



Trends as a tool in stratigraphic research with Lacustrine Sedimentation as an example

TENDÊNCIAS COMO FERRAMENTA NA PESQUISA ESTRATIGRÁFICA COM EXEMPLOS NA SEDIMENTAÇÃO LACUSTRINA

HERNANI AQUINI FERNANDES CHAVES ¹

1 - VOLUNTEER PROFESSOR, DEPARTMENT OF STRATIGRAPHY AND PALEONTOLOGY; GRADUATE PROGRAM IN BASIN ANALYSIS AND MOBILE BELTS, STATE UNIVERSITY OF RIO DE JANEIRO, RIO DE JANEIRO, RJ, BRAZIL.

E-MAIL: HAFCHAVES@GMAIL.COM.

Abstract: The Exploration area at Petrobras has always been concerned with training and updating its geologists in Petroleum Geology. A pioneer work from 1973 highlights the applicability of the trend analysis as a methodology for stratigraphic analysis of lacustrine sediments, with examples taken from 200 wells drilled into Aratu Stage sediments in the Recôncavo Basin. The strata mapped were subdivided into four sequences based on regional marker beds. The sequences are not isochronous, which permits demonstrating the importance of the operational definition of the chronostratigraphic unit to be studied. The undivided interval was also mapped for purposes of comparison. Fitting a trend surface to the sandstone/shale ratio expressed employing the theta transform permits the identification of areas of most probable occurrence of different facies tracts, which can then be further analyzed in terms of genetic strata increments (GSI). This identification is possible even when control is insufficient for recognizing deltaic complexes and bars.

Resumo: A área de Exploração da Petrobras sempre foi preocupada em formar e atualizar seus geólogos na Geologia de Petróleo. Um trabalho pioneiro, de 1973 destaca a aplicação e discute a metodologia de análise de tendência para a análise estratigráfica de sedimentos límnicos, sendo os exemplos obtidos em 200 poços que atravessaram os sedimentos do Andar Aratu, na Bacia do Recôncavo. Os estratos mapeados foram subdivididos em quatro sequências, compreendidas entre os marcos litológicos 1, 7, 11, 14 e 15, sequências estas evidentemente não isócronas, o que permitiu demonstrar a importância da definição operacional da unidade cronoestratigráfica a ser estudada. Para efeito de comparação, mapeou-se ainda o intervalo total 1-15. O ajuste de uma superfície de tendência à razão arenito/folhelho, expressa em transformada teta, permite identificar as áreas de ocorrência mais provável dos diferentes tratos faciológicos, indicando-as para posteriores estudos pormenorizados dos Incrementos Genéticos de Estratos (IGE). Tal identificação é possível mesmo quando o controle não for suficiente para se reconhecer complexos deltaicos e de barras.

Citation/Citação: Chaves, H. A. F. (2022). Trends as a tool in stratigraphic research with Lacustrine Sedimentation as an example (bilingual). *Terraê Didática*, 18(Publ. Contínua), 1-15, e022041. doi: 10.20396/td.v18i00.8671391.

Keywords: Recôncavo Basin, Sedimentary sequences, Teaching, Petroleum.

Palavras-chave: Bacia do Recôncavo, Sequências sedimentares, Ensino, Petróleo.

Manuscript/Manuscrito:

Received/Recebido: 01/11/2022

Revised/Corrigido: 21/11/2022

Accepted/Aceito: 18/12/2022



Introdução

A ideia de divulgar este documento é mostrar como a área de Exploração da Petrobras, desde o início, preocupou-se em promover a atualização de seus técnicos e em proporcionar o uso de novas tecnologias em Geologia do Petróleo, bem como, nesta oportunidade, homenagear importantes profissionais que completaram minha formação como Geólogo de Petróleo.

O método analítico usando uma superfície de tendência (análise de tendência) foi usado, pela primeira vez, na resolução de problemas geológicos, por Krumbein (1956) e Miller (1956). A introdução de computadores eletrônicos no trabalho geológico prático levou ao amplo uso da análise de tendências na resolução de vários problemas geológicos. Após 1970, muitos trabalhos podem ser encontrados, nos quais a análise é discutida e aplicada, devido à divulga-

Introduction

The idea of publishing this document is to show how the Exploration area at Petrobras, from the beginning, was concerned with promoting the updating of its technicians and providing the use of new technologies in Petroleum Geology. As author, I also use this opportunity to honor very important professionals completing my training as a Petroleum Geologist.

The analytical method using a trend surface (trend analysis) was first used in solving geological problems by Krumbein (1956) and Miller (1956). The introduction of electronic computers in practical geologic work has led to the wide use of trend analysis in solving various geological problems. After 1970, many papers may be found where the method is discussed and applied due to divulgation by the International

ção pela *International Association of Mathematical Geology* (IAMG) (Romanoff,1970).

Nos últimos anos, a análise de tendências tornou-se cada vez mais popular para resolver problemas geológicos. O método envolve uma superfície de regressão bidimensional, nas coordenadas geográficas dos pontos de observação, para aproximar os valores observados, pertencentes a uma associação homogênea em suas relações geológicas. Um valor é a soma de um componente sistemático, que é a expectativa matemática condicional de um processo aleatório bidimensional, e um componente aleatório.

Durante os Cursos de Projetos Especiais em Geologia, realizados em 1971 e 1972, no então Setor de Formação Superior da Petrobras na Bahia (Setup/BA), foram realizadas análises estratigráficas regionais pioneiras nos Andares inferiores da Série Recôncavo, ou seja, Andar Rio da Serra, em 1971, e Andar Dom João, Andar Aratu e Andar Buracica, em 1972. A análise estratigráfica procurou testar a viabilidade e limitação das ideias de Wermund & Jenkins (1970), desenvolvidas para deposição deltaica marinha, e aplicá-las em deltas límnicos dos diferentes tratos faciológicos do sistema deposicional aceito para essas etapas. dentre outros objetivos, durante os cursos mencionados, buscou-se estabelecer um sistema de escolha das variáveis a serem mapeadas. O sistema consiste em utilizar técnicas geomatemáticas adequadas à localização mais provável de alvos procurados. Para resumir as experiências adquiridas nos dois cursos mencionados acima, foi apresentado um trabalho no XXVII Congresso Brasileiro de Geologia (Chaves, 1973). O artigo, usado como base deste trabalho, discute a escolha das variáveis a serem utilizadas nos mapas de fácies, apresentando uma aplicação de análise de tendência para deltas límnicos utilizando exemplos do trabalho realizado para a unidade límnic do Andar Aratu.

Este artigo é uma revisão do trabalho de Chaves (1973), cujo objetivo é oferecer orientação prática sobre *Trend Surface Analysis* em pesquisas estratigráficas sequenciais, divulgando alguns achados valiosos na análise estratigráfica regional mencionada que podem ser aplicados em pesquisas futuras. Na medida do possível, as ilustrações são “fac-símiles” das de Chaves (1973), salvo indicação em contrário.

O setor de Exploração da Petrobras sempre esteve comprometido com o uso de novas tecnologias e computadores, tanto ao enviar profissionais para o exterior, quanto ao oferecer cursos de atualização contínua em seus Setores de Educação. Vale mencionar a importância desse esforço nesta ocasião.

Association of Mathematical Geology (IAMG) (Romanoff,1970).

In recent years, trend analysis has become increasingly popular for solving geologic problems. The method involves a surface of two-dimensional regression on the geographic coordinates of observation points to approximate observed values belonging to an association homogenous in its geological relations. A value is the sum of a systematic component, which is the conditional mathematical expectation of a two-dimensional random process, and a random component.

During the Special Projects Courses in Geology, held in 1971 and 1972, at the then Petrobras Higher Training Sector of Bahia (Setup/BA), pioneer regional stratigraphic analyzes were carried out on the lower Stages of the Recôncavo Series, that is, Rio da Serra Stage, in 1971, and Dom João Stage, Andar Aratu and Andar Buracica, in 1972. The stratigraphic analysis tried to test the feasibility and limitation of Wermund & Jenkins's (1970) ideas, developed for marine deltaic deposition, for limnic deltas of the different faciological tracts of the accepted depositional system for these stages. Among other objectives, during the mentioned courses, it sought to establish a system for choosing the variables to be mapped. This system is to use geomathematical techniques appropriate to the most likely location.

To summarize the experiences acquired in the two courses mentioned above, a paper was presented at the XXVII Brazilian Geological Congress (Chaves, 1973). This paper (used as the base of this work) discusses the choice of variables to be used in the facies maps, presenting an application of trend analysis to limnic deltas using examples of the work done for the Aratu Stage limnic unit.

This paper is a revision of Chaves (1973). It aims to offer practical guidance on “Trend Surface Analysis” in sequence stratigraphic research by divulging some worthwhile findings in the mentioned regional stratigraphic analysis that can be applied in future research. Unless otherwise stated, the illustrations are “fac-símiles” of those by Chaves (1973).

The Petrobras Exploration sector has always been committed to using new technologies and computers and has sent professionals abroad and offered continuous updating courses using its Education Sectors.

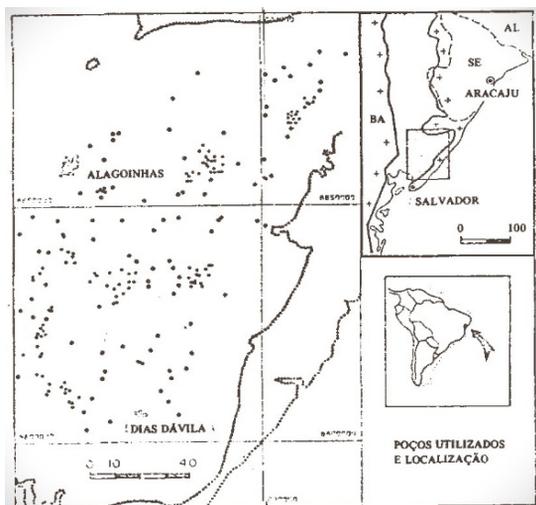


Figura 1. Mapa mostrando a localização da área estudada e a distribuição dos poços utilizados na análise. Fonte: fac-símile do relatório de Chaves (1973)
 Figure 1. Map showing the location of the studied area and the distribution of the wells used in the analysis. Source: fac-símile of the report by Chaves (1973).

Geologia Geral¹

Devido à ocorrência limitada de marcos elétricos que diferenciam, em subsuperfície, as diversas seqüências genéticas que correspondem à Formação Pojuca, apenas 7.000 km² são contemplados neste estudo, que contemplou uma porção do Recôncavo Baiano, as áreas centro-leste e nordeste da Bacia. Na Bacia do Recôncavo, a formação é a principal representante litoestratigráfica do Andar Aratu, com cerca de 200 poços utilizados como os mais representativos.

O quadro estrutural atual do Recôncavo decorre principalmente do tectonismo tafrogênico que afetou a área durante o Cretáceo Inferior, formando um lago. O lago foi progressivamente assoreado a partir do Andar Rio da Serra por sedimentação deltaica, com sedimentos provenientes principalmente do “horst” de Salvador, a leste da bacia, embora também tenha ocorrido sedimentação a oeste. Durante a sedimentação do Andar Aratu, os processos tectônicos foram atenuados, permitindo uma grande extensão lateral dos diferentes tratos faciológicos.

O Andar Aratu abrange, na área estudada, sedimentos da Formação Pojuca (Fig. 2) contendo arenitos, siltitos, folhelhos e calcários intercalados entre si, sendo que alguns destes folhelhos e calcários estão distribuídos regionalmente, com características elétricas que permitem excelen-

1 Baseada em bibliografia anterior a 1973 (Chaves, 1973).

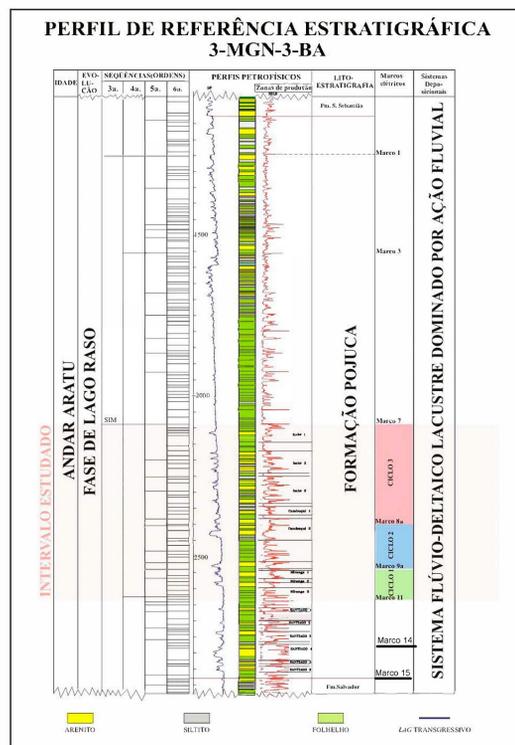


Figura 2. Perfil elétrico típico mostrando a litologia e estratigrafia. Fonte: Modificado de Della Favera et al. (2019)

Figure 2. Typical electrical log showing the lithology and stratigraphy. Source: Modified from Della Favera et al. (2019)

General Geology¹

Because of the limited occurrence of electrical marker beds that differentiate, in the subsurface, the various genetic sequences that correspond to the Pojuca Formation, only 7,000 km² is covered in this study. A portion of the Recôncavo Baiano, the central-eastern and northeastern areas of the basin, is covered in this study. In the Recôncavo Basin, this formation is the thicker lithostratigraphic unity representative of the Aratu Stage, with around 200 wells used as the most representative.

The present structural framework of the Recôncavo stems mainly from the taphrogenic tectonism that affected the area during the Lower Cretaceous, forming a lake. The lake was progressively silted up from Rio da Serra Stage by deltaic sedimentation, mainly from the “horst” of Salvador, east of the basin. However, sedimentation also occurred from the west. During the sedimentation of the Andar Aratu, the tectonic processes were attenuated, allowing a large lateral extension of the different faciological tracts.

1 Based on bibliography before 1973 (CHAVES, 1973).

tes correlações no centro-norte e nordeste do Recôncavo. Um ou mais corpos de arenito são intercalados com camadas de folhelho entre os marcadores 11 e 14, semelhantes ao restante da seção, mas chamados de Santiago por causa de sua persistência regional.

Metodologia

Correlação Geológica

A correlação geológica dos poços que perfuraram a seção do Andar Aratu é relativamente direta devido ao fácil reconhecimento de seus leitos de marcos elétricos. Este fato não é corroborado no Andar Rio da Serra, que é delimitado em sua base pelo topo do Membro Tauá da Formação Candeias e em seu topo pelo leito do Marco 15.

Intervalos utilizados no Mapeamento de Fácies

O elemento fundamental no mapeamento estratigráfico é a escolha de horizontes limitadores verticalmente (Krumbein & Sloss, 1963). Nenhum marco estratigráfico permite subdividir o trecho entre o topo do Membro Tauá da Formação Candeias e o leito marcador 15. A espessura do Andar Rio da Serra varia de 300 m a mais de 3.000 m ao longo da borda leste da bacia, representando intervalos de tempo e espessura, e a solução foi aceitar intervalos aritméticos ou geométricos (Petróleo Brasileiro, 1972). Gama Jr. & Fonseca (1971) conduziram o estudo.

Existe uma boa correlação entre os sedimentos da Formação Pojuca no Andar Aratu, sendo que apenas os marcos 1, 7, 11, 14 e 15 ocorrem regionalmente, o que permite a subdivisão em intervalos cronoestratigráficos regionais. Observando o perfil elétrico típico (Fig. 2), observa-se que as seções entre as marcas aumentam em espessura de baixo para cima, com o intervalo 1-7 representando cerca de 3,5 vezes a espessura do intervalo 14-15. Foram elaborados Mapas de Fácies desses intervalos e do Andar Aratu completo para serem comparados, cada intervalo mapeado devendo incluir alguns formatos proporcionais à sua espessura. Como os processos sedimentares não variaram durante a deposição do Estágio Aratu, espera-se que as sequências naturais de estratos ou formatos, conforme definido por Forgotson (1957), tenham espessuras aproximadamente uniformes.

The Aratu Stage covers, in the studied area, sediments of the Pojuca Formation (Fig. 2) containing sandstones, siltstones, shales, and limestones intercalated together, and some of these shales and limestones are regionally distributed, with electrical characteristics that allow excellent correlations in the north-central and northeastern parts of Recôncavo. One or more sandstone bodies are interspersed with shale layers between marker beds 11 and 14, similar to the rest of the section but called Santiago because of their regional persistence.

Methodology

Geological Correlation

The geological correlation of the wells that drilled the Aratu Stage section is relatively straightforward due to the easy recognition of their electrical marker beds. However, this fact is not supported by the Rio da Serra Stage, delimited in its base by the top of the Tauá Member of Candeias Formation and at its top by marker bed 15.

Intervals Used for Facies Mapping

The fundamental element of stratigraphic mapping is the choice of vertically limiting horizons (Krumbein & Sloss, 1963). Unfortunately, no stratigraphic landmarks allow the section to be subdivided between the top of the Tauá Member of the Candeias Formation and marker bed 15. This interval's thickness ranges from 300 m to more than 3,000 m along the basin's eastern edge, representing intervals of time and thickness. The solution was to accept arithmetic or geometric intervals (Petróleo Brasileiro, 1972). Gama Jr. & Fonseca (1971) conducted the study.

There is a good correlation between the sediments of the Pojuca Formation at Aratu Stage, with only landmarks 1, 7, 11, 14, and 15 occurring regionally, which allows subdivision into regional chronostratigraphic intervals. Observing the typical electrical log (Fig. 2), it can be seen that the sections between the marks increase from bottom to top, with interval 1-7 representing about 3.5 times interval 14-15. Although facies maps obtained from intervals and Aratu Stages are compared, each mapped interval must include some formats proportional to its thickness. As sedimentary processes did not vary during the deposition of the Aratu Stage, it is expected that the natural sequences of

Um sistema de arquivo de dados litológicos da Direx²/Sinal da RPBA³ foi utilizado para coletar os dados faciográficos de 1967 a 1970, conforme procedimento descrito por Bettini & Cenachi (1971). Além da identificação do horizonte estratigráfico, o perfil elétrico e as descrições de folhelho nas amostras de calha foram utilizados para identificar a principal litologia de cada intervalo de um poço a pelo menos cada 0,5 m. O intervalo foi registrado no Sistema Litológico Direx/Sinal da RPBA, coletado por geólogos entre 1967 e 1970 (Bettini & Cenachi, 1971). Esses dados permitiram a elaboração de diversos mapas de isólitais e razões com base no número de corpos de cada litologia e na espessura do calcário, do conglomerado, do arenito, do silte e do total. O computador plotou os pontos amostrais no Petrobras Setup/B.A. em 1971 e 1972, e as linhas isopletas foram desenhadas manualmente. No entanto, os mapas de Chaves (1973) foram todos desenhados a partir de gráficos gerados por computador, incluindo as curvas de contorno.

Escolha das variáveis para o mapeamento faciográfico

O objetivo da análise estratigráfica regional é estabelecer e verificar um modelo deposicional, examinando a variação de fácies em uma unidade estratigráfica e, em uma segunda etapa, identificar os diferentes tratos faciográficos de maior interesse econômico em um modelo. Nos sedimentos associados aos andares Rio da Serra e Aratu, intercalam-se conglomerados, arenitos, siltitos, folhelhos e calcários. Com isso, a escolha das variáveis e a posterior apresentação dos resultados é fundamental na identificação das fácies.

Os sedimentos da “Formação Ilhas, Membro Superior” (intervalo 14-15) foram estudados por Miura et al. (1969), empregando um mapa de fácies convencional, com calcário localizado em um polo e areia, conglomerado e silte nos outros polos. O calcário compõe uma pequena porcentagem desta seção, mas não difere muito da relação areia/folhelho. Na Análise Estratigráfica do Estágio Rio da Serra (Petróleo Brasileiro, 1972), procurou-se mapear cada litologia isolada, ou seja, o calcário, o conglomerado e o arenito, que foi dividido em arenito em geral e arenito maciço, não sendo considerado o siltito. Esses mapas levaram à conclusão de que conglomerados e arenitos estão associados

strata or formats, as defined by Forgotson (1957), would have approximately uniform thicknesses.

A lithological datafile system of Direx²/Sinal of the RPBA³ [2] was used to collect faciographical data from 1967 to 1970, according to the procedure described by Bettini & Cenachi (1971). Moreover, electrical logs and mud-in-sample descriptions were used to identify the main lithology of each interval of at least 0.5 m in a well. Each interval was recorded on the Direx/Sinal Lithological System of the RPBA, collected by geologists between 1967 and 1970 (Bettini & Cenachi, 1971). This data enabled the preparation of several maps of isolites and ratios based on the number of bodies of each lithology and the thickness of limestone, conglomerate, sandstone, silt, and the total. The computer plotted entries at Petrobras Setup/BA in 1971 and 1972, and isopleth lines were drawn manually. However, the maps in Chaves (1973) were all drawn from computer-generated graphs, including contour curves.

Choice of Variables for facies mapping

An objective of the regional stratigraphic analysis is to establish and verify a depositional model by examining the facies variation in a stratigraphic unit and, in a second step, to identify the different facies of greater economic interest in a model. For example, in the sediments associated with the stages Rio da Serra and Aratu, conglomerates, sandstones, siltstones, shales, and limestones are intercalated. As a result, the choice of variables and subsequent presentation of the results is crucial in identifying facies.

The “Islands Formation, Upper Member” sediments (interval 14-15) were studied by Miura et al. (1969), employing a conventional triangle facies map, with limestone located at one pole and sand, conglomerate, and silt at the other poles. Limestone makes up a small percentage of this section, but it does not differ much from the sand/shale ratio. In the Stratigraphic Analysis of Rio da Serra Stage (Petróleo Brasileiro, 1972), an attempt was made to map each isolated lithology, that is, the limestone, the conglomerate, and the sandstone, which was divided into the sandstone in general and massive sandstone, not being considered the siltstone. These maps led to the conclusion that conglomerates and sand-

2 Divisão de Exploração
3 Região de Produção da Bahia

2 Exploration Division
3 Production Region of Bahia

ao mesmo sistema deposicional, deixando de considerar o problema dos siltitos. Foi aplicado com sucesso ao triângulo clássico de arenito em um polo, arenito maciço em outro e folhelho no terceiro. No caso do Andar Aratu, assumiu-se que o modelo deposicional era o mesmo do Andar Rio da Serra, sem a localização do silito.

A colocação do silito, seja no numerador ou denominador, foi questionada no caso do Andar Aratu. A razão entre conglomerados e arenitos e folhelhos mais siltitos, bem como a razão entre siltitos e folhelhos, foram calculadas e mapeadas para sanar a dúvida. Como resultado da combinação desses dois mapas (Fig. 3), a razão silito/folhelho é semelhante à razão arenito/folhelho, e a predominância do silito sobre o folhelho pode ser indicativa de sistemas deltaicos.

Três explicações podem ser oferecidas e todas contribuíram para a situação observada:

1. De acordo com item anterior, a identificação dos siltitos começa pelos perfis elétricos, o que é muito difícil. Assim é provável que apenas os siltitos grosseiros ou os arenitos silticos sejam identificados como este tipo de rocha.
2. Os rios que drenam áreas de origem sedimentar fortemente erodidas têm maior carga de silte e areia fina do que sedimentos grossos. Assim, somente esse tipo de sedimento pode ser depositado em áreas de energia relativamente mais alta. Quanto ao Andar Rio da Serra, no entanto, o rejuvenescimento das áreas de origem parece menos provável de ter acontecido nos estratos do Andar Aratu.
3. Em momentos de baixos níveis de energia em uma área de deposição, como ficou evidente na Bacia do Recôncavo durante a deposição do Andar Rio da Serra, apenas os sedimentos mais finos são suscetíveis à ação dispersiva das correntes intrabaciais. A comparação dos triângulos que localizam os pontos em coordenadas trilinares (Fig. 4) mostra uma diminuição progressiva do teor de silito quando considerados os intervalos superiores.

Com relação aos diagramas triangulares, vale destacar a semelhança entre o triângulo que representa o total de Andar Aratu e o que representa o Intervalo 1-7. Assim, a relação areia/folhelho, incluindo silito no numerador, foi usada para distinguir entre rochas indicadoras de ambientes de energia relativamente alta e aquelas de ambientes de baixa energia.

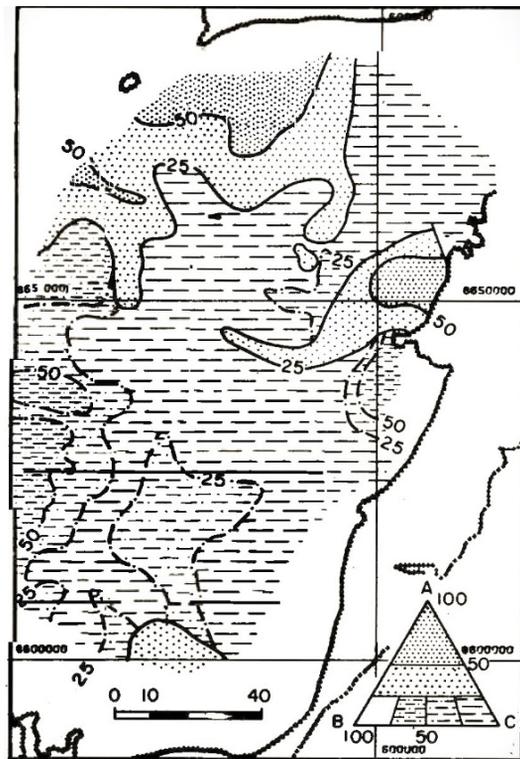


Figura 3. Mapa de fácies tricomponente, areia + conglomerado, silte e folhelho do Intervalo dos marcos 14-15. Fonte: fac-símile do relatório de Chaves (1973)

Figure 3. Map of tricomponent (A) sandstone + conglomerate, (B) silt & (C) shale facies of the 14-15 interval. Source: fac-símile of the report by Chaves 1973)

stones are associated with the same depositional system, leaving the problem of siltstones. It has been successfully applied to the classic triangle of sandstone at one pole, massive sandstone in another, and shale in the third. In the case of the Aratu Stage, the depositional model was assumed to be the same as that for the Rio da Serra Stage, without the siltstone location.

The silt placement, whether in the numerator or denominator, was questioned in the case of the Aratu Stage. The ratio between “conglomerates + sandstones” and “shales + siltstones”, as well as the ratio between “siltstones + shales”, were calculated and mapped to resolve the doubt. As a result of combining these two maps (Fig. 3), the siltstone/shale ratio is similar to the sandstone/shale ratio, and the predominance of siltstone over shale may be indicative of deltaic systems.

Three explanations can be offered for this situation, and all have contributed to the observed situation:

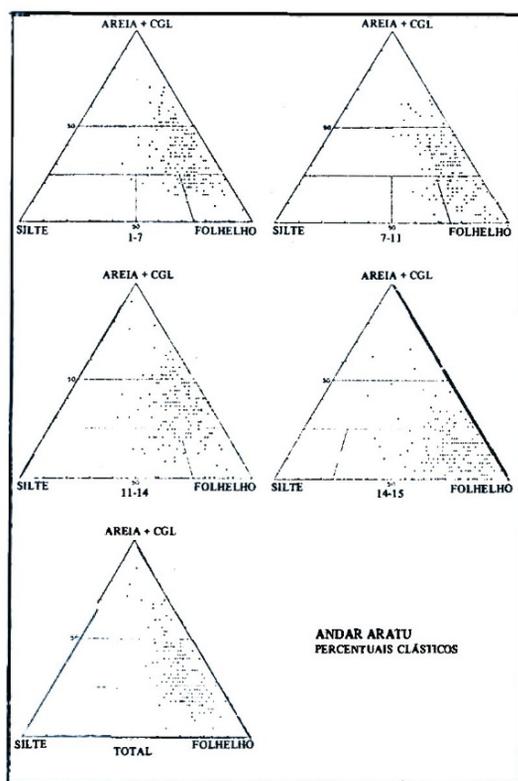


Figura 4. Diagramas triangulares de porcentagens de arenito + conglomerado, silte e folhelho. Fonte: fac-símile do relatório de Chaves (1973)

Figure 4. Triangular diagrams of sandstone + conglomerate, silt, and shale percentages. Source: fac-simile of the report by Chaves 1973)

Uso de transformações para dados expressos em Porcentagens e Razões

Desde 1957, Krumbein destacou a conveniência de utilizar a transformação arco seno (teta) ao expressar dados em razões como uma porcentagem da transformação arco-tangente. Em seu livro de 1963 *Stratigraphy and Sedimentation* (Krumbein & Sloss), Krumbein apenas mencionou a transformação. Aplicações geoquímicas e paleontológicas dessa transformação têm sido usadas recentemente em geologia. Chaves (1973), não tinha conhecimento de nenhum mapa publicado utilizando essa transformação até 1973. A FIG. 5 ilustra a relação entre o ângulo e a porcentagem correspondente. Quando expresso em porcentagem ou proporção, o gráfico mostra a introdução de um componente de terceira ordem. Sempre que equações de segunda ordem são interpoladas em um computador, esse componente é indesejável. Além disso, ao usar dados percentuais, diferenças iguais entre as escalas podem não ter o mesmo significado. Há menos

1. According to the previous item, identifying siltstones begins with electrical logs, which is very difficult. Therefore, only coarse siltstone or silty sandstone is likely to be identified as this type of rock.
2. Rivers that drain heavily eroded source areas have more silt and fine sand than coarse sediments. Thus, only this type of sediment can be deposited in areas of relatively higher energy. As for the Rio da Serra stage strata, however, rejuvenation of source areas seems less likely to have happened in the Aratu Stage strata.
3. At times of low energy levels in a deposition area, as was evident in the Recôncavo Basin during the Andar Rio da Serra deposition, only the finest sediments are susceptible to the dispersive action of intrabacinal currents. Consequently, comparing the triangles locating the points in trilinear coordinates (Fig. 4) shows a progressive decrease in siltstone content as the intervals increase.

Regarding the triangular diagrams, the similarity between the triangle representing the total of Andar Aratu and that representing the 1-7 interval is worth mentioning. Accordingly, the sand/shale ratio, including silt in the numerator, was used to distinguish between indicator rocks from relatively high-energy environments and those from low-energy environments.

Use of the Arc Sine (Theta) Transformation for the Percent Data

Since 1957, Krumbein has highlighted the convenience of utilizing the arc sine (theta) transformation when expressing data in ratios as a percentage of the arctangent transformation. In his 1963 book *Stratigraphy and Sedimentation* (Krumbein & Sloss), Krumbein only mentioned the transformation. However, geochemical and paleontological applications of that transformation have been used recently in geology. According to Chaves (1973), no published maps used that transformation until 1973. FIG. 5 illustrates the relationship between the angle and the corresponding percentage. When expressed as a percentage or ratio, the graph shows the introduction of a third-order component. Whenever second-order equations are interpolated on a computer, this component is undesirable.

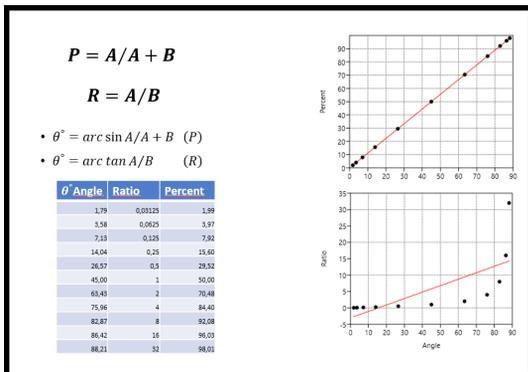


Figura 5. Relação entre porcentagem e transformações de arco seno; relações e transformação arc tan. Fonte: do autor.

Figure 5. Relationship between percentage and arc sine transformations. Source: Author

significância entre 50 e 55 por cento do que entre 5 e 10 por cento (Krumbein, 1957).

Em 1970, Wermund & Jenkins propuseram analisar mapas de razão com base em desvios positivos da superfície de tendência, que teriam um significado diferente quando expressos em porcentagem. Uma transformação de arco seno foi usada para mapear a relação areia/folhelho, a saber:

$$\theta^\circ = \text{ArcSin}\left(\frac{A}{A + B}\right)$$

Onde:

A=Conglomerado+Areia+Silte

B=Shale

A Figura 6 mostra o mapa obtido aplicando a transformação acima aos dados do mapa na Figura 3. Comparando os mapas das Figuras 3 e 6, fica evidente que a variação de fácies espalhada na Figura 3 fica mais definida na Figura 6 devido à Transformada Arcseno padronizar a variação entre as fácies.

Aplicação da análise de superfície de tendência em mapa da razão areia/folhelho

Justificativa

A análise da superfície de tendência é uma regressão multivariada em que as variáveis são três, com as variáveis independentes x e y representadas por coordenadas geográficas (ou qualquer sistema de coordenadas com eixos paralelos). A variável dependente z é a variável observada (mapeada),

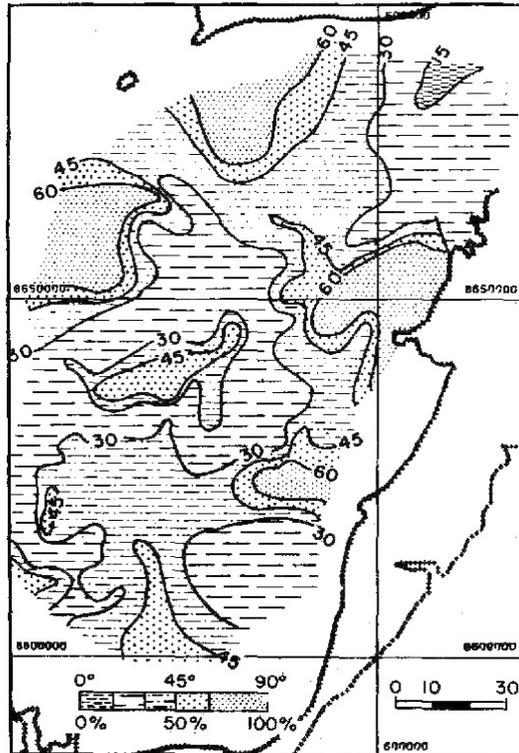


Figura 6. Mapa da razão areia/folhelho usando a transformação Arco-Seno aos dados da figura 3. Fonte: fac-símile de Chaves (1973)

Figure 6 shows the map obtained by applying the above transformation to the map data in Figure 3. Comparing the maps in Figures 3 and 6, it is evident that the facies variation spread in Figure 3 becomes more defined in Figure 6 due to the Arcsine Transform standardizing the variation between the facies. Source: fac-símile of the report by Chaves 1973)

Also, when using percentage data, equal differences across scales may not have the same meaning. For example, there is less significance between 50 and 55 percent than between 5 and 10 percent (Krumbein, 1957). In 1970, Wermund & Jenkins proposed analyzing ratio maps based on positive deviations from the trend surface, which would have a different meaning when expressed in percentage. An arc sine transformation was used to map the sand/shale ratio, namely:

$$\theta^\circ = \text{ArcSin}\left(\frac{A}{A + B}\right)$$

Where:

A=Conglomerate+Sand+Silt

B=Shale

como posição estrutural, isópaca ou porcentagem de areia. O método dos mínimos quadrados ajusta uma superfície teórica do grau aos dados observados. Os efeitos regionais são representados por esta superfície, enquanto os desvios indicam efeitos locais.

Segundo Krumbein, o modelo implica uma variação regional e uma local:

$$z = F(x,y) + f(x,y) + \varepsilon$$

$F(x,y)$: Calculado por mínimos quadrados, o componente regional das observações é uma função de x,y .

$f(x,y)$: Desvios locais da superfície de tendência, uma função de x,y , podem indicar anomalias (Krumbein & Graybill, 1965).

ε : Componente aleatório local (Parsley, 1971)

Quanto maior o grau da superfície teórica, melhor será sua aderência aos dados. O aumento dos coeficientes de correlação entre os valores observados e calculados indicam adesão. Superfícies ajustadas explicam a variação por sua aderência aos dados originais e dispersão, expressa pelo coeficiente de dispersão (**CD %**). A análise de superfície de tendência é uma operação somente numérica. Os elementos da tendência ou resíduo, que são isolados, devem ser vistos, em primeiro lugar, como artefatos matemáticos adequados à análise de mapas, sem necessariamente estarem associados a um significado geológico (Parsley, 1971).

Moore & Asquith (1971) definem um delta como uma massa de sedimentos contíguos subaéreos e submersos depositados em um corpo de água. Um delta é geralmente formado pelo deslocamento local da linha de praia sobre uma área de deposição mais lenta, indicada por uma litologia particular, quase sempre formando um marco cronoestratigráfico. Em um padrão de distribuição regional, os agentes deltaicos depositam suas areias de canal e barras distributivas. Uma análise de tendência das porcentagens de isópacas de areia pode ser usada para identificar complexos deltaicos marinhos, mesmo em áreas onde as sequências estratigráficas não podem ser reconhecidas ou onde o controle do poço é insuficiente, de acordo com Wermund & Jenkins (1970). Suponha que o intervalo estudado não forme uma sequência natural de estratos, FORMAT, conforme definido por Forgotson (1957), ou um incremento genético de estratos (IGE), conforme definido por Bush (1971). Nesse caso, os desvios positivos definem complexos deltaicos. A mesma metodologia pode

Application of trend analysis for analysis of the map of sand/shale ratio

Justification

A dependent variable is a mapped variable, such as structural position, isopach, or sand percentage. An analysis of a trend is a multivariate regression analysis in which the variables are represented in the form of a tree, with the independent variables represented by geographic coordinates (or any coordinate system with parallel axes). The least squares method fits a theoretical surface of the degree to the observed data. Regional effects are represented by this surface, while deviations indicate local effects:

$$y = F(x,y) + f(x,y) + \varepsilon(x,y)$$

$F(x,y)$: Calculated by least squares, the regional component of the observations is a function of x,y .

$f(x,y)$: Local deviations from the trend surface, a function of x,y , may indicate anomalies (Krumbein & Graybil, 1965).

ε : Local random component (Parsley, 1971)

The higher the degree of the theoretical surface, the better its adherence to data will be. Increased correlation coefficients between observed and calculated values indicate adherence. Adjusted surfaces explain variation by their adherence to the original data and dispersion, expressed by the dispersion coefficient (**CD %**).

Trend surface analysis is a numeric-only operation. Therefore, the elements of the trend or residue, which are isolated, should be seen, in the first place, as mathematical artifacts suitable for the analysis of maps, without necessarily being associated with a geological meaning (Parsley, 1971).

Moore & Asquith (1971) define a delta as a mass of contiguous subaerial and submerged sediments deposited in a body of water. A delta is usually formed by local development of the beach line over an area of slower deposition, indicated by a particular lithology, almost always forming a chronostratigraphic landmark. In a regional distribution pattern, deltaic agents deposit their channel sands and distributary bars. A trend analysis of sand isopach percentages can be used to identify marine deltaic complexes, even in areas where stratigraphic sequences cannot be recognized or where well control is insufficient, according to Wermund & Jenkins (1970). For example, suppose the studied

ser utilizada para reconhecer complexos deltaicos límnicos, formados principalmente pela ação fluvial e utilizando silte e areia. Sedimentos do Andar Aratu, intervalo 14-15, foi estudado com sucesso utilizando este expediente (Fig.7).

Comparando os desvios positivos (Fig. 7) com o mapa da relação areia/folhelho (Fig. 6), há uma melhor delimitação das áreas deltaicas a leste, oeste e sul. A norte, o mapa de razão pode ser interpretado como sugerindo outra área deltaica, o que não é confirmado pelos desvios, enquanto o comportamento da superfície tendencial sugere que esta é uma área de maior dispersão de areia.

Escolha do Grau da Superfície de Tendência a ser usado

Uma formulação algébrica de análise da tendência envolve ajustar um polinômio de n graus aos dados observados da seguinte forma:

$$Z_n = C_i x^i y^{n-i}, i = 0, 1, 2 \dots n$$

$$Z_n = \sum_{i=1}^n C_i x^i y^{n-i}, i = 0, 1, 2 \dots n$$

O processo de ajuste resulta em coeficientes que satisfazem os critérios de mínimos quadrados. As diferenças entre os valores observados e calculados são componentes locais ou desvios em cada ponto de observação. A superfície ajustada geralmente tem um componente regional ou uma tendência.

Para os geólogos interpretarem os resultados da superfície de tendência e seus desvios, eles precisam usar o raciocínio geológico. A escolha de qual ordem de superfície de tendência reflete melhor o componente regional dos dados fica a critério do geólogo. Você pode escolher com base em critérios numéricos, mas as razões geológicas devem prevalecer. Geralmente, quanto maior o grau de superfície ajustada, maior o coeficiente de determinação.

É importante considerar a qualidade dos dados ao analisá-los. Uma amostragem deficiente pode fazer com que os resultados sejam difíceis de interpretar devido ao "ruído". A distribuição de pontos de controle determina a forma da superfície, e deve-se tomar cuidado se a distribuição de pontos for tendenciosa (Doveton & Parsley, 1970).

Não importa se a variável estudada é estrutura, isópaca ou fácies, o componente regional de grandes áreas raramente é descrito por um plano ou superfície de primeira ordem na natureza (Wer-

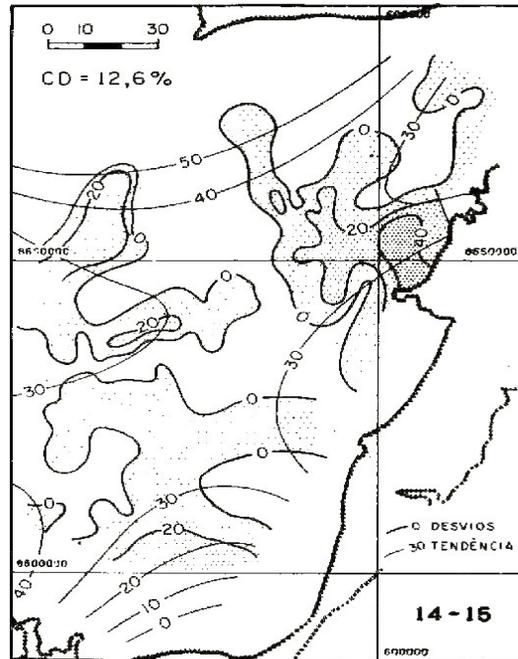


Figura 7. Mapas de tendência de 3ª ordem e desvio positivo da razão areia/folhelho do Intervalo 14-15.

Figure 7. 3rd order trend and positive deviation maps of the sand/shale ratio, from the 14-15 interval Source: fac-simile of the report by Chaves 1973)

interval does not form a natural sequence of strata, FORMAT, as defined by Forgotson (1957), or a genetic increment of strata (GIS), as defined by Bush (1971). In that case, the positive deviations define deltaic complexes. The same methodology can be used to recognize limnic deltaic complexes, primarily formed by river action and using silt and sand. Sediments from Rio da Serra and Aratu Stages, intervals 14-15, were successfully studied using this expedient (Fig. 7).

Comparing the positive deviations (Fig. 7) with the sand/shale ratio map (Fig. 6), there is a better delineation of the deltaic areas to the east, west, and south. To the north, the ratio map can be interpreted as suggesting another deltaic area, which is not confirmed by the deviations. In contrast, the trend surface behavior suggests that this is an area of more sand dispersion.

Choice of the Degree of Tendency Surface to be Used

An algebraic formulation of trend analysis involves fitting an n -degree polynomial to the observed data as follows:

$$Z_n = C_i x^i y^{n-i}, i = 0, 1, 2 \dots n$$

$$Z_n = \sum_{i=1}^n C_i x^i y^{n-i}, i = 0, 1, 2 \dots n$$

mund & Jenkins, 1970). Com referência à Fig. 1, é evidente que a distribuição de poço usada não é uniforme. Nas áreas intermediárias, há grandes clareiras e grande concentração de pontos próximos aos campos de petróleo. Além disso, a distribuição de pontos torna a matriz de solução das equações normais de mínimos quadrados instável (mal condicionada) e afeta a forma da superfície ajustada. A superfície de terceira ordem foi selecionada apesar da possibilidade de uma ordem superior ser mais apropriada.

Interpretação dos resultados da análise de tendências

Pode ser um desafio aplicar a análise de tendências quando não há um propósito claro. Foi sugerido por Parsley (1971) que os processos sedimentares consistem em três componentes agindo ao acaso. É fundamental ter um modelo consistente. Os dados geológicos são tipicamente categorizados em dois tipos: regionais e residuais. Chaves (1973) teve como objetivo separar a dispersão arenosa intrabacinal da dispersão deltaica em ambiente lacustre.

Parâmetros

- número de pontos de controle (n)
- área de controle (A) (menor área contendo todos os pontos de controle, envoltória convexo)
- área média (A/n) associada a cada ponto de controle

Componentes dos dados, mapeadas

- Regional*: resposta a um processo (ou processos) em área maior que a área de controle e sem repetição.
- Local*: resposta a processos (ou processos) que operam em uma área menor que a média, mas maior que a área de controle
- Resíduo*: resulta de um processo aleatório (ou não aleatório) que opera em uma área menor que a média. Esses três componentes nem sempre são fáceis de separar ou necessários, mas devem ser considerados ao selecionar o grau de superfície de tendência.

Com relação à distribuição das areias e a localização dos agentes deltaicos, Wermund &

The adjustment process results in coefficients that satisfy the least squares criteria. The differences between observed and calculated values are local components or deviations at each observation point. The adjusted surface usually has a regional component or a trend.

For geologists to interpret the results of the trend surface and its deviations, they need to use geological reasoning. Choosing which order of trend surface best reflects the regional component of data is up to the geologist. You can choose based on numerical criteria, but geological reasons must prevail. Generally, the greater the degree of fitted surface, the greater the coefficient of determination.

It is essential to consider the quality of the data when analyzing it. Poor sampling can cause results to be challenging to interpret due to “noise”. In addition, control point distribution determines the surface’s shape, and caution must be taken if point distribution is biased (Doveton & Parsley, 1970).

No matter whether the studied variable is structure, isopach, or facies, the regional component of large areas is rarely described by a plane or surface of the first order in nature (Wermund & Jenkins, 1970). Referring to Fig 1, it is apparent that the used well distribution is not uniform. In the intermediate areas, there are large clearings and a large concentration of points next to the oil fields. Furthermore, the points distribution makes the solution matrix of the normal least-squares fit equations unstable (ill-conditioned) and affects the shape of the fitted surface. The third-order surface was selected despite the possibility of a higher order being more appropriate.

Interpretation of trend analysis results

It can be challenging to apply trend analysis when there is no apparent purpose. It has been suggested by Parsley (1971) that sedimentary processes consist of three components acting at random. Geological data are typically categorized into two types: regional and residual. Chaves (1973) aimed to separate intrabacinal sand dispersion from deltaic dispersion.

Parameters

- number of control points (n)
- control area (A) (smallest area containing all control points, convex hull)
- average area (A/n) associated with each control point

Jenkins (1970) propõem que o intervalo total estudado seja dividido em incrementos genéticos de estratos (IGEs), implicando correlações minuciosas e controle rígido para reconhecer deltas e suas diversas ambientes. A divisão aritmética do intervalo total é recomendada quando tais requisitos não podem ser atendidos. Desvios positivos, neste caso, definem complexos deltaicos, não o delta em si, na análise de tendência. Para o estudo de complexos deltaicos e de barras, a análise de tendência da relação areia/folhelho permite a melhor divisão cronoestratigráfica possível, mesmo fatiamento geométrico quando há pouco controle disponível. Para separar o componente local, no entanto, os estratos devem ser separados para que, na medida do possível, os processos deltaicos possam persistir verticalmente dentro dos estratos. A análise de tendência calcula a média da variável Z condicionada a X e Y. Como resultado, se tomarmos intervalos cronoestratigráficos muito amplos, a variação lateral da fácies interfere no componente regional e dificulta a individualização dos traços de fácies.

A separação de estratos com processo de persistência vertical é evidente pelo fato de que o Membro Santiago e os outros dois podem ser subdivididos em intervalos. A comparação dos mapas obtidos para os intervalos 14 a 15, 11 a 14, 7 a 11 e 1 a 7 revela esse fato. De acordo com o perfil típico (Fig. 2), o primeiro intervalo (14 a 15) tem espessura média de 110 metros, o segundo (11 a 14) de 150 metros, o terceiro (7 a 11) de 170 metros, e a quarta (1 a 7) de aproximadamente 450 metros. m. Em relação ao IGE, a faixa inferior (14-15) é a mais próxima. Obviamente, esses intervalos não são isócronos e a comparação dos resultados deve levar isso em conta. O intervalo inferior (14-15) é o que mais se aproxima de um IGE. No intervalo seguinte, a própria ocorrência do Membro Santiago indica, de forma clara, que ele pode ser subdividido, o mesmo ocorrendo com os dois outros.

Comparando as tendências das percentagens de terceira ordem da razão arenito/folhelho (Fig. 8), o padrão da superfície de tendência indica uma mudança no comportamento regional, refletida em gradientes, conforme indicado pela maior distância das curvas de igual valor nos quatro intervalos mapeados. Há um aumento progressivo do coeficiente de determinação, que passa de 13% na parte inferior para 54% na parte superior. Poderia haver uma maior quantidade de energia no ambiente, com maior dispersão de areia ou migração lateral

Mapped data components

- a) Regional: response to a process (or processes) in a larger area than the control area and without repetition.
- b) Local: response to process (or processes) that operate in a smaller area than the average but more significant than the control area
- c) Residual: results from a random (or non-random) process that operates in a smaller area than average. These three components are not always easy to separate or necessary, but they must be considered when selecting the degree of trend surface.

Concerning the distribution of the sands and the locality of deltaic agents, Wermund & Jenkins (1970) propose that the total studied interval be divided into genetic increments of strata (GISs), implying minute correlations and rigid control into recognizing deltas and their diverse environments. Arithmetic division of the total interval is recommended when such requirements cannot be met. Positive deviations, in this case, define deltaic complexes, not the delta itself, in the trend analysis. For the study of deltaic and bar complexes, trend analysis of the sand/shale ratio allows the best chronostratigraphic division possible, even geometric slicing when little control is available. To separate the local component, however, strata must be separated so that, to the extent possible, deltaic processes can persist vertically within the strata. The trend analysis calculates the mean of the variable Z conditioned on X and Y. As a result, if we take extensive chronostratigraphic intervals, the lateral variation of the facies interferes with the regional component and makes individualizing facial features difficult.

It is evident from the fact that the Santiago Member and the two others can be subdivided in the following interval. Comparing the maps obtained for intervals 14 to 15, 11 to 14, 7 to 11, and 1 to 7 reveals this fact. According to the typical log (Fig. 2), the first interval (from 14 to 15) has an average thickness of 110 meters, the second (from 11 to 14) of 150 meters, the third (from 7 to 11) of 170 meters, and the fourth (from 1 to 7) of approximately 450 meters. m. Regarding GIS, the lower range (14-15) is the closest. But, of course, these intervals are not isochronous, and the results must be compared.

Comparing the third-order trend of the sandstone/shale ratio (Fig. 8), the surface pattern indicates a change in regional behavior, reflected

de agentes deltaicos devido ao aumento de lapsos de tempo interferindo no componente regional.

Analisando os mapas da superfície de tendência de terceira ordem das sequências estratigráficas, as isolinhas 30 e 40 indicam provável sedimentação deltaica de áreas das fontes sul, leste e oeste. Com uma pequena contribuição do nordeste, uma dispersão significativa desses sedimentos do noroeste indica que as areias ali depositadas foram retrabalhadas. Uma melhor definição de possíveis depósitos deltaicos pode ser vista no mapa do intervalo 11-14. O mapa 7-11 mostra que a sedimentação de areia é bem definida na área oeste, com duas fontes bem delineadas, a sudoeste e a noroeste. No mapa do intervalo 1-7, as areias correspondem ao depocentro da bacia, com pequenas contribuições do noroeste e nordeste.

Desvios positivos das superfícies de tendência (Fig. 9) ocupam áreas cada vez maiores com amplitudes decrescentes nos quatro intervalos mapeados, confirmando a hipótese de migração lateral de agentes deltaicos. Desvios positivos, mesmo neste caso, indicam as áreas mais prováveis de ocorrência da fácies arenosa do delta, desde a planície deltaica até a frente deltaica, áreas para estudo detalhado dos deltas.

Se aplicarmos novamente a análise de tendência a uma área que foi destacada dessa forma, vemos que o componente regional passa a representar as areias da planície deltaica mais dispersas do que as dos canais prodelta, que são indicadas pelos desvios positivos. Um IGE, conforme definido por Bush (1971), está mais intimamente associado às faixas 14-15. No entanto, a forma mapeada dos resíduos sugere diferentes lobos deltaicos, possivelmente causados pela migração lateral das frentes deltaicas durante os intervalos, conforme discutido anteriormente, cada vez mais espessos.

Por último, mas não menos importante, comparando a tendência da razão arenito/folhelho e os mapas de desvio positivo (Fig. 10) com os intervalos em que este Andar foi subdividido (Fig. 8 e 9), fica claro que a subdivisão da unidade cronoestratigráfica tem um efeito significativo em estudos faciológicos. O padrão da superfície de terceira ordem ajustada ao Andar como um todo apresenta grande semelhança com

in gradients, as indicated by the most significant distance from curves of equal value in the four mapped intervals. There is a progressive increase in the coefficient of determination, which goes from 13% at the bottom to 54% at the top. There could be a more significant amount of energy in the environment, with more sand dispersion or lateral migration of deltaic agents due to increased time lapses interfering with the regional component.

As the trend surface maps of the third-order stratigraphic sequence are analyzed, isolines 30 and 40 indicate probable deltaic sedimentation of areas from the south, east, and west sources. With a small northeast contribution, a significant dispersal of these sediments from northwest indicates a reworking of the sands. A better definition of possible deltaic deposits can be seen in the 11-14 interval map. Map 7-11 shows that sand sedimentation is well-defined in the western area, with two well-defined sources, southwest and northwest. On the interval 1-7 map, the sands correspond to the depocenter of the basin, with a minor contribution from the northwest and northeast. Positive deviations from trend surfaces (Fig. 9) occupy increasingly larger areas with decreasing amplitudes in the four mapped intervals, confirming the hypothesis of lateral migration of deltaic agents. Positive deviations, even in this case, indicate the most likely areas of occurrence of the delta's sandy facies, from the deltaic plain to the deltaic front, areas for detailed study of deltas.

Suppose we apply the trend analysis again to an area highlighted by the positive devia-

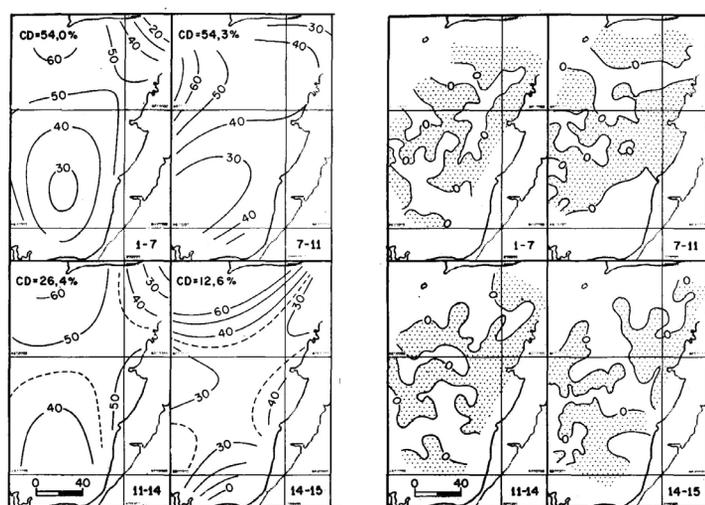


Figura 8. Mapas da Superfície de Tendência de terceira ordem da percentagem da razão areia/folhelho dos intervalos analisados. Fonte: fac-símile de Chaves (1973)

Figure 8. Four maps of 3rd order Surface Trends of the sand/shale ratio of the four intervals analyzed. Source: fac-símile of the report by Chaves 1973)

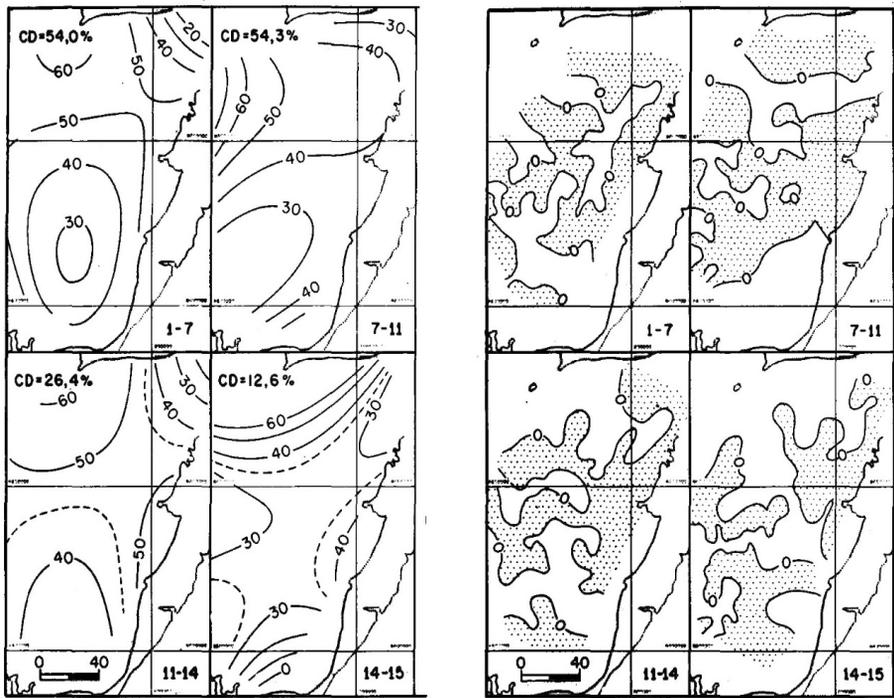


Figura 9. Desvios das superfícies de tendência de terceira ordem da Fig. 8. Fonte: fac-símile de Chaves (1973)

Figure 9. Deviations from the trends of 3rd order surfaces of the four maps of Fig. 8. Source: fac-símile of the report by Chaves 1973)

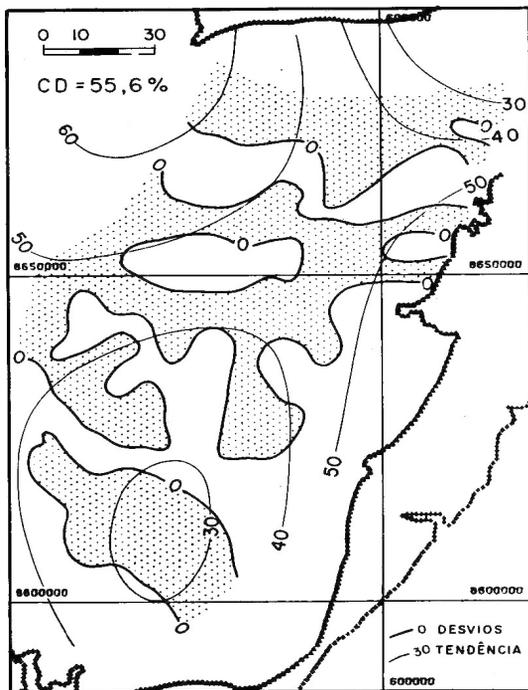


Figura 10. Mapa de tendência de terceira ordem e desvios positivos da relação areia/folhelho do Andar Aratu total (intervalo 1-15). Fonte: fac-símile do relatório de Chaves (1973)

Figure 10. 3rd order trend map and positive deviations of the sand/shale ratio of total Aratu Stage (interval 1- 15)

tions above in this way. In that case, we see that the regional component begins to represent the sands of the deltaic plain that are more dispersed than those of the prodelta channels, which are indicated by the positive deviations. A GIS, as defined by Bush (1971), is most closely associated with the range 14-15. However, the mapped shape of the residues suggests different deltaic lobes, possibly caused by the lateral migration

of deltaic fronts during the intervals, as discussed before, growing thicker.

Last but not least, comparing the sandstone/shale ratio trend and positive deviation maps (Fig. 10) with the intervals into which this Stage was subdivided (Fig. 8 and Fig. 9), it is clear that the subdivision of the chronostratigraphic unit has a significant effect on faciological studies. The pattern of the third-order surface adjusted to Stage as a whole presents high similarity with the pattern of the surface adjusted to the interval 1-7, being very close to the values of the coefficient determination.

In contrast, the positive deviations from the third-order surface indicate the regions where they coincide in the four intervals for the entire Stage with these deviations. However, showing a pattern more similar to that of intervals 1-7, indicating that the deviations indicate the area of the deltaic environment where facies sandy beaches are most likely to occur.

Conclusions

In the study of deltaic sediments, trend surface analysis provides an efficient method for identifying deltaic complexes in marine and limnic deltas.

o padrão da superfície ajustada ao intervalo 1-7, estando muito próximo dos valores do coeficiente de determinação.

Em contrapartida, os desvios positivos da superfície de terceira ordem indicam as regiões onde coincidem nos quatro intervalos para todo o Estágio, com esses desvios, porém, apresentando um padrão mais semelhante ao dos intervalos 1-7, indicando que os desvios indicam a área do ambiente deltaico onde as praias arenosas de fácies são mais prováveis de ocorrer.

Agradecimentos

Fruto da autorização da Petrobras e do apoio do Setor de Direção e Apoio da Direx/RPBA, o trabalho original foi apresentado no XXVII Congresso Brasileiro de Geologia (Chaves, 1973), ressaltando a importância da Petrobras e incentivando a pesquisa e a educação continuada em sua área de Exploração. A revisitação deste trabalho apresenta interessantes considerações, revisadas 49 anos depois, com experiências às quais muito contribuíram minha convivência com Francisco Celso Ponte no Setup/Bahia em 1971 e 72 e com Benito Fuschilo, Claudio Bettini e Roberto Magalhães Pessoa no Sinal/RPBA de 1978 a 1973. Finalmente, é importante assinalar e agradecer à revistas *Terræ Didática* e seus dedicados revisores, que tornaram possível a publicação.

Referências

- Betini, C. & Cenachi, N. (1971). *Sistema de dados litológicos*. Salvador, BA: Petróleo Brasileiro S/A (Direx/RPBA). (Rel. Int. 1414).
- Bush, D. A. (1971). Genetic units in delta prospecting. Tulsa: *American Association of Petroleum Geologists, Bull.*, 55(8), 1137-1145.
- Chaves, H. A. F. (1973). *Análise de tendência da razão areia/folhelho na sedimentação lacustre. Andar Aratu, Bacia do Recôncavo*. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 27, Aracaju, Sergipe, 1973. Anais... 27. São Paulo, Brasil: Sociedade Brasileira de Geologia. v. 3. p. 143-145.
- Della Fávera, J. C., Chaves, H. A. F., Villares, J. T. L., Oliveira, S. S. de, & Souza, S. F. M. (2001). *Análise estratigráfica do intervalo Marco 7 - Marco 11 (Andar Aratu), Bacia do Recôncavo*. Curso de Projetos de Análise de Bacias, Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro. (Rel. Pesquisa).
- Doveton, J. H., & Parsley, A. J. (1970). Experimental Evaluation of trend surface distortions induced by inadequate data-point distribution. *Trans. Inst. Min. Metall., Sec. B.*, 79, p. B 197-207.
- Forgotson, Jr., J. M. (1957). Nature, usage, and definition of marked-defined vertically segregated rock units. Tulsa: *American Association of Petroleum Geologists, Bull.*, 41(9), 2108-2113.
- Gama Jr., E. G., & Fonseca, J. R. (1971). *Evolução tecto-sedimentar da Bacia do Recôncavo. "Projeto Modelo Sedimentar"*. Salvador, BA: Petróleo Brasileiro S/A (Direx/RPBA). (Rel. Int. RPBA/Direx n. 1.475).
- Ghignone, J. I. (1969). *A sedimentação deltáica no Recôncavo*. Salvador, BA: Petróleo Brasileiro S/A, Direx/RPBA. (Rel. Int. n. 1.231).
- Horschut, P. M. C., (1971). *Sedimentação deltáica do Membro Santiago da Formação Pojuca*. Salvador, BA: Petróleo Brasileiro S/A (Direx/RPBA). (Rel. Int. RPBA/Direx).
- Krumbein, W. C. & Lieblein J. (1956). Geological application of extreme value methods to the interpretation of cobbles and boulders in gravel deposits. doi: 10.1029/TR037i003p00313.
- Krumbein, W. C. (1956). Regional and local components in facies maps. Tulsa: *American Association of Petroleum Geologists, Bull.*, 40(9), 2163-2194.
- Krumbein, W. C., & Graybill, F. A. (1965). *An introduction to statistical models in Geology*. New York, McGraw-Hill.
- Krumbein, W. C., & Sloss, L. (1963). *Stratigraphy and Sedimentation*. San Francisco, W.H. Freeman and Co. 660p.
- Miller, R. L. (1956). *Trend surfaces: their application to analysis and description of environments of sedimentation*. Journal of Geology Uchigado. Edu.

However, it is necessary to establish the relationship between each clastic lithology and the different depositional environments within the forehead depositional model.

The studied section to be analyzed must also be divided into isochronous chronostratigraphic units, which are as close to genetic increments of strata as possible, regardless of whether arithmetic or geometric criteria are used to do so, using the best correlation in each case.

Acknowledgments

As a result of Petrobras authorization and the support of Direx/RPBA Direction and Support Sector, the original work was presented at the XXVII Brazilian Congress of Geology (Chaves, 1973), emphasizing Petrobras' importance and encouraging research and continuing education in its Exploration Area. The revisit of this work presents interesting considerations, reviewed 49 years later, with experiences to which my coexistence with Francisco Celso Ponte at Setup/Bahia in 1971 and 72 and with Benito Fuschilo, Claudio Bettini, and Roberto Magalhães Pessoa at Sinal/RPBA from 1978 to 1973, contributed a lot. Finally, it is important to highlight and thank *Terræ Didática* and its dedicated reviewers who made this publication possible.

-
- Miura, K., Horschutz, P., Aboarrage, M., Viana, C. & Gignone, I. (1969). *Formação Ilhas. Membro superior*. Salvador, BA: Petróleo Brasileiro S/A (Direx/RPBA). (Rel. Int.).
- Parsley, A. J. (1971). Application of autocorrelation criteria to the analysis of mapped geologic data from the coal measures of Central England. *J. Math. Geol.*, 3(3), 281-295.
- Petrobras (1972). *Análise Estratigráfica do Andar Rio da Serra*. Salvador, BA: Petróleo Brasileiro S/A (Direx/RPBA). (Rel. Int.).
- Romanova, M. A. (1970). Trend analysis of geologic data (basic literature). In: Romanova, M. A. & Sarmanova, O. V. (Eds.) (1970). *Topics in Mathematical Geology. A Special Research Report*. Springer Science+ Business Media, LLC. p. 273-278.
- Wermund, E. G., & Jenkins, Jr. W. A. (1970). Recognition of Deltas by Fitting Trend Surfaces to Upper Pennsylvanian Sandstones in North-Central Texas. In: Morgan, J. P., & Shaver, R. H. (Eds.) (1970). *Deltaic Sedimentation, Modern and Ancient*. McLean Va, CA: Geo ScienceWorld. Spec. publ., (15). doi: 10.2110/pec.70.11.0256.