	5,25	100,00
		1000,00	632,40	28,35	15,87	0,24	5,71	2,12	0,03	2,03	40,56	0,20	0,64	0,10	0,00	31,65	1,66	2,00		25,54	9,19	65,27	100,00
		1000,00	632,40	30,50	13,38	0,19	4,56	1,78	0,02	1,98	43,44	0,16	0,37	0,13	0,00	33,03	1,11	2,00		21,80	7,43	70,77	100,00
		1000,00	632,40	32,80	11,24	0,89	17,60	8,40	0,04	2,95	48,86	0,87	3,28	0,17	0,02	13,16	6,15	2,00		14,47	22,65	62,88	100,00
		1000,00	632,40	33,65	21,10	0,80	16,45	7,50	0,04	3,18	38,82	0,67	2,99	0,19	0,02	14,49	5,23	2,00		27,63	21,54	50,83	100,00
		1000,00	632,40	34,40	23,40	0,89	17,55	8,37	0,03	3,05	51,10	0,55	2,90	0,22	0,02	10,14	7,29	2,00		25,42	19,07	55,51	100,00
		1000,00	632,40	35,15	15,80	0,91	18,09	7,69	0,02	2,59	49,60	0,85	3,08	0,23	0,02	7,62	7,34	2,00		18,92	21,67	59,41	100,00
		1000,00	632,40	35,65	54,62	0,95	18,62	8,35	0,04	2,85	1,71	0,65	3,08	0,21	0,02	8,56	6,96	2,00		72,88	24,84	2,28	100,00
		1000,00	632,40	35,95	26,40	0,93	18,10	8,64	0,04	2,84	45,10	0,81	3,44	0,17	0,02	12,62	5,96	2,00		29,46	20,20	50,33	100,00
		1000,00	632,40	36,35	48,24	0,83	16,36	7,66	0,03	3,02	5,62	0,94	3,09	0,17	0,02	13,58	5,39	3,00		68,70	23,30	8,00	100,00
		1000,00	632,40	37,00	35,66	0,51	10,21	5,94	0,03	3,72	50,50	0,85	1,81	0,58	0,01	20,33	2,74	2,00		37,00	10,59	52,40	100,00
		1000,00	632,40	37,60	14,94	0,21	5,08	1,89	0,02	2,09	41,42	0,23	0,53	0,11	0,00	32,63	1,20	2,00		24,32	8,27	67,42	100,00
		1469,60	469,20	2,25	1,66	0,02	0,57	0,17	0,01	0,27	54,56	0,13	0,01	0,03	0,00	42,09	0,22	2,00		2,92	1,00	96,07	100,00

Dados do Poço 2 com 33 amostras

			1000,00	632,40	37,60	14,94	0,21	5,08	1,89	0,02	2,09	41,42	0,23	0,53	0,11	0,00	32,63	1,20	2,00		24,32	8,27	67,42	100,00
			1469,60	469,20	2,25	1,66	0,02	0,57	0,17	0,01	0,27	54,56	0,13	0,01	0,03	0,00	42,09	0,22	2,00		2,92	1,00	96,07	100,00
			1469,60	469,20	5,40	1,56	0,01	0,12	0,09	0,01	0,31	55,22	0,05	0,01	0,04	0,00	42,04	0,10	2,00		2,74	0,21	97,05	100,00
			1469,60	469,20	7,00	0,69	0,01	0,10	0,10	0,01	0,27	54,88	0,06	0,01	0,04	0,00	43,41	0,24	2,00		1,24	0,18	98,58	100,00
			1469,60	469,20	8,35	4,31	0,04	0,53	0,27	0,01	0,51	57,46	0,10	0,02	0,09	0,00	36,34	0,34	2,00		6,92	0,85	92,23	100,00
			1469,60	469,20	11,15	39,78	0,78	5,96	2,28	0,03	0,71	31,85	0,63	1,09	0,27	0,00	25,43	1,29	2,00		51,27	7,68	41,05	100,00
			1469,60	469,20	13,40	22,86	0,23	5,04	1,85	0,02	0,75	37,83	0,38	0,64	0,14	0,00	29,74	1,36	2,00		34,78	7,67	57,55	100,00
			1469,60	469,20	13,60	19,28	0,19	4,11	0,91	0,02	0,62	40,81	0,38	0,61	0,13	0,00	32,58	0,87	2,00		30,03	6,40	63,57	100,00
			1469,60	469,20	13,80	61,98	0,86	15,97	7,82	0,02	1,82	0,97	1,12	3,01	0,13	0,02	5,79	5,79	3,00		78,54	20,24	1,23	100,00
			1469,60	469,20	13,95	44,10	0,54	10,58	4,50	0,02	1,35	18,05	0,91	2,09	0,35	0,01	17,05	3,53	2,00		60,64	14,55	24,82	100,00
			1469,60	469,20	14,05	18,09	0,21	4,73	1,85	0,01	1,01	39,81	0,39	0,51	0,15	0,00	32,76	1,71	2,00		28,88	7,55	63,56	100,00
			1469,60	469,20	14,25	5,34	0,06	1,43	0,56	0,01	1,06	50,02	0,14	0,13	0,12	0,00	40,54	0,59	2,00		9,40	2,52	88,08	100,00
			1469,60	469,20	14,55	13,55	0,17	4,13	1,52	0,03	0,98	42,98	0,23	0,64	0,10	0,00	35,31	1,47	2,00		22,34	6,81	70,85	100,00
			1469,60	469,20	14,75	56,44	0,97	19,05	8,42	0,03	2,44	1,25	0,79	3,24	0,22	0,03	7,29	2,27	2,00		73,55	24,82	1,63	100,00
			1469,60	469,20	14,85	55,29	0,87	16,02	7,39	0,04	2,41	4,14	1,03	3,36	0,27	0,02	8,41	5,37	2,00		73,28	21,23	5,49	100,00
			1469,60	469,20	14,95	26,40	0,43	9,93	5,04	0,02	1,37	39,72	0,44	1,63	0,14	0,01	11,17	13,65	2,00		34,71	13,06	52,23	100,00
			1469,60	469,20	15,09	23,75	0,42	8,98	3,78	0,04	8,59	23,08	0,36	1,32	0,15	0,01	28,94	3,49	3,00		42,56	16,09	41,35	100,00
			1469,60	469,20	15,24	36,84	0,71	14,17	6,36	0,18	7,04	11,72	0,43	2,57	0,18	0,02	19,29	5,00	3,00		58,73	22,59	18,68	100,00
		POÇO3	1469,60	469,20	15,65	51,64	1,07	20,26	9,83	0,03	2,74	1,03	0,62	3,51	0,28	0,02	8,03	6,23	3,00		70,81	27,78	1,41	100,00
			1469,60	469,20	16,50	15,86	0,26	5,47	1,83	0,01	0,83	61,06	0,28	0,89	0,07	0,00	8,27	16,04	2,00		19,25	6,64	74,11	100,00
			1469,60	469,20	17,50	11,30	0,16	3,93	1,45	0,03	1,35	44,19	0,17	0,42	0,08	0,00	36,51	1,48	2,00		19,02	6,61	74,37	100,00
			1469,60	469,20	18,50	15,30	0,57	12,06	4,88	0,02	1,58	49,40	0,64	2,19	0,11	0,01	17,05	3,93	2,00		19,93	15,71	64,36	100,00
			1469,60	469,20	19,50	13,16	0,22	4,71	2,02	0,04	13,69	34,60	0,10	0,41	0,09	0,00	36,96	1,27	2,00		25,08	8,98	65,94	100,00
			1469,60	469,20	20,25	21,10	1,11	20,32	6,97	0,02	2,33	43,90	0,79	3,37	0,09	0,02	10,43	7,43	2,00		24,73	23,82	51,45	100,00
			1469,60	469,20	20,95	14,56	0,22	5,52	2,15	0,02	2,36	40,50	0,23	0,52	0,10	0,00	33,14	1,57	2,00		24,03	9,11	66,85	100,00
			1469,60	469,20	21,75	17,40	0,67	13,10	5,96	0,03	6,45	39,98	0,81	2,57	0,20	0,01	16,98	4,31	2,00		24,69	18,59	56,73	100,00
			1469,60	469,20	22,50	25,10	0,93	18,47	8,41	0,03	3,07	48,80	0,68	3,19	0,17	0,02	13,90	5,78	2,00		27,17	20,00	52,83	100,00
			1469,60	469,20	23,15	19,20	0,51	10,32	5,34	0,02	1,94	49,10	0,64	1,84	0,48	0,02	33,12	2,65	2,00		24,42	13,13	62,45	100,00
			1469,60	469,20	23,65	15,37	0,22	5,47	2,00	0,03	3,97	51,82	0,22	0,67	0,12	0,00	19,45	4,89	2,00		21,15	7,53	71,32	100,00
			1469,60	469,20	24,40	21,10	0,52	11,32	4,89	0,06	5,15	43,90	0,50	1,87	0,15	0,01	23,87	3,67	2,00		27,65	14,83	57,52	100,00
			1469,60	469,20	25,00	16,90	0,61	13,28	5,87	0,03	4,05	48,30	0,70	2,22	0,30	0,02	21,13	5,02	2,00		21,53	16,92	61,54	100,00
			1469,60	469,20	25,35	45,87	0,93	17,86	8,35	0,04	3,04	5,17	0,97	3,46	0,23	0,03	13,22	6,61	3,00		66,57	25,92	7,50	100,00
			1469,60	469,20	26,10	14,70	0,92	18,04	8,25	0,04	3,01	51,12	0,99	3,35	0,25	0,03	13,35	7,02	2,00		17,53	21,51	60,96	100,00
			1469,60	469,20	26,85	26,12	0,55	11,48	5,50	0,03	5,26	45,90	0,63	2,03	0,37	0,02	21,97	4,11	2,00		31,28	13,75	54,97	100,00
			1469,60	469,20	27,85	36,46	0,70	14,20	6,26	0,18	6,91	11,61	0,42	2,58	0,17	0,01	19,92	4,40	3,00		58,55	22,80	18,64	100,00
			1469,60	469,20	28,14	12,19	0,18	4,30	1,63	0,02	3,21	41,97	0,17	0,51	0,10	0,00	34,84	1,58	2,00		20,85	7,36	71,79	100,00
			1469,60	469,20	28,64	16,20	0,79	16,26	7,36	0,04	4,03	48,78	0,80	3,07	0,21	0,02	16,35	5,91	2,00		19,94	20,01	60,04	100,00
			0,00	571,20	1,00	79,93	0,39	9,51	4,57	0,01	0,19	0,29	0,19	0,48	0,02	0,01	4,14	1,87	1,00		89,08	10,60	0,32	100,00

Dados do Poço 3 com 36 amostras

		1469,60	469,20	28,64	16,20	0,79	16,26	7,36	0,04	4,03	48,78	0,80	3,07	0,21	0,02	16,35	5,91	2,00		19,94	20,01	60,04	100,00
		0,00	571,20	1,00	79,93	0,39	9,51	4,57	0,01	0,19	0,29	0,19	0,48	0,02	0,01	4,14	1,87	1,00		89,08	10,60	0,32	100,00
		0,00	571,20	2,70	83,76	0,38	7,91	3,14	0,01	0,29	0,25	0,27	0,66	0,02	0,00	3,32	2,71	1,00		91,12	8,61	0,27	100,00
		0,00	571,20	3,83	78,72	0,50	10,37	3,93	0,01	0,43	0,41	0,38	0,91	0,02	0,01	4,04	4,04	1,00		87,96	11,59	0,46	100,00
		0,00	571,20	4,28	82,23	0,36	7,87	4,63	0,01	0,27	0,24	0,26	0,58	0,02	0,00	3,29	2,61	1,00		91,02	8,71	0,27	100,00
		0,00	571,20	4,80	63,61	0,71	16,50	6,69	0,02	1,52	0,84	1,16	1,95	0,05	0,01	6,41	7,99	3,00		78,58	20,38	1,04	100,00
		0,00	571,20	5,80	66,38	0,69	17,09	6,17	0,02	1,32	0,67	0,51	1,82	0,05	0,01	6,23	6,98	3,00		78,89	20,31	0,80	100,00
		0,00	571,20	7,42	2,51	0,03	0,62	0,48	0,01	0,74	53,04	0,07	0,01	0,09	0,00	42,01	0,59	2,00		4,47	1,10	94,43	100,00
		0,00	571,20	9,27	2,26	0,03	0,59	0,31	0,02	0,50	53,42	0,06	0,01	0,04	0,00	42,30	0,39	2,00		4,02	1,05	94,94	100,00
		0,00	571,20	12,15	1,00	0,02	0,22	0,17	0,00	0,37	54,19	0,03	0,01	0,14	0,00	43,29	0,25	2,00		1,80	0,40	97,80	100,00
		0,00	571,20	15,15	2,08	0,02	0,27	0,24	0,01	0,43	54,04	0,09	0,01	0,04	0,00	42,41	0,45	2,00		3,69	0,48	95,83	100,00
POÇO 4		0,00	571,20	20,50	1,29	0,02	0,22	0,15	0,01	0,38	54,78	0,09	0,01	0,03	0,00	42,55	0,32	2,00		2,29	0,39	97,32	100,00
		0,00	571,20	28,00	2,50	0,02	0,27	0,16	0,00	0,84	53,50	0,14	0,01	0,06	0,00	42,24	0,37	2,00		4,44	0,48	95,08	100,00
		0,00	571,20	35,80	1,05	0,02	0,18	0,14	0,00	1,02	54,10	0,08	0,01	0,05	0,00	42,99	0,26	2,00		1,90	0,33	97,78	100,00
		0,00	571,20	42,80	1,71	0,02	0,27	0,17	0,00	1,37	53,02	0,03	0,01	0,03	0,00	43,09	0,26	2,00		3,11	0,49	96,40	100,00
		0,00	571,20	46,00	1,93	0,03	0,39	0,23	0,00	4,29	49,28	0,06	0,01	0,12	0,00	43,35	0,00	2,00		3,74	0,76	95,50	100,00
		0,00	571,20	47,25	1,04	0,02	0,19	0,16	0,00	0,97	53,09	0,13	0,01	0,11	0,00	43,30	0,22	2,00		1,91	0,35	97,74	100,00
		0,00	571,20	50,75	1,49	0,02	0,21	0,16	0,00	3,42	50,57	0,14	0,01	0,07	0,00	43,58	0,00	2,00		2,85	0,40	96,75	100,00
		0,00	571,20	56,00	1,97	0,02	0,26	0,19	0,00	0,81	53,45	0,14	0,01	0,04	0,00	42,83	0,00	2,00		3,54	0,47	95,99	100,00
		0,00	571,20	59,00	1,81	0,02	0,16	0,21	0,01	5,23	66,43	0,03	0,01	0,10	0,00	25,21	0,17	2,00		2,65	0,23	97,12	100,00
		0,00	571,20	71,80	9,73	0,11	1,84	0,72	0,02	1,35	47,20	0,24	0,24	0,22	0,00	37,54	0,00	2,00		16,56	3,13	80,31	100,00
		0,00	571,20	74,05	39,26	0,56	10,65	4,57	0,03	5,57	14,35	0,62	2,03	0,22	0,01	21,41	0,00	2,00		61,10	16,57	22,33	100,00
		0,00	571,20	75,25	46,34	0,88	17,19	8,24	0,04	2,51	4,39	0,58	2,93	0,14	0,02	16,27	0,00	2,00		68,23	25,31	6,46	100,00
		0,00	571,20	77,40	43,05	0,80	16,55	7,14	0,04	3,16	5,93	0,51	2,81	0,23	0,02	19,11	0,00	2,00		65,70	25,26	9,05	100,00
		326,40	326,40	2,50	78,70	0,55	9,32	5,10	0,02	0,14	0,13	0,15	0,43	0,02	0,01	5,16	0,00	1,00		89,28	10,57	0,15	100,00

Dados do Poço 4 com 23 amostras

		0,00	571,20	77,40	43,05	0,80	16,55	7,14	0,04	3,16	5,93	0,51	2,81	0,23	0,02	19,11	0,00	2,00		65,70	25,26	9,05	100,00
		326,40	326,40	2,50	78,70	0,55	9,32	5,10	0,02	0,14	0,13	0,15	0,43	0,02	0,01	5,16	0,00	1,00		89,28	10,57	0,15	100,00
		326,40	326,40	6,75	57,64	0,74	16,69	5,54	0,02	1,60	0,89	0,80	2,31	0,04	0,01	13,52	0,00	3,00		76,63	22,19	1,18	100,00
		326,40	326,40	10,00	2,84	0,03	0,48	0,77	0,01	0,62	52,47	0,13	0,01	0,07	0,00	42,24	0,00	2,00		5,09	0,86	94,05	100,00
		326,40	326,40	11,75	2,36	0,02	0,37	0,59	0,01	0,43	52,92	0,05	2,00	0,07	0,00	42,56	0,39	2,00		4,24	0,66	95,09	100,00
		326,40	326,40	14,10	2,76	0,03	0,67	0,34	0,01	0,56	52,15	0,16	0,01	0,03	0,00	42,18	0,57	2,00		4,97	1,21	93,83	100,00
		326,40	326,40	18,10	6,12	0,07	1,70	0,89	0,01	0,78	49,45	0,16	0,07	0,10	0,00	39,94	1,02	2,00		10,69	2,97	86,35	100,00
		326,40	326,40	20,50	3,21	0,04	0,80	0,39	0,01	2,69	50,41	0,07	0,01	0,08	0,00	41,65	0,84	2,00		5,90	1,47	92,63	100,00
		326,40	326,40	24,50	3,43	0,03	0,69	0,28	0,00	3,69	49,13	0,06	0,02	0,08	0,00	42,11	0,69	2,00		6,44	1,30	92,26	100,00
		326,40	326,40	29,25	1,90	0,02	0,27	0,18	0,00	0,54	53,42	0,05	0,01	0,10	0,00	42,85	0,23	2,00		3,42	0,49	96,10	100,00
		326,40	326,40	32,25	1,15	0,02	0,14	0,14	0,00	0,42	54,74	0,06	0,01	0,03	0,00	42,64	0,47	2,00		2,05	0,25	97,70	100,00
POÇO 5		326,40	326,40	34,50	1,44	0,02	0,31	0,15	0,00	1,78	51,62	0,08	0,01	0,04	0,00	43,39	0,31	2,00		2,70	0,58	96,72	100,00
		326,40	326,40	37,80	1,02	0,02	0,18	0,13	0,00	2,42	51,90	0,03	0,01	0,04	0,00	43,82	0,32	2,00		1,92	0,34	97,74	100,00
		326,40	326,40	43,80	0,87	0,02	0,18	0,16	0,00	0,99	53,50	0,06	0,01	0,03	0,00	43,42	0,25	2,00		1,59	0,33	98,08	100,00
		326,40	326,40	47,50	0,98	0,02	0,16	0,11	0,00	1,57	52,56	0,13	0,01	0,05	0,00	43,58	0,26	2,00		1,82	0,30	97,88	100,00
		326,40	326,40	49,50	1,49	0,02	0,31	0,17	0,00	1,67	52,37	0,05	0,01	0,07	0,00	43,24	0,25	2,00		2,75	0,57	96,68	100,00
		326,40	326,40	52,75	1,56	0,02	0,38	0,21	0,00	6,72	46,86	0,01	0,01	0,11	0,00	43,77	0,39	2,00		3,20	0,78	96,02	100,00
		326,40	326,40	56,25	3,86	0,04	0,99	0,46	0,00	0,67	52,01	0,08	0,02	0,04	0,00	41,19	0,77	2,00		6,79	1,74	91,47	100,00
		326,40	326,40	59,50	1,24	0,02	0,29	0,17	0,00	4,88	48,83	0,01	0,01	0,06	0,00	44,14	0,31	2,00		2,46	0,58	96,96	100,00
		326,40	326,40	64,00	1,08	0,02	0,20	0,12	0,00	2,30	52,40	0,07	0,01	0,12	0,00	43,22	0,33	2,00		2,01	0,37	97,62	100,00
		326,40	326,40	68,50	0,99	0,02	0,13	0,13	0,00	2,29	53,11	0,04	0,01	0,08	0,00	42,76	0,28	2,00		1,83	0,24	97,93	100,00
		326,40	326,40	72,50	1,23	0,02	0,18	0,13	0,00	1,26	54,59	0,07	0,01	0,08	0,00	41,99	0,26	2,00		2,20	0,32	97,48	100,00
		326,40	326,40	76,50	1,46	0,02	0,30	0,17	0,00	3,86	50,16	0,01	0,01	0,08	0,00	43,52	0,33	2,00		2,81	0,58	96,61	100,00
		326,40	326,40	79,00	1,40	0,02	0,28	0,17	0,00	3,64	50,85	0,02	0,01	0,10	0,00	43,02	0,40	2,00		2,67	0,53	96,80	100,00
		1000,00	0,00	2,85	73,00	0,67	14,23	4,97	0,01	0,48	0,45	0,35	1,04	0,02	0,01	5,28	4,00	1,00		83,26	16,23	0,51	100,00

Dados do Poço 5 com 23 amostras

		1000,00	0,00	2,85	73,00	0,67	14,23	4,97	0,01	0,48	0,45	0,35	1,04	0,02	0,01	5,28	4,00	1,00		83,26	16,23	0,51	100,00
		1000,00	0,00	6,35	72,50	0,65	13,83	4,95	0,02	0,96	0,62	0,97	1,86	0,03	0,01	4,49	5,01	1,00		83,38	15,91	0,71	100,00
		1000,00	0,00	7,75	62,45	0,75	17,73	6,83	0,02	1,61	0,84	0,63	2,22	0,05	0,01	6,47	6,72	3,00		77,08	21,88	1,04	100,00
		1000,00	0,00	8,80	60,85	0,73	19,57	6,38	0,02	1,91	0,88	0,52	2,08	0,05	0,01	7,11	8,36	3,00		74,85	24,07	1,08	100,00
		1000,00	0,00	9,40	55,21	0,17	2,13	1,25	0,01	0,23	22,18	0,40	0,59	0,08	0,00	17,52	0,70	3,00		69,43	2,68	27,89	100,00
		1000,00	0,00	12,75	3,14	0,04	0,70	0,58	0,01	0,47	53,26	0,07	0,03	0,09	0,00	41,12	0,63	2,00		5,50	1,23	93,27	100,00
		1000,00	0,00	16,50	9,06	0,09	1,84	1,37	0,01	0,61	48,23	0,27	0,30	0,12	0,00	37,83	0,93	2,00		15,32	3,11	81,57	100,00
		1000,00	0,00	17,60	6,05	0,07	1,68	0,79	0,01	0,45	50,44	0,10	0,10	0,02	0,00	39,83	0,96	2,00		10,40	2,89	86,71	100,00
		1000,00	0,00	19,00	2,49	0,03	0,47	0,31	0,01	0,36	54,28	0,05	0,00	0,03	0,00	41,41	0,55	2,00		4,35	0,82	94,83	100,00
		1000,00	0,00	22,90	7,12	0,98	19,28	9,32	0,04	2,42	50,90	0,70	3,01	0,29	0,02	7,20	7,12	2,00		9,21	24,94	65,85	100,00
		1000,00	0,00	26,40	14,78	0,23	10,97	1,72	0,01	0,52	45,21	0,16	0,38	0,07	0,00	30,91	2,79	2,00		20,83	15,46	63,71	100,00
		1000,00	0,00	27,35	1,51	0,02	0,18	0,16	0,01	0,27	54,81	0,07	0,01	0,06	0,00	42,24	0,51	2,00		2,67	0,32	97,01	100,00
		1000,00	0,00	27,85	21,32	0,21	3,85	1,28	0,02	3,22	49,10	0,47	0,82	0,20	0,00	31,84	1,16	2,00		28,71	5,18	66,11	100,00
POÇO 6		1000,00	0,00	28,75	39,00	0,20	4,60	1,64	0,01	0,88	24,40	0,33	0,76	0,14	0,00	32,40	1,42	3,00		57,35	6,76	35,88	100,00
		1000,00	0,00	30,10	21,20	0,45	9,17	3,76	0,02	5,69	43,30	0,40	1,56	0,17	0,01	24,70	3,36	2,00		28,78	12,45	58,78	100,00
		1000,00	0,00	31,35	2,90	0,04	0,78	0,34	0,01	0,63	53,44	0,11	0,03	0,09	0,00	40,71	0,54	2,00		5,08	1,37	93,56	100,00
		1000,00	0,00	33,00	2,65	0,97	19,59	8,67	0,02	2,14	54,30	0,46	2,66	0,14	0,02	8,24	7,72	2,00		3,46	25,59	70,94	100,00
		1000,00	0,00	35,00	1,42	0,02	0,22	0,15	0,01	0,43	54,75	0,06	0,01	0,07	0,00	42,41	0,37	2,00		2,52	0,39	97,09	100,00
		1000,00	0,00	37,50	3,43	0,87	17,76	8,12	0,03	2,34	54,20	0,58	2,69	0,22	0,02	9,26	6,47	2,00		4,55	23,56	71,89	100,00
		1000,00	0,00	39,25	32,20	0,03	12,80	0,37	0,00	0,45	23,30	0,13	0,01	0,03	0,00	41,67	0,49	3,00		47,14	18,74	34,11	100,00
		1000,00	0,00	40,75	1,24	0,02	0,21	0,14	0,00	0,32	54,47	0,04	0,01	0,03	0,00	43,38	0,32	2,00		2,22	0,38	97,41	100,00
		1000,00	0,00	44,40	2,65	0,02	0,22	0,16	0,00	1,08	53,31	0,06	0,01	0,07	0,00	41,83	0,28	2,00		4,72	0,39	94,89	100,00
		1000,00	0,00	47,00	5,02	0,07	1,61	0,56	0,00	3,88	47,32	0,04	0,01	0,08	0,00	40,95	1,08	2,00		9,30	2,98	87,71	100,00
		1000,00	0,00	48,10	2,22	0,03	0,66	0,28	0,00	3,61	49,76	0,04	0,01	0,06	0,00	42,85	0,42	2,00		4,22	1,25	94,53	100,00
		1000,00	0,00	51,50	0,98	0,01	0,07	0,09	0,00	0,74	54,82	0,04	0,01	0,04	0,00	42,57	0,24	2,00		1,75	0,13	98,12	100,00
		1000,00	0,00	55,00	1,18	0,02	0,24	0,11	0,00	6,30	48,40	0,01	0,01	0,12	0,00	43,12	0,35	2,00		2,37	0,48	97,15	100,00
		1000,00	0,00	57,50	0,76	0,01	0,04	0,09	0,00	1,65	53,94	0,06	0,01	0,12	0,00	42,72	0,47	2,00		1,39	0,07	98,54	100,00
		1000,00	0,00	61,75	0,83	0,02	0,18	0,13	0,00	2,36	51,55	0,05	0,01	0,06	0,00	43,64	0,18	2,00		1,58	0,34	98,08	100,00
		1000,00	0,00	66,50	1,11	0,02	0,23	0,15	0,00	3,31	51,65	0,05	0,01	0,10	0,00	42,87	0,40	2,00		2,09	0,43	97,47	100,00
		1000,00	0,00	69,25	0,87	0,01	0,08	0,11	0,00	0,68	54,19	0,09	0,01	0,04	0,00	42,69	0,34	2,00		1,58	0,15	98,28	100,00

Dados do Poço 6 com 30 amostras

