

## **Probabilidade condicionada aplicada à definição de tipologias geoquímicas em maciços calcários – uma nova proposta metodológica**

Conditional probability applied to the definition of geochemical types in calcareous formations – a new methodological approach

MEIXEDO, J. P.<sup>1</sup>

### **Abstract**

A new method, based on linear correlation and phase diagrams was successfully developed for processes like the sedimentary process, where the deposition phase can have different time duration – represented by repeated values in a series – and where the erosion can play an important role deleting values of a series. The sampling process itself can be the cause of repeated values – large strata twice sampled – or deleted values: tiny strata fitted between two consecutive samples. What we developed was a mathematical procedure which, based upon the depth chemical composition evolution, allows the establishment of frontiers as well as the periodicity of different sedimentary environments. The basic tool isn't more than a linear correlation analysis which allow us to detect the existence of eventual evolution rules, connected with cyclical phenomena within time series (considering the space assimilated to time), with the final objective of prevision.

A very interesting discovery was the phenomenon of repeated sliding windows that represent quasi-cycles of a series of quasi-periods. An accurate forecast can be obtained if we are inside a quasi-cycle (it is possible to predict the other elements of the cycle with the probability related with the number of repeated and deleted points).

We deal with an innovator methodology, reason why its efficiency is being tested in some case studies, with remarkable results that shows its efficacy.

**Keywords:** sedimentary environments, sequence stratigraphy, data analysis, time-series, conditional probability.

(1) Instituto Superior de Engenharia do Porto, ISEP. Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431; 4200-072 Porto, Portugal. E-mail: [jme@isep.ipp.pt](mailto:jme@isep.ipp.pt)

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 Caracterização do problema

O objectivo deste trabalho prende-se com um dos mais sérios problemas que caracteriza a indústria que utiliza matéria-prima natural: o da caracterização fina da composição química da alimentação, com vista a homogeneizar o processo de fabrico e assegurar um controlo estrito da qualidade do produto final. O estudo desenvolvido serviu de base ao planeamento e optimização de uma exploração de calcário a céu-aberto, que abastece uma unidade de produção de cimento.

A qualidade da matéria-prima encontra-se parcialmente definida na Norma Portuguesa NP-2064-1991, a qual estabelece para o fabrico do clínquer, a quantidade mínima de 2/3 de silicatos de cálcio e o restante em aluminatos e ferratos de cálcio. A mesma norma refere, ainda, que a relação  $\text{CaO/SiO}_2$  não deverá nunca ser inferior a 2, e que o teor de  $\text{MgO}$  nunca poderá ser superior a 5.0%. Esta é uma norma que embora estabeleça alguns parâmetros quantitativos não o faz plenamente, referindo, apenas, que os crus são misturas suficientemente finas, homogêneas e adequadamente doseadas a partir de matérias-primas calcárias e argilosas, ou afins, que contém óxido de cálcio ( $\text{CaO}$ ), óxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ), óxido de alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), óxido de ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) e pequenas quantidades de outros componentes.

Para que seja possível cumprir estes preceitos é necessário manter constantes, no tempo, as características da alimentação da linha de produção, de forma a permitir o planeamento faseado a médio prazo, aliado a um aproveitamento racional e global da matéria-prima.

No caso da indústria extractiva, o procedimento habitual passa pela realização de sondagens carotadas, análise mineralógica e petrográfica, determinação de micro-sondas, análises químicas e alguns ensaios micro de preparação de minérios. No que se refere à

indústria cimenteira em geral, é usual esta tarefa ser executada com base numa rede de furação carotada, análises químicas exaustivas e subseqüente tratamento geoestatístico dos dados adquiridos. Trata-se de um processo moroso, que acarreta custos elevados e cujo resultado prático nem sempre corresponde às expectativas da administração, na medida em que em empresas de pequena e de média dimensão, a política de investimentos raramente contempla verbas destinadas à aquisição de informação. É prática comum criar uma expectativa de lucro imediato, como consequência dos investimentos feitos. Portanto, quando se refere que o resultado prático de uma abordagem tradicional nem sempre corresponde às expectativas, não nos referimos ao ponto de vista científico-tecnológico, mas sim ao ponto de vista *a priorístico* do investidor.

Desta forma, interessa frisar que o processo proposto à empresa em estudo não se nos apresentava, à partida, como potencialmente mais frutuoso do que uma abordagem tradicional, mas apresentava antes a grande vantagem de representar um custo muito mais reduzido, pelo que de mais fácil aceitação por parte de quem detém o poder decisório.

O processo de fabrico do cimento requer uma alimentação de matéria-prima natural com características constantes, permitindo apenas ligeiras variações no teor de cada um dos constituintes do calcário. A existência de uma situação contrária obriga à utilização constante de correctivos, o que se traduz não só no aumento do custo directo desses mesmos aditivos, mas também em custos operativos, pois impede que de uma produção a ritmo e características constantes resulte um produto final com características igualmente constantes, sem que se proceda às referidas correcções.

No caso concreto desta empresa, e em outras que trabalham directamente com matéria-prima natural, o que se passa é que as características da alimentação não são constantes. Refira-se, a título de exemplo, que em certas pegas se obtém um teor médio de car-

bonato de cálcio da ordem dos 98%, sendo que noutras ocasiões o teor médio desse mesmo constituinte ronda os 60%. Parece óbvio que o pretendido passa pela obtenção de valores constantes, ou dentro de intervalos muito apertados, na alimentação. Ou seja, é fundamental diminuir a variância da composição química do *tout-venant* extraído da pedreira, de modo a adequá-lo às necessidades do fabrico.

De forma a obviar a este conjunto de problemas, a solução adoptada em grande parte dos casos passa pela criação de um *stock* intermédio, que é constituído com base na avaliação diária do material desmontado. Com este *pré-stock* pretende-se garantir uma alimentação homogénea ao processo de fabrico. Este método tem encontrado mais adeptos porque, apesar de ser algo oneroso, permite regular a qualidade da matéria-prima na alimentação. Ou seja, sendo correctivo é o que apresenta menor erro. Todavia, ao funcionar como processo de correcção pressupõe a existência de desvio. Parte, pois, de um princípio de remédio ao não actuar directamente sobre a fonte do erro.

## 1.2 Objectivos e fundamentos

Com o propósito de averiguar as possibilidades de ultrapassar o problema das flutuações na composição química da alimentação, actuando sobre a matéria-prima *in situ*, optouse, em primeiro lugar, por definir a tipologia geoquímica, isto é, identificar quais os diferentes tipos de calcários presentes, enquanto matéria-prima. O passo seguinte seria o do cálculo de reservas para cada uma dessas tipologias e, posteriormente, a implantação tridimensional das tipologias, de forma a permitir a sua exploração coordenada.

De acordo com o que foi anteriormente referido, uma abordagem clássica estava, à partida, posta de parte, devido às limitações orçamentais. Em alternativa à realização de uma campanha de sondagens carotadas, foi proposta a realização de amostragem do pó

nos próprios furos de desmonte, e subsequente análise química. Nesta primeira fase pretendia-se obter dados que permitissem a definição da litologia. Ou seja, a partir da análise química, avançar para uma diferenciação da matéria-prima, passando ao lado das análises mineralógica e petrológica, sem nunca, no entanto, perder de vista a componente física.

O objectivo deste trabalho consistia exactamente nesta recolha e tratamento de dados, por forma a fornecer não só informações indispensáveis à definição de tipologias de calcário, mas também, averiguar da possível validação deste método, com vista a permitir a sua futura utilização rotineira.

O presente trabalho surge, então, como uma fracção de um projecto industrial mais vasto, pelo que não existe de *persi*. A par deste contributo, uma outra equipa trabalhou com vista à elaboração de uma base de dados relacional, que pudesse ser implantada em cima da representação tridimensional da pedreira, por uma série de pontos, contendo cada um deles uma tabela associada de informações úteis, como por exemplo a composição química naquele local.

## 2. ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO

### 2.1 Litologia e estratigrafia

Na abordagem que em seguida se apresenta, pretende-se evidenciar as características da rocha em estudo, essencialmente no que respeita às suas propriedades tecnológicas, isto é, enquanto matéria-prima. Em momento algum houve a pretensão de fazer estratigrafia no sentido estrito.

A zona onde se situa a pedreira encontra-se representada na Folha 22D e 26B da Carta Geológica de Portugal, à escala 1:50.000. Com o intuito de definir com a maior exactidão possível o maciço em questão, procedeu-se a um reconhecimento geológico de superfície, bem como à consulta prévia de estudos

anteriores referentes àquela zona. Constituiu, igualmente, um documento importante de consulta, a notícia explicativa do referido extracto da Carta Geológica de Portugal. Foi, então, possível identificar o maciço rochoso onde se encontra implantada a exploração, como pertencente ao Jurássico.

Trata-se de um maciço calcário alterado superficialmente devido a uma carsificação muito irregular, nomeadamente no que se refere à sua espessura. Se, por um lado, há zonas em que ela é inexistente, outras há onde a espessura de carsificação pode ir desde a superfície, até aos 12 metros de profundidade.



Fig.1 – Extracto da Carta Geológica de Portugal (esc: 1/50.000), com localização da pedra.

No entanto, a maior dificuldade de caracterização prende-se com o facto de em muitos locais a carsificação não se dar da superfície para o interior do maciço. Ou seja, seria de esperar que as partes mais superficiais se encontrassem mais carsificadas, e essa alteração iria diminuindo à medida que se fosse caminhando em direcção ao interior do maciço, apresentando-se este cada vez mais homogéneo, por se encontrar menos exposto a fenómenos externos posteriores ao processo genético inicial. De facto, na generalidade dos casos, assim acontece. No entanto, há zonas em que a carsificação se dá por bolsadas. Isto

é, temos um maciço pouco ou nada alterado à superfície, mas interiormente aparecem zonas pontuais de carsificação. A dimensão destes *carsts* é igualmente variável, pelo que, não sendo possível intersecta-los a todos aquando da recolha de amostras, a sua detecção se torna uma tarefa bastante difícil.

A dissolução de carbonatos também se dá ao longo das fracturas que se encontram preenchidas com *terra rossa*. A parte mais superficial dessas fracturas está contaminada com areias eólicas, devido ao facto de a pedra se encontrar implantada numa zona de dunas, as quais envolvem toda a exploração, sendo

transportadas para o interior desta por acção dos ventos que muito assolam a região.

Quanto à carsificação existente, ela faz-se notar em duas vertentes: uma primeira, que é devida à exposição do calcário a fenómenos de alteração posteriores à formação do maciço, fazendo, por isso, notar-se com intensidade decrescente da superfície para o interior do mesmo. Aliás, esta carsificação só vai caminhando em profundidade à medida que a água se vai infiltrando por falhas ou fracturas, ou mesmo por fissuras que surgem como consequência da própria.

#### **Moderno**

Sobrejacente ao maciço e, principalmente, na zona circundante à pedreira, encontra-se uma camada superficial constituída por areias de duna e areias pliocénicas desagregadas, cuja possança é igualmente variável. Pensa-se que estas areias sejam localmente ricas em feldspatos e, eventualmente, em moscovite, o que influencia a composição química das amostras recolhidas.

O carácter não consolidado destas rochas detríticas, permitiu que elas sofram transporte eólico, indo recobrir parcialmente a zona em exploração, na qual já se teria procedido previamente à descoberta. Este fenómeno leva a que, aquando da recolha de amostras, haja queda de areia para o interior do furo, constituindo, desta forma, uma causa de contaminação.

#### **Plio-pleistocénico indiferenciado**

Nas imediações da zona onde está implantada a pedreira, existem sedimentos correspondentes a antigas praias, não tendo, no entanto importância para a exploração em causa.

#### **Cretácico**

Na zona de Pataias assinala-se um afloramento Aptiano e possível Neocomiano, com uma atitude geral que inclina 25° para NW.

#### **Jurássico**

##### **Dogger**

A Nascente da pedreira, muito próximo da zona actualmente em exploração encontra-se uma pequena corta, efectuada para averiguar

da possibilidade de expansão da pedreira nessa direcção. Nesse local abundam fósseis (crinóides) que, após análise sumária, apontam para que tenham esta idade.

#### **Lias**

A Norte existe uma outra pedreira, a qual possui um calcário de características muito diferentes do da zona em estudo. Trata-se de um calcário de cor branca, no qual são igualmente assinaláveis fósseis, mas em quantidade visivelmente inferior à da pequena corta anteriormente referida. Uma muito breve análise aponta para que se trate essencialmente de lamelibrânquios.

#### **Retiano-Hetangiano**

Na zona da pedreira Alva, situada mais a Sul, é notória a presença de calcários cinzentos, os quais terão sido arrastados por uma intrusão diapírica. Estes calcários apresentam um teor em MgO muito superior à média encontrada ao longo do restante maciço, provavelmente por se tratar de evaporitos, que tem um ambiente de formação em bacia fechada.

A referida intrusão diapírica, que se encontra na zona NO da pedreira, durante a ascensão arrastou consigo margas, bem visíveis com a sua característica cor avermelhada, devida à oxidação. Quando menos alteradas, apresentam um aspecto gorduroso. Nessas margas existem intercalações de gesso secundário, cuja possança varia de alguns mm a cerca de 5cm. Foi efectuada uma sondagem roto-percussiva, na bordadura do degrau inferior, tendo sido encontrado gesso a 12m de profundidade.

Falta acrescentar que existe, junto ao limite Sul da exploração, um enorme afloramento margoso, responsável também pela composição química da alimentação. O afloramento é a continuação lógica do diapiro, e só é visível por não estar coberta por areias. De momento explora-se aí, apenas e directamente as margas, que, devido ao seu alto teor de alumina, servem como correctivos da alimentação do forno, sendo adicionadas directamente no britador.

## 2.2 Tectónica

A pedreira e toda a área envolvente foi afectada pelo diapiro Óbidos-Caldas da Rainha, com uma atitude dominante N/S – subvertical. Todavia, localmente, na zona da exploração, parece tomar uma orientação NW/SW.

A perfuração diapírica, ao soerguer o maciço calcário, levantou toda a zona da exploração, provocando uma série de acidentes, fracturando profundamente o maciço

junto da intrusão. O maior acidente detectado, e muito provavelmente associado a esse diapiro, é uma falha sub-vertical que atravessa a pedreira na direcção NW-SE. Essa falha é constatável por uma deslocação das camadas segundo a mesma direcção, bem como indicada pelo atravessamento da pedreira por um alinhamento de uma série de plantas (Fig.2), cuja existência está largamente dependente da presença de água. Água essa que está provavelmente associada à caixa de falha.



Fig.2 – Alinhamento de plantas ao longo da pedreira.

Do ponto de vista estrutural é muito difícil caracterizar o maciço em estudo, devido à acção do *salt-wall*, mesmo que nos concentremos apenas no local abrangido pela pedreira. Em consequência, para além desta falha, todo o maciço se encontra largamente fracturado, e os seus estratos – cujas interfaces são dificilmente identificáveis – dobrados e parcialmente levantados. Todos estes fenómenos originaram que as características do calcário sejam altamente variáveis no espaço, no que diz respeito a possanças, direcções e inclinações, mesmo à escala desta pedreira. Em suma, trata-se de um maciço muito alterado, física, química e estruturalmente.

Quanto à existência de diferentes tipos de calcários, é possível identificar, pelo menos, diferentes colorações, o que, provavelmente, corresponde a diferentes tipos e graus de alteração. No entanto, e de um modo geral, todo o

maciço apresenta uma cor amarelada, sinónimo da existência de oxidação.

## 2.3 Hidrogeologia

Sob o ponto de vista das suas características hidrogeológicas, pode considerar-se que o maciço aflorante na zona apresenta três tipos distintos de comportamento. Uma primeira zona, mais superficial, é constituída por aquíferos suspensos, presentes um pouco por toda zona, sendo a Lagoa de Pataias um dos melhores exemplos. Trata-se de zonas impermeabilizadas inferiormente por argilas de descalcificação, lodos e outros sedimentos impermeáveis e que são alimentados por águas de escorrência superficial. O nível hidrostático corresponde à superfície livre das águas, sendo o limite inferior estabelecido pelos sedimentos impermeáveis.

Um segundo tipo de comportamento é devido ao facto de as camadas mais superficiais estarem parcialmente recobertas por areias, que apresentam comportamento altamente permeável, transmitindo a quase totalidade de água que recebem ao substrato. Nesse sentido, em termos de infiltração imediata no maciço, a existência ou não de uma camada de areia superficial, torna-se indiferente. A influência da areia faz-se notar ao impedir a escorrência superficial e a formação de cursos de água.

No que diz respeito aos carbonatos, é sabido que os calcários são porosos e permeáveis. Além do mais, o maciço encontra-se carsificado e largamente falhado e fracturado, favorecendo a percolação de águas, as quais vão sendo responsáveis pelo alargamento das respectivas caixas de falha e fracturas. Por conseguinte obtêm-se altos valores para a permeabilidade.

Por outro lado, importa referir que grande parte dessas fracturas se encontra preenchida por argilas, as quais apresentam um carácter impermeável, podendo ser responsáveis por abaixamentos locais do valor da permeabilidade do maciço. Desta forma, esta imensa rede de fracturas é simultânea e paradoxalmente responsável pela existência de um maciço permeável, mas com zonas impermeáveis.

Quanto à influência do diapiro salino, ela faz-se notar essencialmente a Oeste, onde o maciço é cortado, e onde se obtêm valores quase nulos para a permeabilidade. Este diapiro constitui, desta forma, uma barreira à circulação de águas subterrâneas.

### 3. ENQUADRAMENTO ESTRATIGRÁFICO REGIONAL – SÉRIE DE REFERÊNCIA

O desenvolvimento de um trabalho no local em que se encontra a pedreira Alva-Pataias pode revelar-se uma missão algo ingrata, na medida em que se trata de uma zona relativamente mal estudada, nomeadamente no que se refere a estudos paleontológicos e litoestratigráficos. A própria cartografia

foi elaborada de uma forma não litoestratigráfica. Ao contrário do que se passava aquando dos primeiros trabalhos de campo realizados com vista à elaboração de cartas, actualmente existem algumas pedreiras disseminadas um pouco por toda a zona, e que funcionam como espécie de “afloramentos forçados”. Todavia, continua a existir uma importante cobertura dunar que, aliada à fracturação em tecla de piano, impedem que se chegue a algo mais conclusivo, com os meios à disposição.

Não obstante as limitações referidas, num trabalho desta natureza resulta como importante o estabelecimento de uma série litoestratigráfica de referência, que permita fazer um paralelo com as observações resultantes do trabalho de campo efectuado. Para isso recorreu-se à Notícia Explicativa da Folha 22-D da Carta Geológica de Portugal, onde na descrição da série Bajociana Superior – idade das camadas atravessadas pelas sondagens – indica a) calcários margosos cinzentos de grão fino; b) calcário margoso, cinzento-escuro, de grão fino, com *Cadomites* do grupo de *linguiferus*; c) Zona de *Parkinsonia parkinsoni* – calcário branco, rijo, com fractura concoidal, contendo *Oppelia sp.*, *Parkinsonia* do gr. de *parkinsoni*, *Lissoceras ooliticum*, *Perisphinctes*; d) Zona de *Strenoceras nior-tense* e de *Garantiana garantiana* – calcários cristalinos em bancadas maciças, alternando com níveis de calcários margosos, brandos, e de calcários com plaquetas.

### 4. OBJECTIVOS METODOLÓGICOS E PROCEDIMENTOS – AMOSTRAGEM

Como base de partida para o trabalho a realizar, foi efectuada uma série de sondagens não carotadas, recolha das respectivas amostras de pó e subsequente análise química.

A obtenção das sondagens foi feita de modo heterodoxo, pela utilização de um carro de furação ROC 722HC-10, que é a máquina de produção utilizada na pedreira, e cuja utilização para a qual foi concebido pressupõe apenas a perfuração de maciços rochosos com

vista à introdução de cargas explosivas, naquilo que integra uma usual operação de desmonte por explosivos. O motivo que levou à selecção daquele foi uma mera questão de disponibilidade, isto é, o de utilizar os meios de que esta ou qualquer outra empresa similar dispõe à partida.

A recolha de amostras é efectuada de 25 em 25cm, parando-se a perfuração e recorrendo a um saco colocado à saída do captador de poeiras.

A velocidade de obtenção de resultados, fruto da existência de um laboratório de análises químicas nas instalações da fábrica, apresentava-se, igualmente, como uma opção a não desprezar.

Em todo este processo está envolvido pessoal e equipamento da empresa, o que, para além da vantagem financeira e da velocidade de obtenção de resultados, apresenta uma outra mais-valia que lhes está directamente ligada, a qual apresentará uma importância acrescida no futuro, isto é, quando se passar à fase de execução rotineira dos diferentes procedimentos

que integrarão todo o processo de avaliação da matéria-prima, reservas e conseqüente planeamento de desmonte. Esta é a contrapartida da autonomia que vai sendo adquirida com estes procedimentos, que vai permitir o cumprimento futuro de toda a metodologia, sem que seja necessário recorrer a pessoas ou entidades exteriores à empresa. Traduz-se, obviamente, numa enorme economia.

Importa apresentar a definição dos intervalos percentuais relativos a cada um dos constituintes da matéria-prima mineral tolerados à entrada do processo de fabrico. Esses valores foram fornecidos pela empresa e são indicados seguidamente, sob a forma de intervalo, no quadro da fig.4.

## 5. ANÁLISE DE CORRELAÇÕES

Para cada furo, e relativamente a cada um dos 8 elementos estudados, foram elaborados gráficos demonstrativos da evolução dos teores em profundidade; semelhantes aos que se apresenta como exemplo na fig. 5.

|               | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaCO <sub>3</sub> | MgO  | SO <sub>3</sub> | K <sub>2</sub> O | Na <sub>2</sub> O |
|---------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------|------|-----------------|------------------|-------------------|
| min. admitido | 12.90            | 2.90                           | 2.00                           | 76.75             | 0.00 | 0.00            | 0.00             | 0.00              |
| máx. admitido | 13.30            | 3.10                           | 2.50                           | 77.64             | 2.00 | 0.10            | 0.50             | 0.50              |

Fig.3 – Valores requeridos à fabricação.

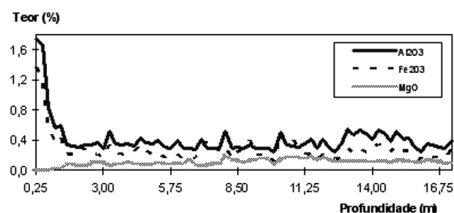


Fig.4 – Evolução dos teores em profundidade (furo1).



No sentido de uma confirmação da possível existência de correlações, foram elaboradas matrizes de correlações lineares entre o

teor de todos os pares de elementos, bem como entre cada elemento e a profundidade relativa.

**Matriz de Correlações (furo 1)**

|                  |                                |                                |                                |                   |       |                 |                  |                   |
|------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------|-------|-----------------|------------------|-------------------|
| SiO <sub>2</sub> | SiO <sub>2</sub>               | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaCO <sub>3</sub> | MgO   | SO <sub>3</sub> | K <sub>2</sub> O | Na <sub>2</sub> O |
|                  |                                | 0,95                           | 0,93                           | -0,99             | -0,60 | -0,28           | 0,99             | -0,82             |
|                  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |                                | 0,94                           | -0,96             | -0,48 | -0,19           | 0,96             | -0,79             |
|                  | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |                                |                                | -0,94             | -0,47 | -0,10           | 0,93             | -0,73             |
|                  | CaCO <sub>3</sub>              |                                |                                |                   | 0,54  | 0,26            | -0,99            | 0,82              |
|                  | MgO                            |                                |                                |                   |       | 0,39            | -0,55            | 0,58              |
|                  | SO <sub>3</sub>                |                                |                                |                   |       |                 | -0,25            | 0,49              |
|                  | K <sub>2</sub> O               |                                |                                |                   |       |                 |                  | -0,81             |
|                  | Na <sub>2</sub> O              |                                |                                |                   |       |                 |                  |                   |
| Profun.          | -0,42                          | -0,29                          | -0,35                          | 0,37              | 0,59  | 0,11            | -0,38            | 0,19              |

Fig.5 – Matriz de correlações (furo1).

Numa primeira constatação verifica-se uma falta de correlação linear entre os teores de qualquer elemento e a profundidade (z), o que leva a crer que não há tendência linear no processo estocástico das composições indexadas pela profundidade. Isto é, o processo estocástico é, grosso modo, estacionário.

### 5.1 Paragéneses

Após identificadas as diferentes paragéneses presentes, e numa tentativa de atribuir a cada variação de teor de cada elemento a respectiva origem, foi elaborado o seguinte quadro, no qual se apresenta muito esquematicamente a relação entre cada elemento e a possibilidade de associação às diferentes paragéneses.

| SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaCO <sub>3</sub> | MgO  | paragéneses                             |
|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------|------|---|
| ****             | *                              | *                              | -                 | -    | sedimentos eólicos (duna)               |
| *                | *                              | **                             | *                 | -    | sedimentos de descalcificação (argila?) |
| -                | -                              | *                              | ****              | **** | sedimentos de precipitação química      |

legenda:

- \* forte probabilidade de ocorrência
- \*\* muito forte probabilidade de ocorrência
- \*\*\*\* certeza de ocorrência
- probabilidade nula de ocorrência

Fig.6 – Quadro resumo das diferentes paragéneses.

## 5.2 À procura de previsões

Este capítulo trata da análise de relações entre diferentes variáveis, determinadas num mesmo intervalo de amostragem. As técnicas usualmente utilizadas no tratamento deste tipo de dados permitem determinar o efeito ou, mais especificamente, o grau de relação ou dependência entre as diferentes variáveis. Como objectivo mais ambicioso, pretende-se extrapolar as conclusões a obter, no sentido de controlar eventuais variáveis adicionais.

### 5.2.1 Correlação linear

Pretendeu-se que as metodologias utilizadas permitissem medir não só o nível de relação entre os pares de valores, mas também concluir de que forma é que as variáveis se influenciam mutuamente, traduzindo matematicamente a influência que uma alteração numa variável independente provoca numa outra variável - dependente.

Na busca destas relações entre variáveis, interessa chamar a atenção para o facto de que a correlação em si não prova relação causal. Todavia, a segunda não existe sem a primeira, pelo que a existir uma relação causa/efeito, a correlação poderá ajudar a prová-la. Assim, provar que existe correlação, constitui já algo de gratificante.

Desta forma, após detectada uma correlação entre duas variáveis, mesmo que não se possa provar que existe uma relação causa/efeito, pode sempre testar-se se existe tendência.

### 5.2.2 Ferramenta de análise de correlação

O coeficiente de correlação linear é uma medida de associação, que determina o grau de associação entre um par de variáveis. Isto é, mede a relação entre dois conjuntos de dados escalonados de forma a serem independentes da unidade de medida. Essa medida é traduzida num valor numérico, o qual nos dá indicação do grau de relação entre as

diferentes dos dois fenómenos ou variáveis em estudo.

O cálculo da correlação da população devolve a covariância dos dois conjuntos de dados divididos pelo produto dos seus desvios padrão:

$$\rho_{X,Y} = \frac{\text{cov}(X,Y)}{\sigma_X \cdot \sigma_Y}$$

onde:

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{n} \sum (X_j - \mu_x)^2$$

e:

$$\sigma_y^2 = \frac{1}{n} \sum (Y_j - \mu_y)^2$$

Esta ferramenta pode ser utilizada para determinar se dois intervalos de dados se deslocam em conjunto, isto é, se duas variáveis evoluem ou sofrem alterações conjuntamente (no mesmo ou em sentidos opostos) - se estão correlacionados. Uma correlação positiva existe quando os valores mais elevados de um conjunto estão associados aos valores mais elevados do outro conjunto. Se, por outro lado, os valores mais baixos de um conjunto estão associados aos valores mais altos do outro, estamos perante uma correlação negativa. Se o valor da função correlação obtido for muito baixo, os dados ou variáveis não estão correlacionados.

## 5.3 Análise de sub-sucessões

Com este capítulo pretende-se detectar e tentar compreender eventuais fenómenos cíclicos presentes em séries cronológicas, com o objectivo final da previsão.

Segundo Tong, H. (1990), não existe nenhum fenómeno puramente aleatório, pois que a aleatoriedade é sempre gerada a partir de algo, logo, existe uma dependência muito sensível entre a aleatoriedade e as condições geradoras iniciais. Aquele autor defende, desta forma, que o próprio caos é gerado a

partir de uma equação determinística. Por outras palavras, uma pequena perturbação nas condições iniciais pode levar a um vastíssimo leque de diferentes realizações.

Esta é uma posição já defendida por Oseledec (1968), ao afirmar que numa série cronológica, uma realização ( $X_t$ ) de um determinado fenómeno, é sempre função da realização imediatamente anterior ( $X_{t-1}$ ). Isto é:

$$X_t = f(X_{t-1}), \text{ em que } x_t \in R^k \quad [1]$$

( $k = n^\circ$  de parâmetros)

$$\text{, com } t = 1, 2, 3, \dots, n \quad [2]$$

( $n = \text{dimensão da amostra}$ )

A sucessão  $X_t$  tanto pode divergir como convergir para um ponto limite, um ciclo limite ou descrever trajectórias cíclicas.

A evolução definida em [1] tem uma estrutura muito rica. Para além dos pontos limite e dos ciclos limite, pode exibir inúmeras trajectórias cíclicas, e também trajectórias praticamente indistinguíveis daquelas que são resultantes da realização de um processo estocástico.

Considerando, então, que a evolução em fenómenos não lineares pode estar extremamente dependente das condições iniciais, e

quando esses fenómenos se encontram traduzidos através de uma série de observações realizadas, torna-se importante averiguar qual a relação entre uma determinada observação -  $X_t$  - e a realização imediatamente anterior -  $X_{t-1}$  e, da mesma forma, entre  $X_{t-1}$  e  $X_{t-k}$ . Mas, mais importante do que averiguar quais as relações entre todos os pares de valores constituídos por observações consecutivas (no tempo ou no espaço) é, no final, interligar essa série de relações. Isto é, arranjar uma forma de comparar os pares ( $X_t, X_{t-1}$ ) e ( $X_{t-1}, X_{t-2}$ ), e assim sucessivamente, por forma a entrar-se com todos os valores constituintes da sucessão inicial de observações. Ou seja, arranjar uma função:

$$f(X_{t-1}, \dots, X_{t-k})$$

A forma sugerida por Tong foi a da realização de gráficos bidimensionais - ( $X_{t-1}, X_t$ ), a que chamou diagramas de fase. A partir de uma sucessão de valores define-se uma série de pontos de coordenadas ( $X_t, X_{t-1}$ ). Isto é, a um ponto que tenha abcissa  $X_{t-1}$  e ordenada  $X_t$ , sucede um outro cuja abcissa vai ter o valor da ordenada anterior.

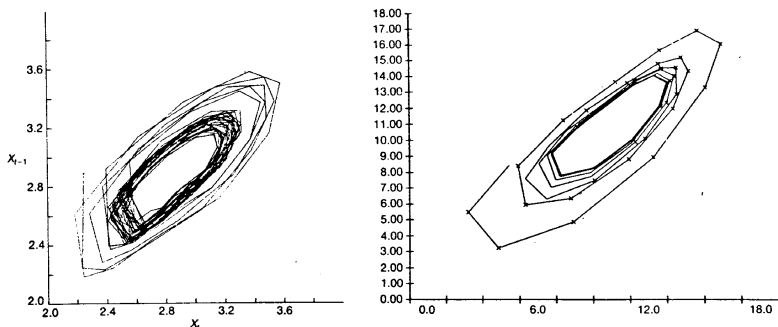


Fig.7 – Dois exemplos de possíveis evoluções determinísticas caóticas.

Os sucessivos pares de valores vão sendo unidos por segmentos de recta. Ainda de acordo com o mesmo autor, qualquer evolução diferente daquela que se projecta em torno do bissector dos quadrantes ímpares (Figs.8.5 e 8.6), é sempre passível de ser observada mais em pormenor, no sentido de averiguar qual a regra ou regras que lhe dão origem. Ou seja, o desenvolvimento do gráfico pode ser demonstrativo da existência de um processo evolutivo: convergente, divergente ou que traduza uma potencial sazonalidade.

Desta forma, porque o gráfico relativo à evolução do  $\text{CaCO}_3$  no segundo furo de sondagem parecia apresentar, em especial, uma regra evolutiva sujeita a uma certa sazonalida-

de, e porque não é viável trabalhar com todos os gráficos/sucessões de valores, partiu-se para uma observação mais pormenorizada daquele.

Em concreto, a observação da Fig.8 leva a crer que de 5 em 5 pontos a mesma figura se repete, embora variando a escala (se for feito um *zoom* observa-se a repetição da mesma figura), isto é:

$X_t = f(X_{t-1}, X_{t-2}, X_{t-3}, X_{t-4})$  e esta função não é linear. Por outro lado, não sabemos quando se inicia novo quadrilátero. Ou seja, o gráfico é formado por um encadeamento de sub-sucessões constituídas cada uma delas por cinco elementos. Esta regularidade aparente pode esconder sub-sucessões constituídas por mais ou por menos do que cinco elementos.

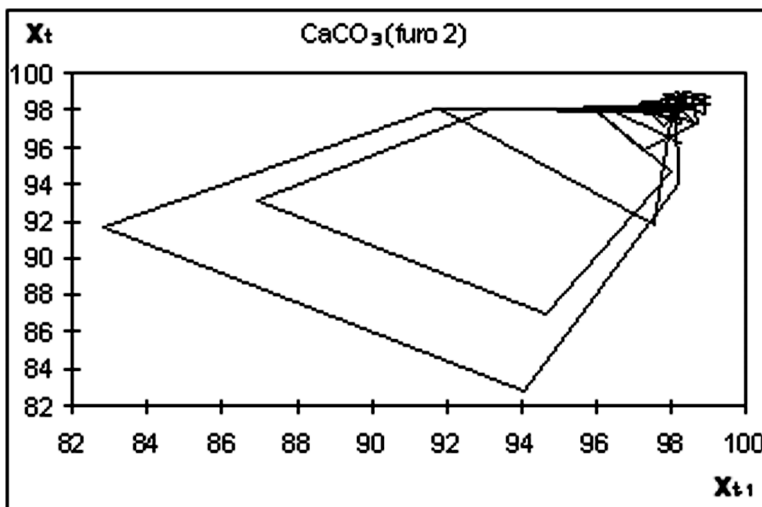


Fig.8 – Diagrama de fase do  $\text{CaCO}_3$  no furo 2.

No sentido de averiguar o que de concreto se passa em termos de evolução dos teores em profundidade, decidiu-se dividir a sucessão de valores em todas as possíveis sub-sucessões de 4 elementos (número mínimo para conseguir repetidas seqüências de segmentos de

recta) e, em seguida, determinar qual o valor da correlação linear entre cada par de sub-sucessões. Todavia, e de acordo com o ábaco da Fig.9, constata-se que com séries tão pequenas o coeficiente de correlação só tem valor significativo quando superior a 0.95, e isto para um

intervalo de confiança de 95%. Por este motivo, os valores obtidos não permitiriam, e não permitiram, qualquer extrapolação.

Optou-se, então, por averiguar quais os coeficientes de correlação obtidos entre todos os pares de sub-sucessões constituídas por cinco elementos, para, em seguida, adoptar o mesmo procedimento para sub-sucessões de seis e sete elementos. Na prática, verificou-se mais tarde, que não há correlações significativas para séries de seis ou mais elementos.

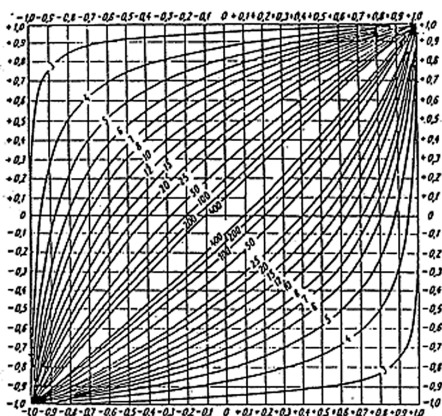


Fig.9 – Ábaco utilizado para determinar a significância dos coeficientes de correlação, em função do número de elementos de uma série.

Pelo que ficou dito, trabalhou-se essencialmente com pares de séries de cinco elementos, os quais podem ser considerados portadores de boa correlação para valores deste coeficiente acima de 0.9, para intervalos de confiança de 95%. Para além do CaCO<sub>3</sub>, executou-se o mesmo procedimento em relação ao SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e MgO.

Os resultados obtidos, que são apresentados nos quadros que se seguem, estão dispostos de forma a poder ler-se directamente o número de correlações significativas existentes para cada sub-sucessão.

Na primeira coluna aparece, ao lado de cada valor ordenado de teor, o número de série da sub-sucessão- atribuído ao primeiro ele-

mento de cada uma. Desta forma é igualmente possível saber, não só o número de correlações significativas, mas também identificar cada uma das respectivas sub-sucessões.

O grafo não orientado representado na fig.10 exemplifica como são construídos os diferentes grupos de cores ou padrões (para o caso da sílica). Consultando o quadros da Fig.11, podemos verificar que a sub-sucessão nº1 está fortemente correlacionada com as sub-sucessões nºs 9, 13, 36, 43, 50 e 51. Passando à sub-sucessão nº2, verifica-se que esta se correlaciona fortemente com as sub-sucessões nºs 56 e 59. Procede-se de igual modo para todas as sub-sucessões, até que, chegando à sub-sucessão nº9 (já tínhamos verificado anteriormente que estava altamente correlacionada com a sub-sucessão nº1), vamos regressar ao primeiro grupo e incluir nele todas as sub-sucessões que estejam fortemente correlacionadas com ela, e que ainda não fazem parte desse grupo.

Após completados todos os conjuntos de números, atribuímos a cada um deles uma cor ou um padrão, o que permite construir uma espécie de coluna estratigráfica representativa, não de camadas geológicas, mas sim de números de sub-sucessões (quadro da fig.11). Para os diferentes elementos surgem colunas distintas. No caso do ferro e do magnésio

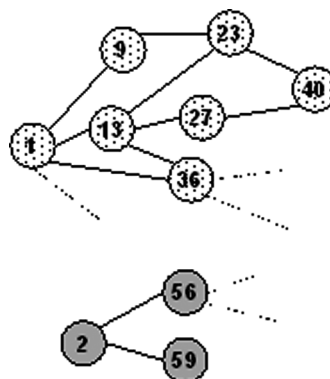


Fig.10 – Grafo não orientado exemplificativo da forma como são construídos os diferentes conjuntos.

todas as séries denotam estar fortemente correlacionas entre si, pelo que não é possível dividir em grupos de cores diferentes e construir a respectiva coluna. A conclusão a retirar aponta para o facto de estes dois elementos não poderem ser satisfatoriamente utilizados neste tipo de filtragem.

| SiO <sub>2</sub> |      | 1  | 9  | 13 | 36 | 43 | 50 | 51 |    |    |    |
|------------------|------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1                | 0.06 | 1  | 9  | 13 | 36 | 43 | 50 | 51 |    |    |    |
| 2                | 1.16 | 2  | 56 | 59 |    |    |    |    |    |    |    |
| 3                | 0.32 | 3  | 57 |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 4                | 0.66 | 4  | 32 | 58 |    |    |    |    |    |    |    |
| 5                | 0.43 | 5  | 10 | 18 | 32 | 41 | 56 | 58 | 59 |    |    |
| 6                | 0.02 | 6  | 14 | 24 | 33 | 52 | 60 |    |    |    |    |
| 7                | 0.03 | 7  | 15 | 25 | 29 | 34 | 38 | 53 | 61 |    |    |
| 8                | 0.06 | 8  | 16 | 26 | 35 | 39 | 42 | 49 | 54 |    |    |
| 9                | 0.04 | 9  | 17 | 23 | 27 | 36 | 50 | 55 |    |    |    |
| 10               | 0.42 | 10 | 18 | 28 | 51 | 56 | 59 |    |    |    |    |
| 11               | 0.03 | 11 | 21 |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 12               | 0.18 | 12 | 22 |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 13               | 0.04 | 13 | 23 | 27 | 31 | 36 | 40 | 43 | 50 | 55 | 63 |
| 14               | 0.18 | 14 | 24 | 33 | 44 | 52 | 60 |    |    |    |    |
| 15               | 0.04 | 15 | 25 | 29 | 34 | 38 | 53 | 61 |    |    |    |
| 16               | 0.06 | 16 | 26 | 30 | 35 | 39 | 42 | 54 | 62 |    |    |
| 17               | 0.08 | 17 | 23 | 27 | 31 | 36 | 40 | 55 | 57 | 63 |    |
| 18               | 1.09 | 18 | 28 | 32 | 41 | 56 | 58 |    |    |    |    |
| 19               | 0.15 | 19 | 48 |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 20               | 0.06 | 20 | -  |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 21               | 0.06 | 21 | 34 | 45 |    |    |    |    |    |    |    |
| 22               | 0.17 | 22 | 46 |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 23               | 0.08 | 23 | 36 | 55 | 57 | 63 |    |    |    |    |    |
| 24               | 0.24 | 24 | 33 | 37 | 44 | 52 | 60 |    |    |    |    |
| 25               | 0.03 | 25 | 34 | 38 | 53 | 61 |    |    |    |    |    |
| 26               | 0.05 | 26 | 35 | 39 | 42 | 54 | 62 |    |    |    |    |
| 27               | 0.06 | 27 | 36 | 40 | 55 | 57 | 63 |    |    |    |    |
| 28               | 0.83 | 28 | -  |    |    |    |    |    |    |    |    |
| ⋮                | ⋮    | ⋮  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |

Fig.11 – Quadro exemplificativo de sub-sequências de 5 elementos e suas correlações.

Se consideramos diferentes padrões para cada grupo, é possível ordenar numa coluna todas as subseqüências e, em frente a cada uma delas, preencher um rectângulo com o padrão correspondente ao grupo a que pertence. No caso da sílica, no furo2, os resultados foram dispostos da forma indicada na Fig.12.

Se estudarmos as colunas de padrões, é possível detectar fenómenos cíclicos reflectidos nas séries de padrões. No caso representativo da figura 12, tentamos perceber se era legítimo estabelecermos determinadas sequências tipo, passando em seguida à determinação da sua probabilidade de ocorrência.

Os resultados apresentados na figura 14 levaram-nos à óbvia conclusão de que é possível “adivinhar” qual a sequênci-a-tipo que sucede a outra sequênci-a-tipo; em certos casos com uma probabilidade de 100%.

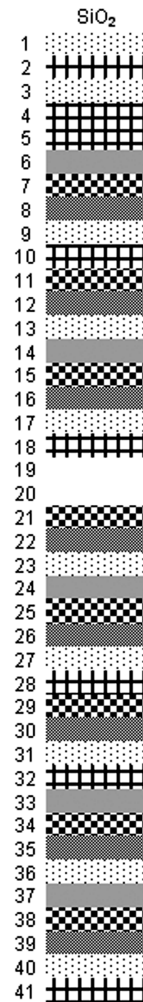


Fig.12 – Exemplo de uma sequênci-a de padrões (SiO<sub>2</sub> - furo2).

No entanto, antes que nos precipitemos em conclusões menos correctas, importa realçar que estamos a lidar com um número

reduzido de sub-sequências, o que de certa forma limita o cálculo de probabilidades condicionadas. Por esse mesmo motivo, foram também determinados os respectivos níveis de significância, para um intervalo de confiança de 95%.

Numa fase posterior foi decidido determinar-se probabilidades condicionadas a uma maior distância; numa primeira fase considerando padrões intermédios, e numa fase posterior ignorando o que se passa entre o primeiro e o último padrão de cada uma das subsequências.

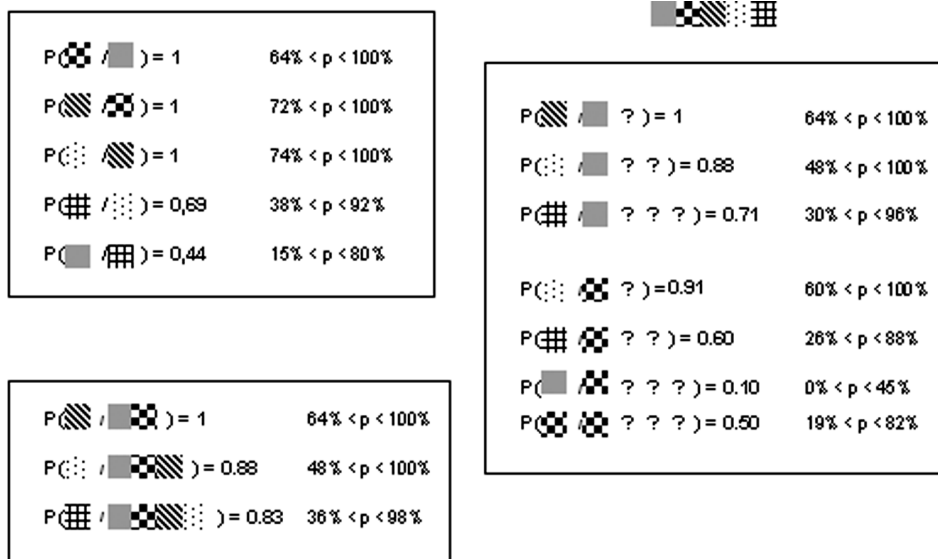


Fig.13 – Exemplo de probabilidades condicionadas (SiO<sub>2</sub> - furo2).

Os resultados apontam para uma clara existência de “janelas geológicas” que se repetem. Isto é, quando se detecta o princípio de uma delas pode afirmar-se com um alto grau de probabilidade que os restantes elementos se sucedem ordenadamente. Essas “janelas geológicas” não são mais do que séries de sub-sucessões altamente correlacionadas. Cada elemento de cada uma dessas séries representa o primeiro elemento de uma sub-sucessão de cinco elementos.

Apesar da regularidade ser bastante elevada, algumas dessas sub-sucessões apresentam-

se de forma comprimida, isto é, registam falta de elementos. O contrário também acontece, ou seja, algumas das sub-sucessões apresentam-se dilatadas, por força da repetição de alguns elementos.

No final, o que se obtém são novas sucessões constituídas, agora, por nove elementos (por junção de cinco sub-sucessões consecutivas). Nos gráficos das figuras 14 e 15 estão representadas todas as novas sucessões de nove elementos (8 quando comprimidas e 10 quando alongadas).

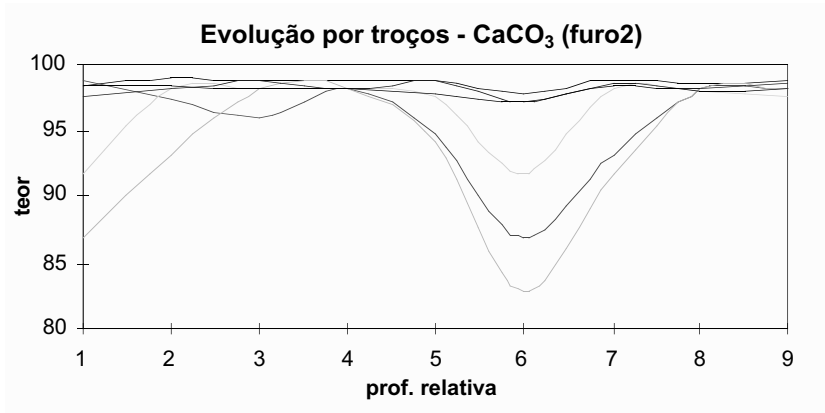


Fig.14 – Sazonalidade com início deslizante ( $\text{CaCO}_3$  – furo2).

A existência de sazonalidade reflecte oscilações de ritmo, o que provoca uma variação de teor em relação ao valor médio esperado. A causa dessa oscilação pode ser genética ou, por outro lado, inerente ao processo de amos-

tagem em si. Neste caso concreto a introdução desse tipo de ruído pode eventualmente estar presente, se bem que o comportamento é demasiadamente regular para ter sido provocado pelo método de recolha.

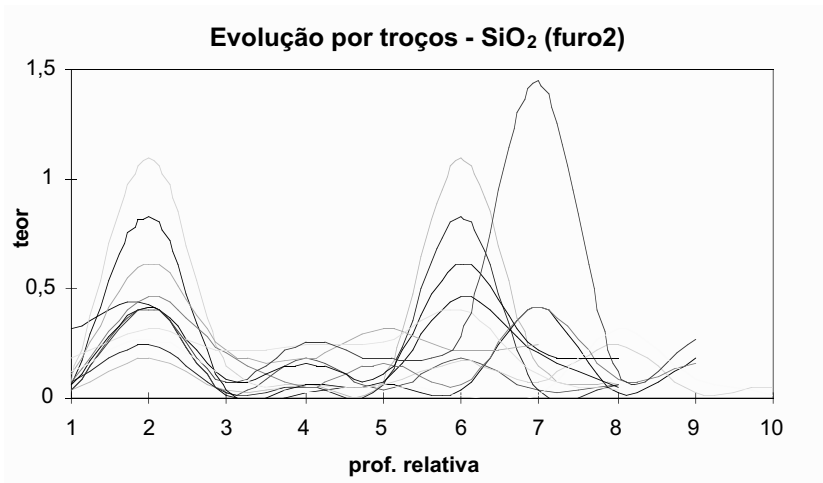


Fig.15 – Sazonalidade com início deslizante ( $\text{SiO}_2$  - furo2).



#### 5.4 Sazonalidade com início deslizante

Esta sazonalidade, que é evidenciada pelos diversos gráficos intitulados “Evolução por troços”, apresenta uma característica muito particular, que é a de ter um início deslizante e imprevisível. Isto é, apesar da evolução das diferentes janelas apresentar desenvolvimento comum, os seus inícios não estão igualmente espaçados, e não se detecta uma regra para a sua definição. Desta forma, só conseguimos prever, se tivermos o início do ciclo quase determinístico de uma janela, mas não se pode garantir que logo a seguir ou a uma distância  $D$  começa outra janela. Podemos garantir que provavelmente aparecerá outra janela algures mais adiante, e que quando ela aparecer terá provavelmente um desenvolvimento semelhante a esta. O que não temos são dados suficientes para fazer uma distribuição de probabilidades de início de janela.

Há uma leitura muito simples a fazer destas janelas – janelas estas baseadas em correlações muito fortes – que nos permite indiciar e quantificar rejeitos de furo para furo. Elas dão-nos, ainda, optimizações do passo de amostragem para cada furo.

Podemos, como conclusão, resumir os resultados aqui obtidos da seguinte forma: utilizando os diagramas de fase e a correlação linear conseguimos passar à determinação de sequências deposicionais, o que nos permite fazer previsões em certas condições.

#### 6. CONCLUSÕES

O resultado da metodologia de análise de sub-sucessões aqui proposta, é a “coluna estratigráfica” representativa, não exactamente de camadas geológicas, mas antes de números de sub-sucessões. Cada rectângulo e a posição que ele ocupa na coluna, representam o início de uma sub-sucessão de cinco elementos. Ou seja, apenas aparece representado o primeiro elemento de cada sub-sucessão.

Consultando com atenção uma qualquer coluna elaborada neste trabalho, rapidamente se consegue estabelecer uma sequência de padrões, que se repete com uma certa regularidade, por vezes mais ou menos comprimida ou alongada (isto é, com falta de um elemento, ou com um elemento repetido) - processo de telescopagem.

Uma vez que na determinação da probabilidade de ocorrência dessas sequências de sub-sucessões se obteve resultados consideráveis, assumiu-se estarmos perante um fenómeno que obedece a uma regra de sazonalidade.

Para além de podermos determinar a probabilidade de ocorrência de uma determinada sub-sucessão se anteriormente tivermos uma outra conhecida, podemos, ainda, determinar qual a sub-sucessão que tem maior probabilidade de suceder a uma outra dada. Isto é, fazer previsão.

Fazendo o paralelo para a base física, isto é para a geologia, o mesmo será dizer que podemos determinar qual o ambiente de deposição que mais provavelmente sucedeu um outro conhecido.

Voltando às sub-sucessões, para além de ser possível determinar qual a sequência que tem maior probabilidade de ocorrer, pode determinar-se com que frequência ela ocorre, isto é, a periodicidade da sazonalidade.

Regressando à geologia, o que temos é não só a probabilidade de ocorrência de um determinado ambiente de deposição a seguir a outro, mas também a frequência com que isso acontece. Isto é, de quanto em quanto tempo é que as condições geomorfológicas se repetem, dando origem à deposição de uma sequência semelhante. Isto permite fazer a reconstituição paleogeográfica recorrente.

Um ponto importante constitui a possibilidade de averiguar se cada vez que as condições de sedimentação se repetem, elas se mantêm ou não por igual período de tempo. Isto é, por vezes aparecem, dentro de uma mesma série, duas sub-sucessões iguais seguidas, o que provavelmente quer dizer que as condições de sedimentação se mantiveram durante

maior período de tempo, isto é, a recorrência foi sucessiva. Importa aqui relembrar que determinado padrão não é sinónimo de determinado acontecimento, mas sim de uma sequência de acontecimentos.

O contrário também pode acontecer, ou seja, numa série pode faltar uma sub-sucessão, o que eventualmente significará que de uma determinada sequência de condições de deposição não se passou à que logicamente lhe sucederia, mas sim a uma terceira. Isto pode acontecer porque as condições necessárias não se chegaram a estabelecer. Convém que se diga que entre o final de uma série deposicional e o início da seguinte, existe um período de alguma “confusão geomorfológica”, isto é, para que se criem condições para o início de uma sucessão bem ordenada tem que haver transformações. Nem sempre estas se dão no mesmo sentido, sendo que, uma pequena alteração nas condições iniciais, pode estar na origem de um desvio ou salto temporário. Temporário, porque a sucessão de acontecimentos pode vir a ser retomada mais adiante.

Da observação das colunas “estratigráficas” há, ainda, a assinalar a existência de hiatos, representados por rectângulos em branco (com ausência de padrão), que correspondem a períodos de deposição que estiveram sujeitos a condições muito próprias, provavelmente como consequência de acidentes, que originaram características não comparáveis com qualquer outra fase de sedimentação. A explicação pode, todavia, ser menos elaborada, e não ter eventualmente nada a ver com fenómenos geo-

lógicos passados, mas sim com ruído introduzido por via do processo de recolha de amostras, quer por não ter sido tomado em consideração algum factor importante aquando da definição daquela metodologia, quer por algum erro operacional cometido.

Para que seja possível estabelecer um paralelo entre a existência de todas estas séries, e o que em termos geológicos se passou, é necessário estudar mais aprofundadamente a geologia da zona.

De uma forma simplificada, pretende-se que as repetidas sequências litoestratigráficas representadas neste trabalho pelas colunas de rectângulos padronizados, sejam demonstrativas da existência de variações nos ritmos deposicionais de  $\text{CaCO}_3$ , eventualmente devido às variações de  $\text{CO}_2$  na atmosfera, possivelmente devido a fenómenos climáticos. A existência de sazonalidade na combinação das séries de sub-sucessões, é provável que indique correspondente sazonalidade nas variações da taxa de dióxido de carbono.

## AGRADECIMENTOS

O autor agradece as facilidades operacionais dadas pela administração da empresa Cimentos Maceira e Pataias Lda, e pelo apoio do seu laboratório de análises químicas. Um agradecimento especial ao Professor Rocha e Silva e ao Professor Francisco Calheiros, ambos da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

*Recibido: 03 / 05 / 2007*

*Aceptado: 20 / 09 / 2007*

**REFERÊNCIAS**

- BORCHERT, H., MUIR R. O. (1964), *Salt Deposits - The Origin, Metamorphism and Deformation of Evaporites*, D. Van Nostrand Company, Ltd, London.
- BOWEN, B. D. e WEISBERG, H. F. (1977), *An Introduction to Data Analysis*, W. H. Freeman and Company, San Francisco.
- DAVIS, J. C. (1973), *Statistics and Data Analysis in Geology*, John Wiley & Sons, inc., New York.
- DOMINIC, E. e MYERS, K. (1996), *Sequence Stratigraphy*, Blackwell Science Ltd, London.
- DUNBAR, C. O., RODGERS J. (1957), *Principles of Stratigraphy*, John Wiley & Sons, inc., New York.
- EHLERS, E. G. (1982), *Petrology - Igneous, Sedimentary, and Metamorphic*, W. H. Freeman and Company.
- EVANS, G. - *Sedimentation: environment and processes of deposition*, in *Cambridge Enciclopaedia of Earth Sciences*.
- FIÚZA, A. (1990), *Aquisição e Análise de Dados*, Texto de Apoio a Uma Cadeira da Licenciatura em Engenharia de Minas, FEUP, Porto.
- GILL, R. C. O. (1989), *Chemical Fundamental of Geology*, Unwin Hyman Ltd.
- INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE (1991), *Normas Portuguesas - NP2064-1991*.
- KRAUSKOPF, K. B. (1972), *Introduction to Geochemistry*, McGraw-Hill Book Company.
- LEEDER, M. - *Tectonic and Sedimentation*, in *Cambridge Enciclopaedia of Earth Sciences*.
- MADUREIRA, C. N. (1973), *Lições de Jazigos Minerais*, Dep. Minas FEUP, Porto.
- MADUREIRA, C. N. (1983), *Metalogénese Global - Um Curso para a Licenciatura em Engenharia de Minas*, Dep. Minas FEUP Porto.
- MATHEUS, A. K. (1974), *Dynamic Stratigraphy*, Englewood Cliff.
- MASON, B. (1966), *Principles of Geochemistry*, Wiley Int.
- MEIXEDO, J. P. (1997), *Análise de Dados Aplicada à Caracterização de um Maciço Calcário - O Caso das Sequências Depositionais do Maciço de Pataias*, Departamento de Minas da FEUP, Portugal. (Tese de Mestrado)
- MONTGOMERY, JOHNSON and GARNIER (1990), *Forecasting and Time Series Analysis*, McGraw-Hill.
- MORONEY, M. J. (1969), *Facts From Figures*, Penguin Books, Middlesex, England.
- MURTEIRA, B. J. F., MÜLLER, D. A. e TURKMAN, K. F. (1993), *Análise de Sucessões Cronológicas*, McGraw-Hill de Portugal, Lisboa.
- OSELEDEC, V. I. (1968), *A Multiplicative ergodic Theorem: Liapunov Characteristic Numbers for Dynamical Systems*, Trans. Moscow Mathematic Society.
- PEREIRA, L. G. (1971-1972), *Geologia de Portugal*, Universidade de Coimbra.
- PERROT, C. R. (1969), *Etude Stratigraphique Sur le Dogger et le Malm Inférieur du Portugal au Nord du Tage*, Serviços Geológicos de Portugal.
- PERROT, C. R. (1955), *Le Dogger Portugais au Nord du Tage*, Serviços Geológicos de Portugal.
- READING, H. G. ed (1978), *Sedimentary Environments and Facies*, Oxford.
- RIBEIRO, A. & al. (1979), *Introduction à la Géologie Générale du Portugal*, Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- SERVIÇOS GEOLÓGICOS DE PORTUGAL (1963), *Carta Geológica de Portugal - Notícia Explicativa da Folha 26-B - Alcobaca*.
- SERVIÇOS GEOLÓGICOS DE PORTUGAL (1965), *Carta Geológica de Portugal - Notícia Explicativa da Folha 22-D - Marinha Grande*.
- SILVA, J. R., LEITE, M. R. (1983), *Da Formação do Gesso no Retiano-Hetangiano*

- Ocidental e Portugal*, Boletim da Sociedade Geológica de Portugal, Lisboa.
- SMITH, D. (1981), *Cambridge Enciclopaedia of Earth Sciences*, Cambridge.
- SPIEGEL, M. R. (1977), *Schaum's Outline of Theory and Problems of Probability and Statistics*, McGraw-Hill
- TONG, H. (1990), *Non Linear Time Series - A Dynamical System Approach*, Mathematical Institute - University of Kent at Canterbury, Clarendon Press, Oxford.
- WILSON, R. C. L. (1989), *The Lusitanian Basin of West Central Portugal: Mesozoic and Tertiary Tectonic, Stratigraphic, and Subsidence History*.