

# Modelagem estratigráfica do intervalo Cenomaniano-Turoniano, formações Açú e Jandaíra, na borda sudoeste da Bacia Potiguar

*Stratigraphic modeling of the Cenomanian-Turonian level, Açú and Jandaíra formations at the southwest edge of the Potiguar Basin*

Gustavo Garcia | Mario Luis Assine | Ubiraci Manoel Soares

## resumo

Nesta pesquisa, empregou-se a modelagem estratigráfica para caracterizar a passagem da sucessão siliciclástica da Formação Açú para o sistema carbonático da Formação Jandaíra na borda sudoeste da Bacia Potiguar emersa. Para alcançar o objetivo proposto, foram identificadas cinco superfícies estratigráficas-chave, sendo três limites de sequências (LS1, LS2 e LS3) e duas superfícies de inundações máximas (SIM1 e SIM2), constituindo duas sequências deposicionais de terceira ordem: sequência 1 (inferior) e sequência 2 (superior). As simulações, utilizando-se o software Dionisos®, foram calibradas aos perfis litológicos e aos perfis de raios-gama de nove poços. O trato de sistemas transgressivo da sequência 1 foi depositado entre 95 Ma (LS1) e 93,6 Ma (SIM1) e é constituído por siliciclásticos. O trato de sistemas de mar alto da mesma sequência, depositado entre 93,6 Ma (SIM1) e 92,8 Ma (LS2), se caracteriza por sedimentação siliciclástica até 93 Ma. A partir desta idade, inicia-se a sedimentação carbonática, favorecida por uma conspícua redução do aporte siliciclástico, relacionada a uma variação climática ou supostamente a uma interação entre tectônica e clima. O trato de sistemas transgressivos da sequência 2, depositado

entre 92,8 Ma (LS2) e 92 Ma (SIM2), constitui uma sedimentação mista, com predomínio de rochas carbonáticas. O trato de sistemas de mar alto, depositado entre 92 Ma (SIM2) e 91 Ma (LS3), é constituído por carbonatos, com aporte intermitente de sedimentos siliciclásticos. Os sedimentos terrígenos foram depositados em baixa taxa de sedimentação, da ordem de 40 m/Ma, até 93 Ma. Após este período, a taxa de deposição siliciclástica variou entre 0 m/Ma e 10 m/Ma, enquanto a sedimentação carbonática se desenvolveu, a partir de 93 Ma, a uma taxa média de 38 m/Ma. As descargas fluviais na modelagem da sequência 1 correspondem a um fluxo constante, da ordem de 520m<sup>3</sup>/s, enquanto na sequência 2 se alternam entre 150m<sup>3</sup>/s e 1.100m<sup>3</sup>/s. As descargas elevadas seriam decorrentes de chuvas torrenciais, esporádicas, que normalmente ocorrem em climas áridos, condição climática interpretada na deposição dessa sequência. Estes resultados corroboram as interpretações para este período na Bacia Potiguar, concluindo-se que esta metodologia vem a ser uma importante ferramenta para construir um modelo dinâmico de fácies em áreas de fronteira exploratória.

**Palavras-chave:** Modelagem estratigráfica | Formação Açú | Formação Jandaíra | carbonato | siliciclástico | sequência deposicional | Bacia Potiguar.

## abstract

Stratigraphic modeling was applied in this research to characterize the transition from the siliciclastic succession of the Açú Formation to the carbonate system of the Jandaíra Formation at the southwestern edge of the onshore Potiguar Basin in northeastern Brazil. To achieve the proposed objectives, five key stratigraphic surfaces were identified, three of which were sequence boundaries (LS1, LS2 and LS3) and two were maximum flooding surfaces (SIM1 and SIM2), constituting two third-order depositional sequences. Sequence 1 (lower) and sequence 2 (upper). The simulations, using the Dionisos® software, were calibrated with the lithological and Gamma-Ray profiles from 9 wells. The transgressive systems tract of sequence 1 was deposited between 95 Ma (LS1) and 93,6 Ma (SIM1) and consists of siliciclastics. The highstand systems tract of the same sequence, deposited between 93,6 Ma (SIM1) and 92,8 Ma (LS2), is characterized by siliciclastic sedimentation up to 93 Ma. From this age, the carbonate sedimentation started, favored by a conspicuous reduction in siliciclastic input, due to a climatic change or supposedly an interaction between tectonics and climate. The transgressive systems tract of sequence 2, deposited between 92,8 Ma

(LS2) and 92 Ma (SIM2), is made up of a mixed sedimentation with a predominance of carbonates. The highstand systems tract, deposited between 92 Ma (SIM2) and 91 Ma (LS3), is made up of carbonates with an intermittent supply of siliciclastic sediments. The terrigenous input was deposited at a low sedimentation rate (around 40 m/Ma) up to 93 Ma. After this period, the siliciclastic depositional rate ranged between 0 m/Ma and 10 m/Ma, while the carbonate sedimentation deposit started in 93 Ma at an average rate of 38 m/Ma. The modeled fluvial discharges of sequence 1 correspond to a constant flow of around 520m<sup>3</sup>/s, while those in sequence 2 ranged between 150m<sup>3</sup>/s and 1.100m<sup>3</sup>/s. The high discharges would be the result of sporadic storms which normally occur in arid climates, the weather condition interpreted to prevail during the deposition of this sequence. These results corroborate the interpretations of the depositional model for this period in the Potiguar Basin, demonstrating that this methodology has become an important tool to build a dynamic facies model in frontier exploration areas.

*(Expanded abstract available at the end of the paper).*

**Keywords:** Stratigraphic Modeling | Açú Formation | Jandaíra Formation | carbonates | siliciclastics | depositional sequence | Potiguar Basin.

# introdução

A contínua busca do conhecimento pela mitigação dos riscos de exploração e produção de petróleo agrega a modelagem estratigráfica como uma importante ferramenta para parametrizar e prever o arcabouço litológico de bacias sedimentares.

O software de modelagem estratigráfica Dionisos® é um dos programas mais utilizados na indústria do petróleo para avaliar, em três dimensões e em escala regional, a arquitetura sedimentar, a distribuição de fácies e a paleobatimetria no espaço e no tempo.

Partindo-se do pressuposto de que modelos com arcabouços litológicos bem calibrados são essenciais em modelagens de bacias, tanto para a análise estrutural quanto para o entendimento dos processos dos sistemas petrolíferos, esta pesquisa tem por meta a elaboração de um modelo tridimensional de litofácies do intervalo Mesocenomaniano ao Neoturoniano da Bacia Potiguar. Tal modelo será elaborado por meio da metodologia de modelagem estratigráfica no tempo Stratigraphic Forward Modeling (SFM), utilizando-se o software Dionisos® (Beicip-Franlab) para as simulações numéricas. Este intervalo é caracterizado pela passagem gradual da

sucessão siliciclástica da Formação Açu para o sistema carbonático da Formação Jandaíra (Sampaio e Schaller, 1968). Desta forma, esta pesquisa também tem como objetivos: a definição dos sistemas deposicionais que integram as sequências deposicionais do intervalo estudado; a determinação de um modelo paleobatimétrico e de subsidência que possa ser utilizado para inferir a abrangência destes sistemas; a parametrização, no tempo geológico, das causas que deram início à deposição carbonática na passagem do Cenomaniano-Turoniano; e a construção de um modelo evolutivo, tridimensional, de distribuição de litofácies.

## área estudada

A área estudada compreende a borda sudoeste da Bacia Potiguar emergida, onde afloram as formações Açu e Jandaíra. Devido à limitação de dados por se tratar de área de concessão exploratória para hidrocarbonetos, a área selecionada para o desenvolvimento desta pesquisa limitou-se ao sul pelo contato aflorante entre as formações Açu e Jandaíra, e ao norte na porção limítrofe de ocorrência dos campos de óleo e gás da Formação Açu, perfazendo um total de aproximadamente 2.250km<sup>2</sup>, conforme ilustrado na figura 1.

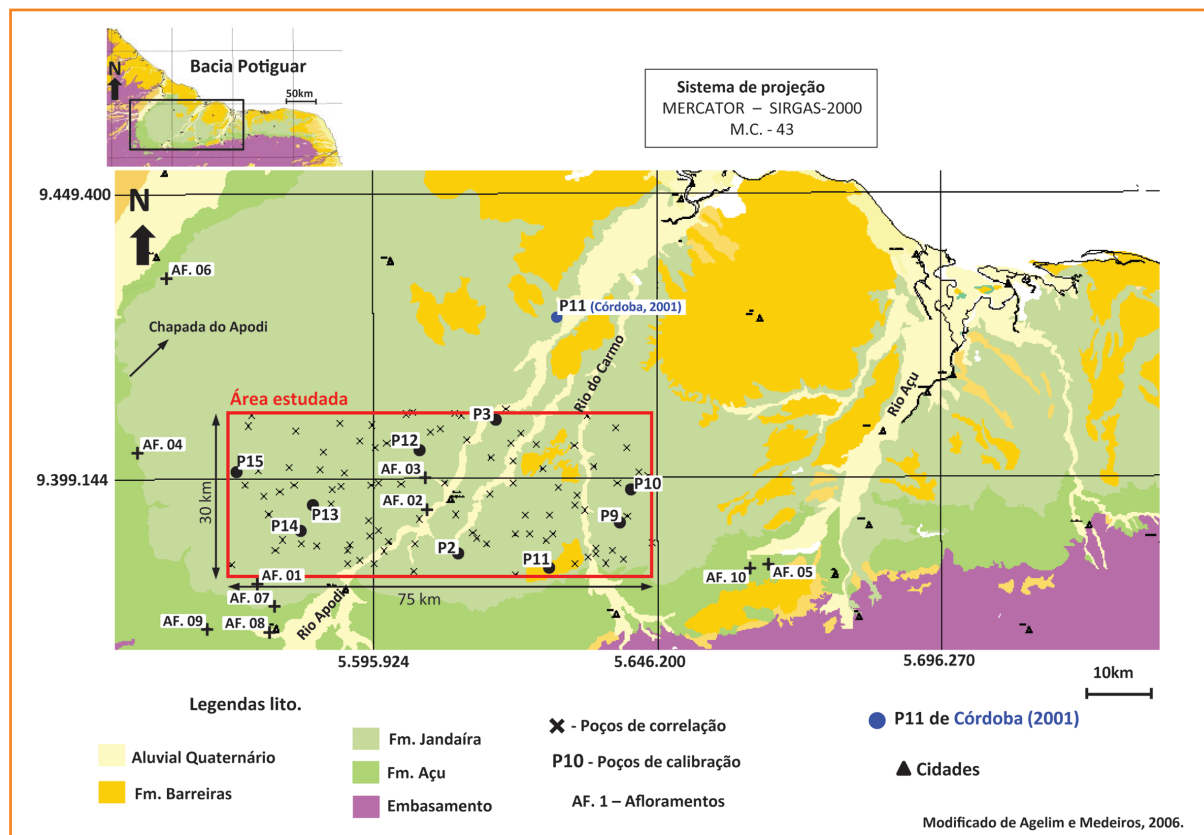


Figura 1

Mapa geológico de parte da Bacia Potiguar, destacando a área de trabalho, delimitada pelo retângulo vermelho. Neste mapa, também estão plotados os afloramentos, os poços utilizados nesta pesquisa e aqueles citados como referência bibliográfica, assim como as seções estratigráficas que serão discutidas na figura 11.

Figure 1

Geological map of the Potiguar Basin, highlighting the studied area bounded by the red rectangle. Outcrops, wells used in this study and those which were cited as bibliographic references are also plotted on this map, as well as the stratigraphic sections that will be shown in figure 11.

## contexto regional

A Bacia Potiguar localiza-se no extremo leste da Margem Equatorial Brasileira, compreendendo um segmento emerso e outro submerso. Distribui-se em sua maior parte no Estado do Rio Grande do Norte e, parcialmente, no Estado do Ceará. Abrange uma área total de 119.295km<sup>2</sup>, sendo que 33.200km<sup>2</sup> (30%) correspondem à parte emersa e 86.095km<sup>2</sup> (70%) à plataforma e talude continentais, até a cota batimétrica de 3.000m (Agência..., 2000). As formações Açu e Jandaíra afloram em grande parte da porção emersa da bacia, conforme a figura 2.

## arcabouço tectônico estratigráfico

Matos (1992) e Chang *et al.* (1988) reconhecem pelo menos três importantes estágios tectônicos

para explicar a sucessão de eventos responsáveis pela geração do rifte Potiguar. Os estágios, denominados Sin-Rifte I, II e III, são relacionados com:

- (i) início da deformação distensional, sem registro sedimentar na bacia;
- (ii) desenvolvimento da bacia rifte;
- (iii) deslocamento do eixo de rifteamento para a porção submersa da bacia, ao mesmo tempo em que causa soerguimento e erosão na porção emersa, que se comporta como ombreira do novo rifte.

Durante o estágio drifte, duas seqüências sedimentares foram depositadas em um estágio de deriva continental e sob influência de mar aberto (Bertani *et al.*, 1990). O período é marcado por grande ciclo transgressivo-regressivo, que diferencia as duas seqüências em: Marinha Transgressiva, de idade Eoalbiano/Eocampaniano, e Marinha Regressiva, de idade Neocampaniano/Holoceno (Bertani *et al.*, 1990; Pessoa Neto, 2003), sumariadas na seção C-C' (fig. 3).

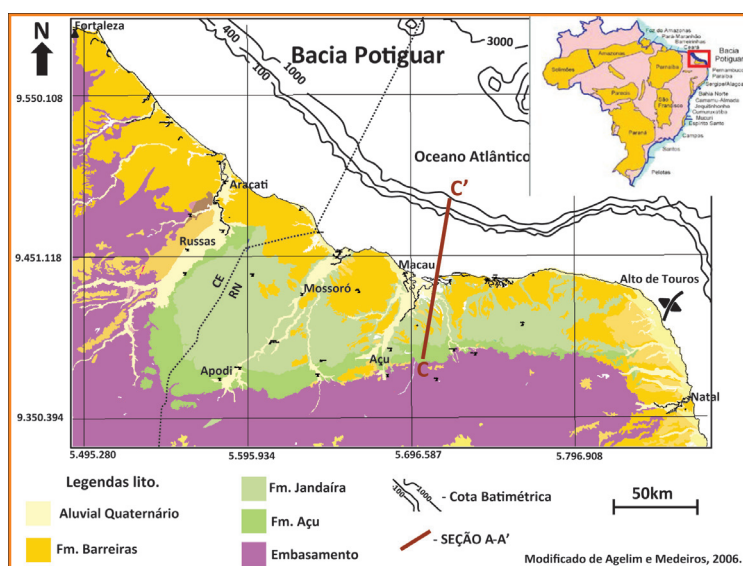


Figura 2 – Mapa geológico da Bacia Potiguar. A seção litoestratigráfica C-C' é apresentada na figura 3.

Figure 2 – Geologic map of the Potiguar Basin. The lithostratigraphic section C-C' is shown in figure 3.

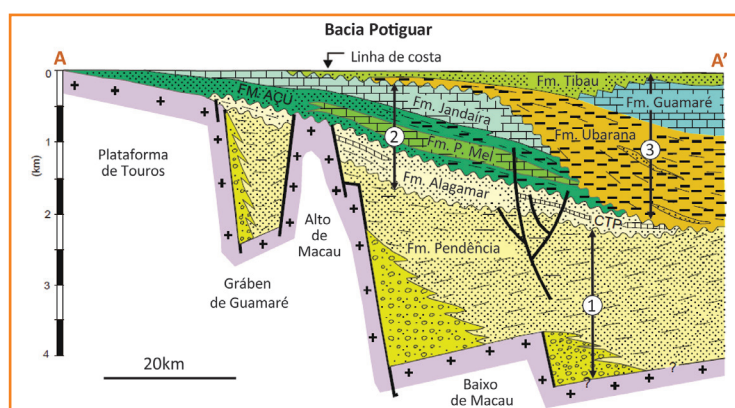


Figura 3 – Seção litoestratigráfica esquemática C-C' da porção centro-leste da Bacia Potiguar (localização da seção na fig. 2). As fases estão representadas pelos números: 1 – Sin-Rifte II e III; 2 – Drifte, seqüência marinha transgressiva; e 3 – drifte, seqüência marinha regressiva (modificado de Bertani *et al.*, 1990).

Figure 3 – Schematic lithostratigraphic section C-C' of the east-central portion of the Potiguar Basin (location of the section in fig. 2). The phases are represented by numbers: 1 – Rift Syn II and III; 2 – drift, marine transgressive sequence; and 3 – drift, marine regressive sequence (modified from Bertani *et al.*, 1990).

## Formação Açu

Os depósitos da Formação Açu, de idade Albian/Turoniano, são constituídos por sedimentos essencialmente arenosos depositados em ambiente continental. Estes depósitos afloram nas bordas da bacia e estendem-se por toda a área emersa, atingindo a Plataforma Continental, formando uma sucessão estratigráfica com padrão de granodrecência ascendente. Esta deposição está relacionada

ao evento transgressivo que culmina com as rochas carbonáticas da Formação Jandaíra.

A porção superior da Formação Açu, um dos objetivos deste trabalho, caracteriza-se por arenitos médios a muito finos, argilitos, folhelhos, siltitos, e, eventualmente, calcilitos e margas dolomitizadas. O ambiente deposicional desse intervalo representa a implantação de um sistema litorâneo estuarino com desenvolvimento de ilhas barreiras, cortadas por canais de maré com laguna na retaguarda (Vasconcelos *et al.*, 1990; Córdoba, 2001).

## Formação Jandaíra

Seus litotipos fazem parte da sequência marinha transgressiva da fase Drifte estudada por Bertani *et al.* (1990) e registram o final de um pulso de subida do nível do mar, de ocorrência regional, que imprimiu à sedimentação condições de deposição em águas cada vez mais profundas.

Segundo Córdoba (2001), a plataforma Jandaíra teria sido implantada sobre uma paleomorfologia em forma de rampa, onde na porção interna se desenvolveu um sistema estuarino, que marcou a transição para a sedimentação carbonática, evoluindo para um sistema de praia mista, na porção leste da rampa, e para sistemas de planície de maré, laguna, manchas recifais e barras de maré, na porção oeste. Este comportamento distinto permitiu separar a rampa interna em rampa interna mista e dominada por ondas, na parte leste, e rampa interna carbonática e dominada por marés, na porção oeste da bacia. Atualmente, as rochas da Formação Jandaíra afloram em grande parte da Bacia Potiguar sob a forma de um extenso platô, intensamente erodido e carstificado.

## materiais e métodos

Os materiais e métodos utilizados para a construção e interpretação das condições de contorno essenciais, como a geometria interna do modelo, a escala de tempo, os tipos litológicos, o posicionamento das áreas-fonte e os paleoambientes de sedimentação, compreenderam, basicamente, o conjunto de dados de 104 poços, o acervo bibliográfico disponível e os levantamentos de campo. Para o tratamento das informações e simulações numéricas foram utilizados alguns programas destinados à interpretação geológica, edição de mapas e modelagem estratigráfica, tais como: Sigeo® (Petrobras), PetroMod® (Schlumberger) e Dionisos® (Beicip), respectivamente. Uma síntese das etapas de composição e tratamento dos dados de entrada, desenvolvimento das simulações e calibração do modelo é apresentada na figura 4.

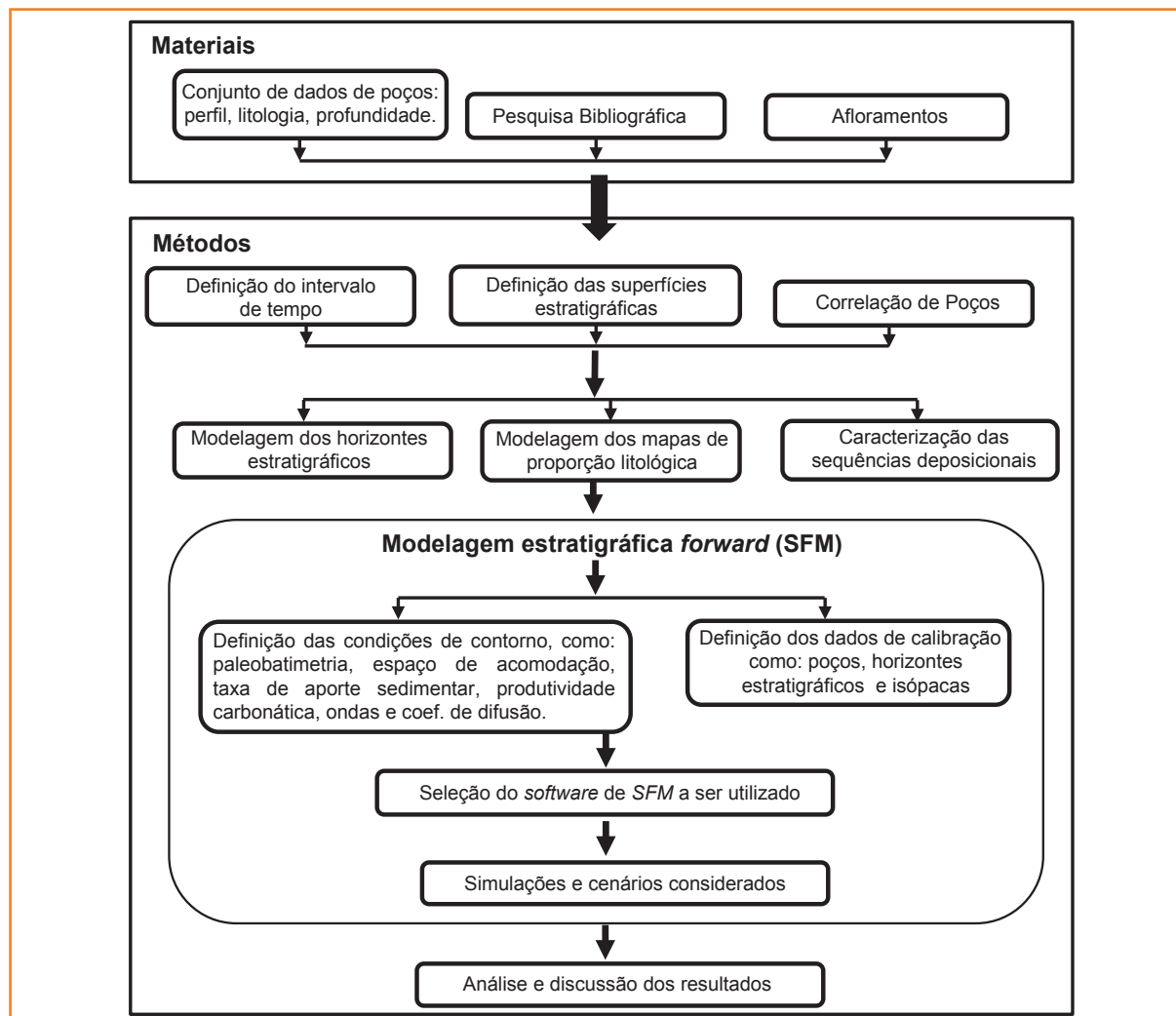


Figura 4

Síntese das principais etapas de trabalho e dos métodos empregados.

Figure 4

Summary of the main stages of work and methods applied.

## análise estratigráfica

Aplicando-se os conceitos da estratigrafia de seqüências, foram reconhecidas, a partir do conjunto de perfis geofísicos e litológicos dos 104 poços, duas seqüências deposicionais de terceira ordem, a seqüência deposicional 1 e a seqüência deposicional

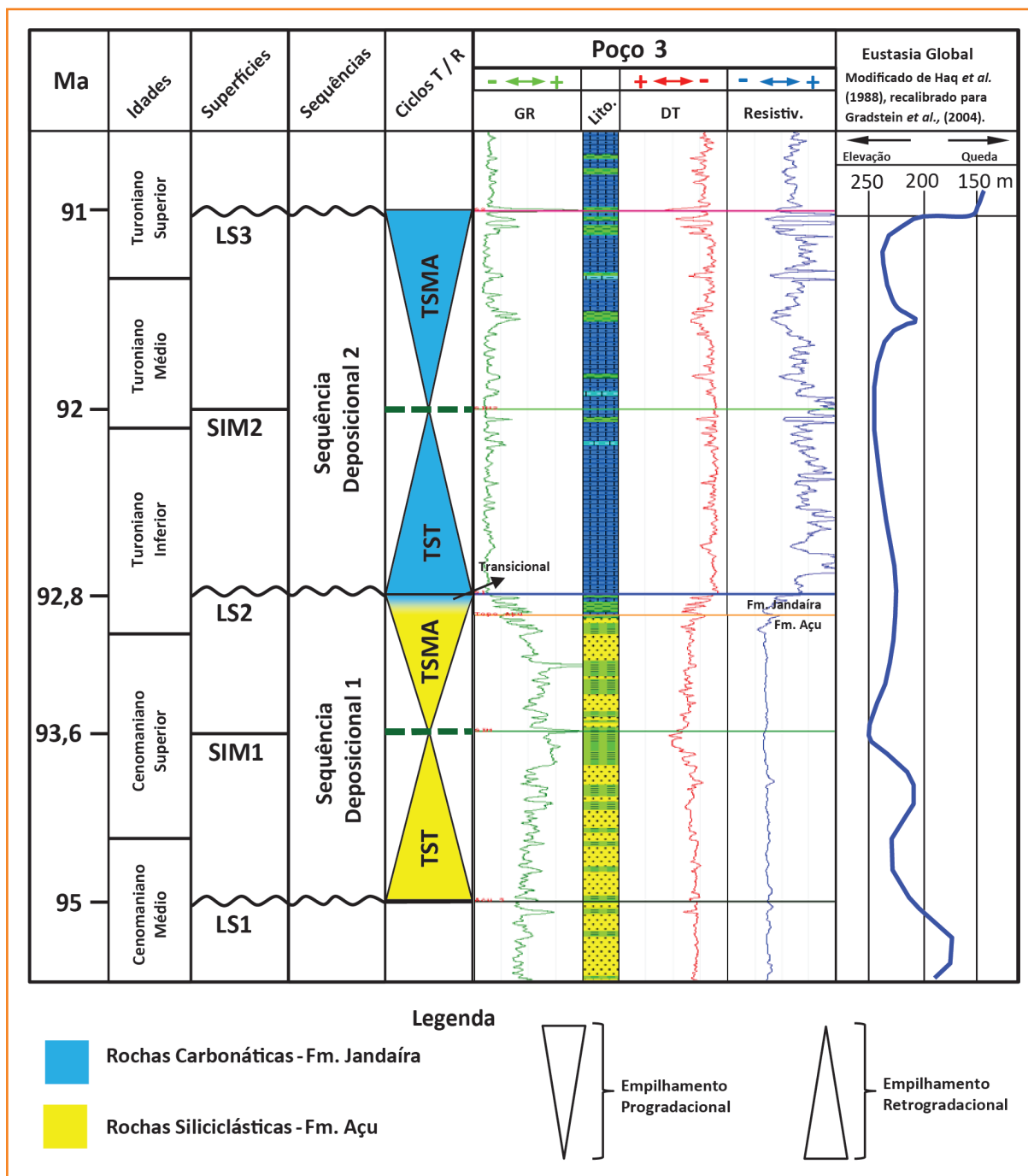
2, ilustradas na figura 5. A arquitetura estratal das duas seqüências é constituída por tratos de sistemas transgressivos (TST) e por tratos de sistemas de mar alto (TSMA). Na mesma figura 5, a curva de variação eustática global proposta por Haq *et al.* (1988), recalibrada para Gradstein *et al.* (2004), foi posicionada em conjunto com as duas seqüências mapeadas para auxiliar na calibração geocronológica das superfícies, conforme descrição a seguir.

Figura 5

Delimitação das seqüências deposicionais, contendo as superfícies-chave e curva eustática para o intervalo Mesocenomaniano/ Eoturoniano da Bacia Potiguar emersa (nesta figura, a escala de tempo está ajustada às espessuras sedimentares do poço).

Figure 5

Delimitation of depositional sequences, containing the key surfaces and eustatic curve for Middle Cenomanian/Late Turonian interval of the Potiguar Basin (the time scale is adjusted with sedimentary thicknesses of the well).



## sequência deposicional 1

O limite inferior da sequência deposicional 1 corresponde à superfície limite de sequência LS1 e está posicionado na parte superior da Formação Açú. É demarcado nos perfis geofísicos por uma queda nos valores de raios gama (RG), início de tendência de queda nos valores de tempo de trânsito ( $\Delta T$ ) e de resistividade. A partir da carta bioestratigráfica proposta por Lana (1997) e por correlação com a curva eustática de Haq *et al.* (1988), ambas recalibradas para Gradstein *et al.* (2004), a idade atribuída à superfície LS1 é de 95 Ma.

A superfície SIM1 foi identificada pelos picos de máximos valores de RG e  $\Delta T$  e mínimos de resistividade. O intervalo entre as superfícies LS1 e SIM1 caracteriza um trato de sistemas transgressivo (TST). A idade atribuída à superfície SIM1, com base na mesma metodologia aplicada na superfície LS1, é de 93,6 Ma.

Sobreposto à superfície de inundação máxima (SIM1), desenvolveu-se o trato de sistemas de mar alto (TSMA), delimitado pela superfície limite de sequência LS2. Esta superfície foi identificada por intervalos de diminuição dos valores de RG e  $\Delta T$  e aumento da resistividade. A transição entre as formações Açú e Jandaíra ocorreu durante a deposição deste trato. A idade atribuída à superfície LS2 é de 92,8 Ma.

## sequência deposicional 2

Para o reconhecimento dos tratos de sistemas da sequência 2, foram utilizadas as interpretações de Córdoba (2001) do Poço 11 (fig. 1) como uma referência ao rastreamento das superfícies. A autora reconheceu, por descrições de testemunhos, utilização do Gráfico de Fisher, análise de isótopos estáveis de carbono e oxigênio, e caracterização da diagênese, que os intervalos com espessamentos dos ciclos para o topo, em águas rasas, representavam os tratos de sistemas transgressivos e seriam constituídos por fácies de alta energia. Em contrapartida, reconheceu que os conjuntos de ciclos com adelgaçamento para o topo representavam os tratos de sistemas de nível de mar alto, sendo constituídos por fácies siliciclásticas, carbonática de baixa energia e/ou dolomitizadas.

Com base nos critérios propostos por Córdoba (2001), os picos de mínimos relativos de RG e  $\Delta T$  e máximo de resistividade caracterizam a superfície de inundação máxima (SIM2), com empilhamento retrogradacional, típico de tratos de sistemas transgressivos, entre a superfície LS2 e SIM2. No limite superior da sequência 2 está posicionada a superfície LS3, que delimita superiormente o trato de sistemas de mar alto.

Com base na metodologia para o posicionamento cronológico das superfícies subjacentes, as idades atribuídas às superfícies SIM2 e LS3 são de 92 Ma e 91 Ma, respectivamente.

## simulações

As simulações estratigráficas objetivaram o conhecimento das interações entre os processos sedimentares que atuaram durante a deposição das duas sequências deposicionais mapeadas.

Para uma calibração mais precisa e refinada dos cenários simulados, o intervalo de tempo considerado para o cálculo dos processos de sedimentação no tempo foi de 0,1 Ma por evento.

## batimetria e subsidência

A paleobatimetria de cada superfície interpretada foi estimada pela reconstituição aproximada das geometrias das superfícies, a partir da projeção da superfície SIM1 a um *datum* horizontal na seção estratigráfica *dip*, sem considerar a descompactação das camadas, como no caso do limite de sequência LS1. Por interpretação do modelo deposicional, no caso dos limites de sequências LS2 e LS3, e por dados de referências bibliográficas (Lana, 1997; Córdoba, 2001), como as inundações máximas SIM1 e SIM2.

Após estimar as profundidades batimétricas, os mapas foram carregados no Dionisos® e testados para observar se os valores atribuídos apresentariam coerência com as taxas de sedimentação e com as distribuições litológicas constatadas nos poços. Após pequenos ajustes, estes mapas foram calibrados e utilizados para constar no cálculo da subsidência e na reconstituição geométrica ao tempo da deposição dos tratos de sistemas (fig. 6).

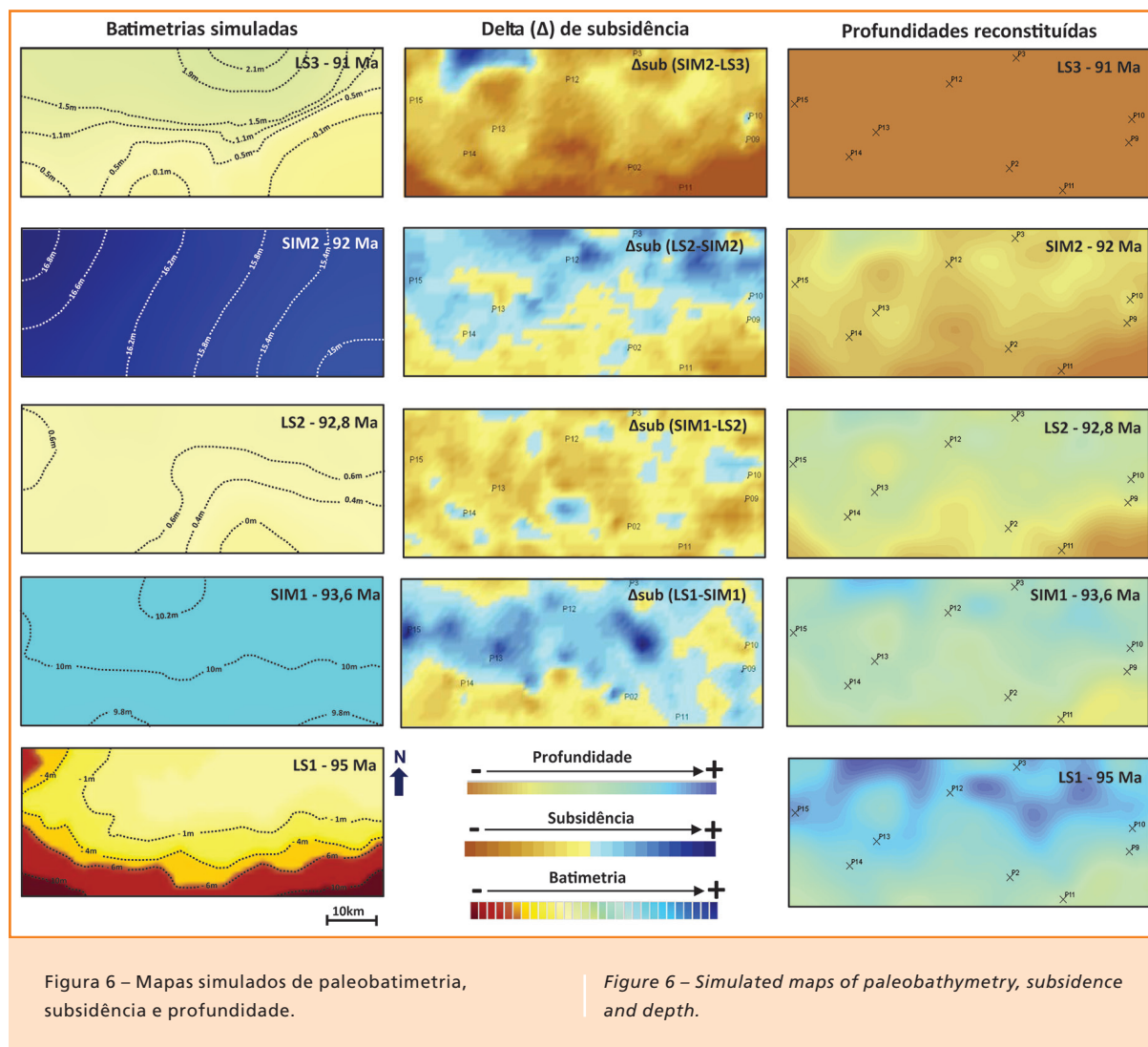


Figura 6 – Mapas simulados de paleobatimetria, subsidência e profundidade.

Figure 6 – Simulated maps of paleobathymetry, subsidence and depth.

### ondas e coeficiente de difusão

O retrabalhamento por onda foi utilizado na modelagem para mimetizar a ação das correntes de maré. Para determinar a energia de ação destas ondas, foi considerado como nível de base de onda normal o valor máximo alcançado pelas estimativas de paleobatimetrias, no caso 16m. O ângulo de propagação foi determinado por medidas de paleocorrentes, e a frequência ajustada para ambientes dominados por maré, com 100% de atuação nas direções de maré enchente (SW) e vazante (NE).

O valor do coeficiente de difusão (K) utilizado para cada ambiente sedimentar e tipo litológico foi estimado, inicialmente, de forma automática pelo Dionisos®. Com base neste valor, observou-se a necessidade de um ajuste manual do K até a melhor calibração da distribuição da

carga sedimentar e litologias de acordo com as informações dos poços e das isópacas de cada trato de sistemas.

### área-fonte, fluxo sedimentar e taxa de sedimentação

Para a interpretação das áreas-fonte, utilizaram-se mapas de proporções litológicas, construídos com base nos perfis litológicos dos 104 poços e pela subdivisão dos tratos de sistemas em seqüências de quarta ordem. Com base nestes mapas e por analogia com o mapa litológico da superfície do tempo presente, pode-se interpretar que a área-fonte da borda sul perdurou, pelo menos, desde o Mesocenomaniano até os tempos atuais. Em contrapartida, a área-fonte da borda oeste se dissipou a partir do Mesoturônico até se extinguir totalmente no Neoturônico (fig. 7).



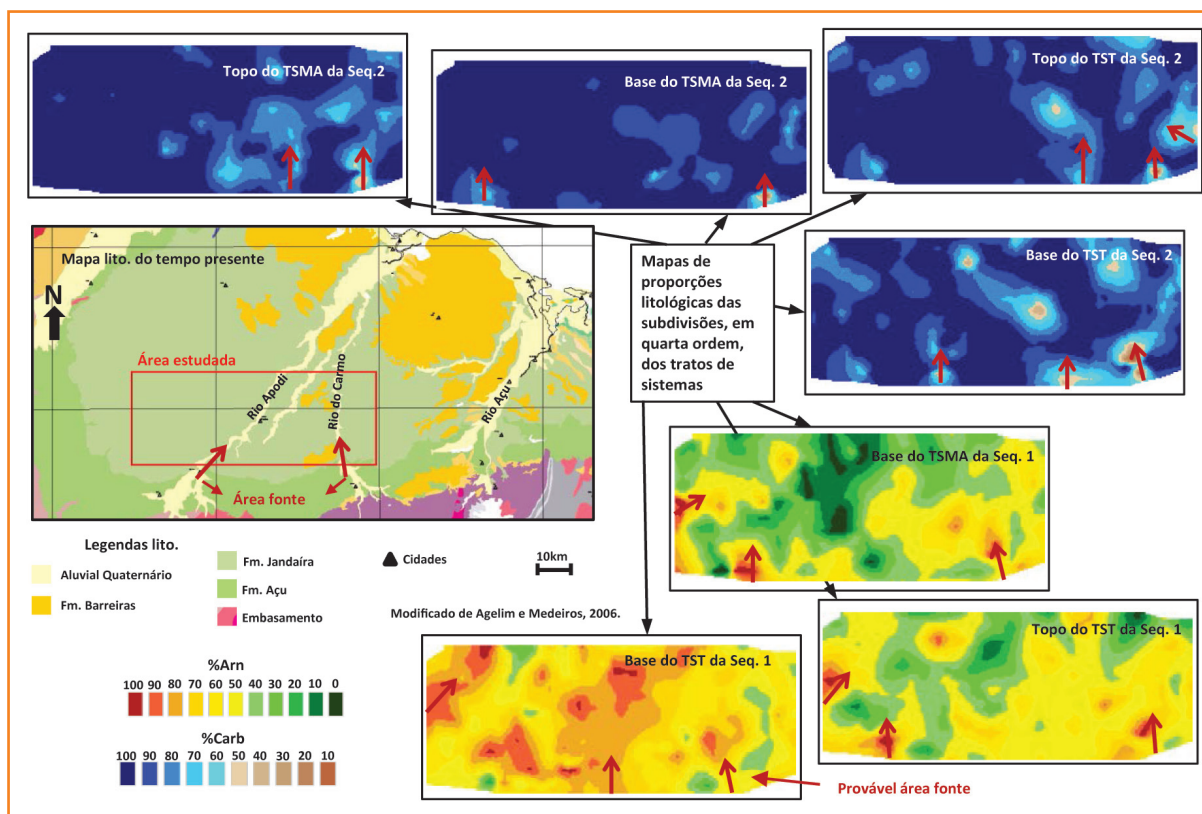


Figura 7  
Análise comparativa entre o mapa litológico do presente e aqueles relacionados ao Mesocenomaniano/ Neoturoniano da borda sudoeste da Bacia Potiguar emersa.

Figure 7  
Comparative analysis of the lithological map from present time and those related to Middle Cenomanian/Late Turonian at the southwest edge of the onshore Potiguar Basin.

Os valores de aporte, proporções litológicas e descargas fluviiais siliciclásticas foram calibrados de acordo com testes de simulações de cenários até o melhor ajuste com as informações dos poços de calibração e os mapas de isópacas.

Para a calibração da taxa de produção carbonática em função tempo, buscou-se uma equivalência entre os valores de isópacas e as espessuras dos ciclos de alta e baixa energia no intervalo de 0,1 Ma. As taxas de produção por batimetria e energia de onda foram ajustadas pela interação entre os modelos conceituais e os resultados das simulações numéricas.

Para mensurar e comparar, numa mesma escala, as taxas de sedimentação das sequências deposicionais 1 e 2, onde predominaram as sedimentações siliciclástica e carbonática, respectivamente, foi construído um gráfico para observação dos valores de acumulação sedimentar de cada tipo litológico, em m/0,1 Ma a cada passo de tempo calculado (fig. 8).

A figura 8 representa o valor da taxa de acumulação sem considerar o cálculo da descompactação, devido à impossibilidade de se estimar com exatidão a sobrecarga sedimentar erodida. Além disso, a quantificação do volume de poros não teria aplicação prática no Dionisos®, pois o

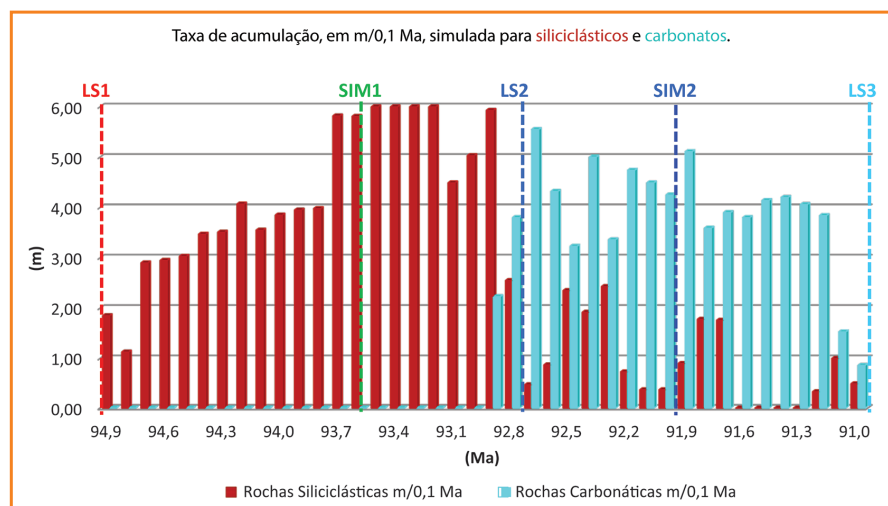


Figura 8 – Gráfico de taxa de acumulação sedimentar para cada intervalo de tempo simulado. Para representar um único valor de referência para cada camada, foi considerada a mediana da distribuição dos valores da malha de pontos, uma vez que a distribuição destes valores é assimétrica.

Figure 8 – Graph of sediment accumulation rate for each simulated time interval. To represent a single reference value for each layer, the median of the distribution of the values of the gridpoints was considered, since the distribution of these values is asymmetrical.

software não considera, para efeito de cálculo, o espaço poroso e preenche todo o volume da camada com sedimentos. Entretanto, mesmo com os valores de taxas de acumulação superestimados, o que se pode observar no gráfico é que estas taxas são de fato baixas. A sedimentação siliciclástica, durante a deposição da sequência 1, foi da ordem de 42 m/Ma, enquanto a sedimentação carbonática, durante a sequência 2, foi da ordem de 38 m/Ma.

### calibração dos poços

Entre os 104 poços utilizados para a correlação estratigráfica, nove foram selecionados, com base nas informações de raios gama (RG) e litologia (Lito) para auxiliar na calibração das simulações e

na quantificação de alguns parâmetros necessários à definição das condições de contorno do modelo. As litologias consideradas nas simulações foram as que mais ocorrem nos perfis litológicos dos poços: arenito, folhelho, *grainstone* e *mudstone* (conforme classificação de Dunham, 1962).

Após a formulação completa do modelo estratigráfico, foram necessárias algumas variações na eustasia para se controlar, a cada passo de tempo, a variação no espaço de acomodação, a batimetria e a distribuição dos litotipos considerados. A calibração refinada dos resultados é ilustrada em função dos dados medidos, como as descrições de amostras de calha, o perfil de raios gama e os marcadores estratigráficos, conforme a figura 9.

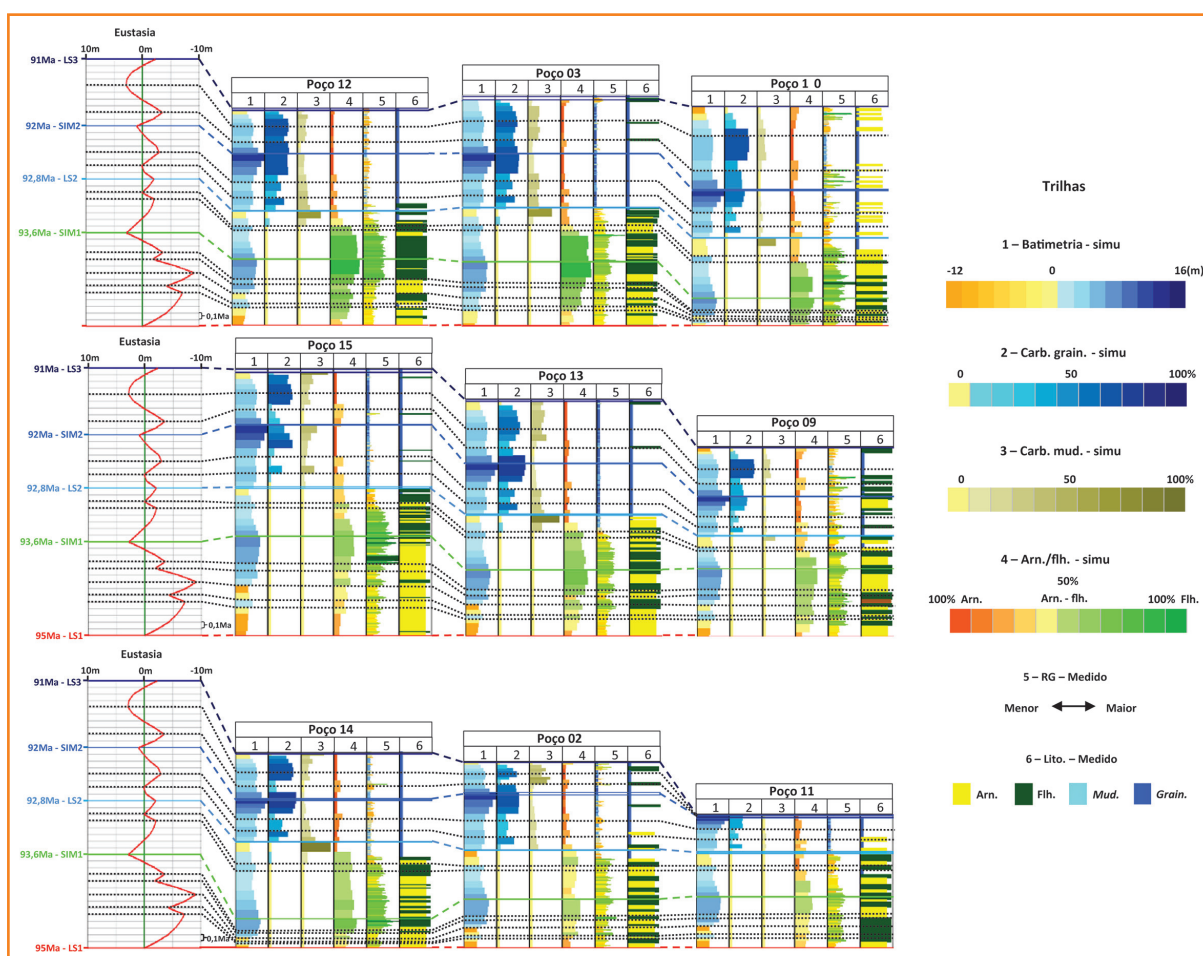


Figura 9 – Comparação entre os parâmetros simulados, como batimetria, grainstone, mudstone, arenito e folhelho, e os medidos, como RG e litologia dos poços utilizados para calibração em função da oscilação eustática calibrada para a área estudada. Ver localização dos poços na figura 1.

Figure 9 – Comparison between simulated parameters, such as: bathymetry, grainstone, mudstone, sandstone and shale, and measured, as GR and lithology of the wells used for calibration as a function of eustatic oscillation calibrated for the study area. See the location wells in figure 1.

## modelo tridimensional de fácies

Os resultados simulados denotaram que em algumas situações coexistem proporções das quatro litologias simuladas. Para representar estas quatro propriedades no mesmo mapa, foi desenvolvida uma metodologia baseada no aprimoramento da representação de Krumbein (1948). Desta forma, foram construídos dois diagramas ternários que agrupam rochas siliciclásticas e carbonáticas com subdivisões de 20% cada, onde cada um dos diagramas decompõe um grupo e reúne o outro grupo litológico, reproduzindo três das quatro litologias ao mesmo tempo. Em outras palavras, quando há predominância de siliciclásticos (>50%), são plotadas as proporções no ternário que representa a decomposição dos siliciclásticos (diagrama 1); quando há predominância de rochas carbonáticas (>50%), são plotadas as proporções no ternário que representa a decomposição das rochas carbonáticas (diagrama 2), conforme ilustrado na figura 10.

Os mapas de proporções litológicas, simulados a cada 0,1 Ma, estão representados por um bloco diagrama, em três dimensões, seccionado por duas seções estratigráficas, uma paralela (*dip*) e outra perpendicular (*strike*) ao mergulho das camadas, conforme ilustrado na figura 11.

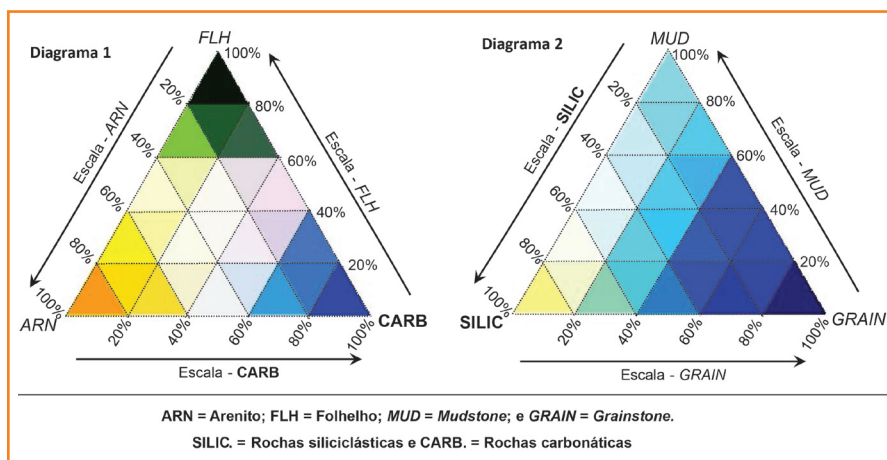


Figura 10 – Diagramas ternários utilizados para representar as proporções litológicas.

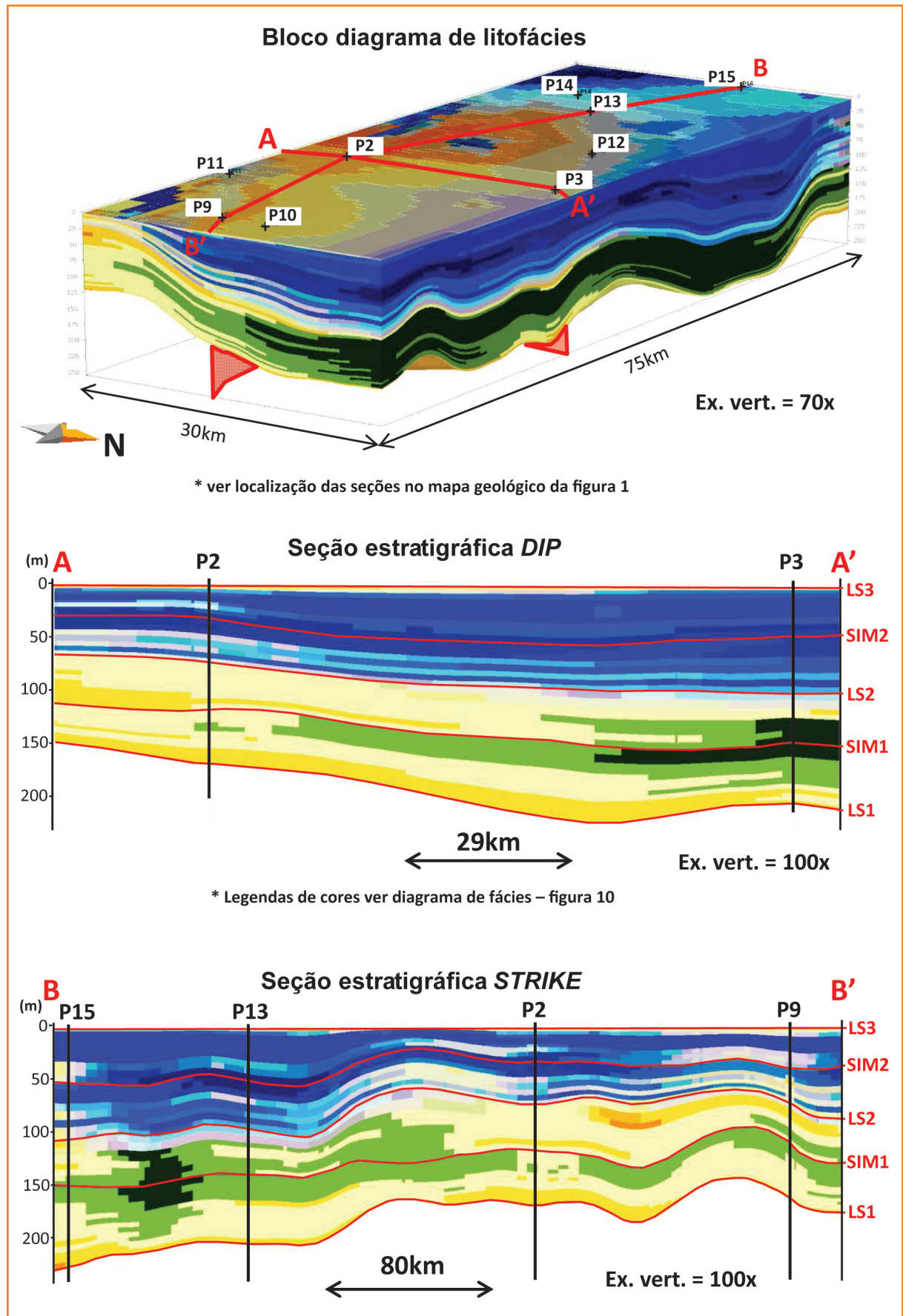
Figure 10 – Ternary diagrams used to represent the lithological proportions.

Figura 11

Bloco diagrama do modelo 3D de litofácies e seções estratigráficas dip (A-A') e strike (B-B') preenchidas pelas litofácies simuladas.

Figure 11

Block diagram of the 3D lithofacies model and stratigraphic dip (A-A') and strike (B-B') sections completed by simulated lithofacies.



# integração entre os modelos deposicionais e as simulações numéricas

## sequência deposicional 1

Os ambientes deposicionais relacionados ao preenchimento sedimentar da sequência 1 são amplamente discutidos em diversos trabalhos, como o de Castro (1993), por meio da descrição de testemunhos, reconhece quatro sistemas deposicionais para o topo da Formação Açu: fluvial meandrante, planície deltaica, planície de maré e marinho raso preenchendo um canal estuarino.

Lana (1997) propõe que, durante a sedimentação da porção proximal do trato transgressivo da sequência 1, teria ocorrido a transição de fácies fluviais meandrantas para uma sucessão de fácies estuarinas passando para fácies de planície de maré e laguna, preenchendo um suave vale inciso.

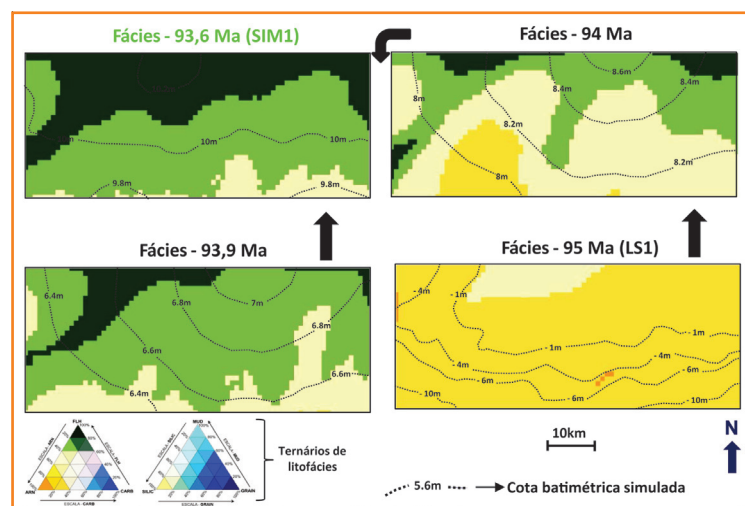


Figura 12 – Mapas de litofácies simulados para o TST da sequência 1.

Figure 12 – Lithofacies maps simulated for the TST in sequence 1.

Segundo a autora, após a superfície de inundação máxima da sequência 1, houve uma retomada da sedimentação siliciclástica arenosa, no entanto, a continuação da deposição relacionada ao trato de mar alto passa a ser predominantemente carbonática.

## trato de sistemas transgressivo

As litofácies simuladas para o trato de sistemas transgressivo da sequência 1, no intervalo entre 95 Ma e 93,6 Ma, denotam predominância de sedimentos siliciclásticos, com tendência de empilhamento com granodrecrescência ascendente. A predominância de fácies com granulação fina ocorre somente próximo ao topo deste trato, a partir de 94 Ma, devido não somente à variação batimétrica, que se elevou de -10m para 8m, mas também ao arrefecimento da sedimentação arenosa (fig. 12).

Os afloramentos referentes à porção inferior do trato de sistemas transgressivo são caracterizados por arenitos amarelos com tons avermelhados, granulometria de grossa a média, estratos com seixos imbricados, milimétricos a centimétricos e estratificações cruzadas acanaladas de médio a grande porte. As paleocorrentes apontam duas direções principais para NE e SE (fig. 13).

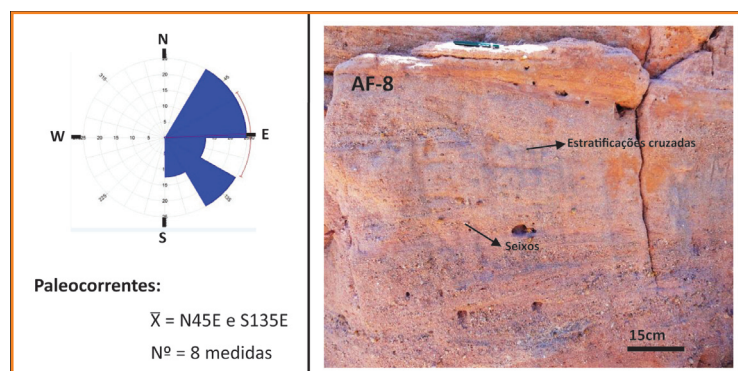


Figura 13 – Caracterização do afloramento 8, posicionado na base do trato de sistemas transgressivo.

Figure 13 – Characterization of outcrop 8, positioned on the basis of the transgressive systems tract.

Na porção superior do trato de sistemas transgressivo, os afloramentos são descritos como: arenitos de médios a finos, creme-avermelhados, com intraclastos de argilas, bioturbações, pares conjugados de argila (*mud couplets*), sequência de feixes de maré (*tidal bundles*) e estratificações cruzadas do tipo espinha de peixe (*herringbone*). As paleocorrentes apontam duas direções, uma principal, variando entre NE, N-NE e N-NW, e outra secundária, para SW (fig. 14).

Os afloramentos observados, em conjunto com os mapas de litofácies simulados e as medidas de paleocorrentes, sugerem para a porção inferior do trato transgressivo um ambiente fluvial, com transporte nas direções NE e SE. Para a porção

superior do trato, a partir de 94 Ma, foi interpretada uma sedimentação dominada por correntes de maré, orientadas nas direções NE-SW.

### trato de sistemas de mar alto

Os resultados referentes ao trato de sistemas de mar alto da sequência 1, intervalo entre 93,6 Ma (SIM1) e 92,8 Ma (LS2), exibem um intervalo com tendência textural de granocrescência ascendente durante a sedimentação siliciclástica. No intervalo entre 93,6 Ma (SIM1) e 93 Ma, ocorreram as maiores taxas de sedimentação da sequência 1, como resposta a uma retomada da sedimentação arenosa, com decréscimo das batimetrias de 10m para 6m de profundidade. (fig. 15).

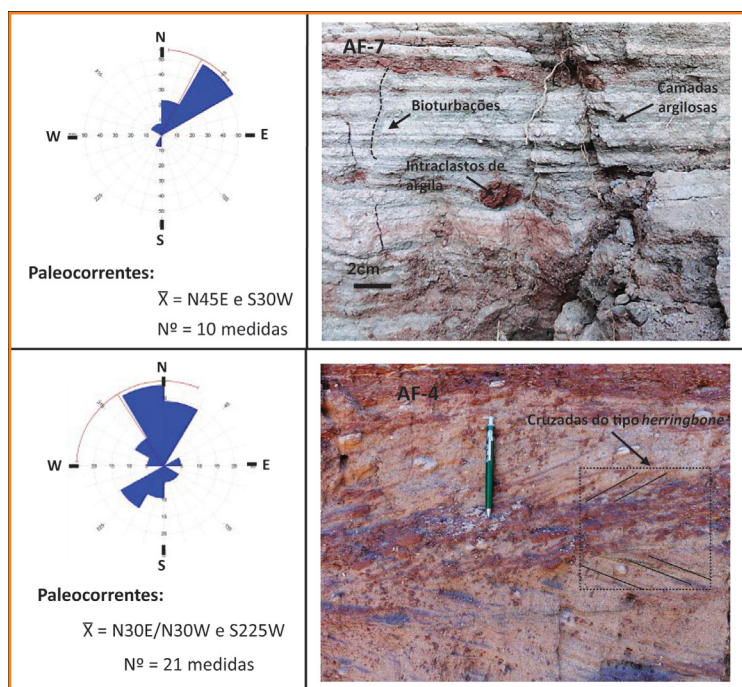


Figura 14 – Caracterização da base do afloramento 7 (a) e do afloramento 4 (b), posicionados no topo do TST.

Figure 14 – Characterization of the base of outcrop 7 (a) and outcrop 4 (b), positioned at the top of the TST.

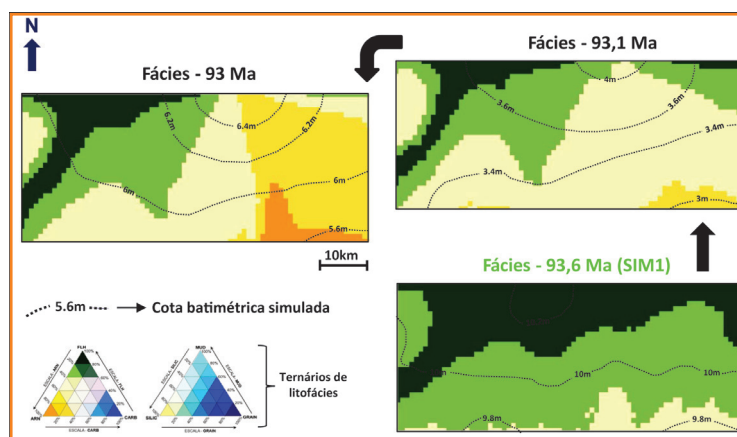


Figura 15 – Mapas de litofácies simulados para a porção inferior e intermediária do TSMa da sequência 1.

Figure 15 – Lithofacies maps simulated for the lower and middle portion of the TSMa in sequence 1.

O ambiente deposicional deste período representa a continuidade do sistema dominado por maré, conforme os registros do afloramento 7. A porção intermediária deste afloramento, correspondente à base do TSMA, é caracterizado por arenitos brancos a amarelados, cimentados, com granulometria média a fina, estratificações cruzadas acanaladas de médio porte. Internamente nos estratos, podem ocorrer marcas onduladas (*ripples*) e pares conjugados de argilas (*mud couplets*) (fig. 16a).

Na porção superior do afloramento 7, correspondente ao nível intermediário do TSMA, foram observados arenitos amarelados a creme-avermelhados, cimentados, com granulometria média. Registra-se ainda a ocorrência de grãos carbonáticos, estratificações métricas e cimentação carbonática

diferencial nos estratos em função das diferenças de porosidade, assinalando a proximidade do contato siliciclástico/carbonático das formações Açu/Jandaíra (fig. 16b). As paleocorrentes mensuradas nestes afloramentos indicam duas direções, uma principal para N-NE e outra muito subordinada para S-SW.

A partir de 93 Ma inicia-se a sedimentação carbonática, condicionada por uma extrema atenuação, da ordem de 60%, do aporte siliciclástico, que se manteve neste patamar até o último evento simulado. As litofácies simuladas, no intervalo entre 93 Ma e 92,8 Ma (LS2), são do tipo mista, predominando arenitos nas porções sul e leste e mudstones nas outras áreas do mapa (fig. 17). Neste intervalo as batimetrias decrescem de 6m para 0m de profundidade.

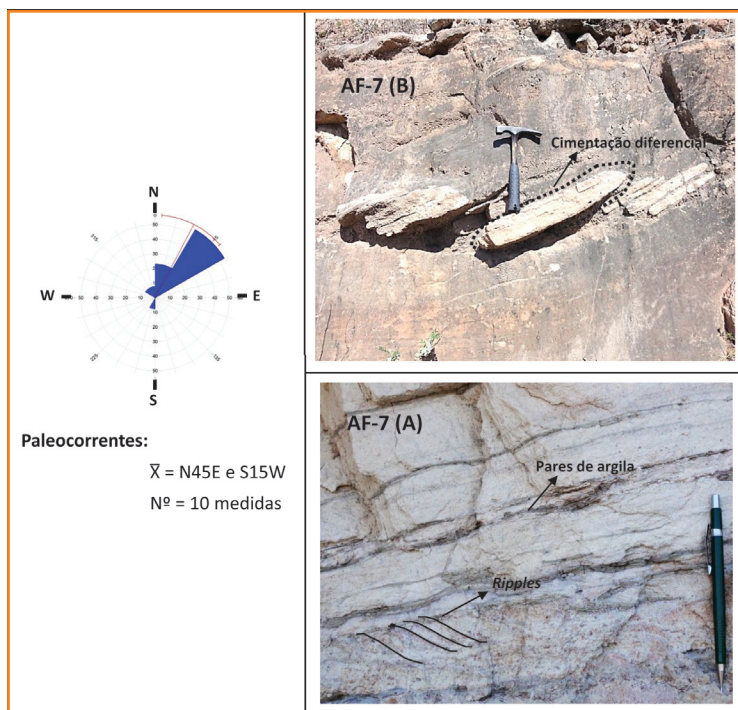


Figura 16 – Caracterização do afloramento 7. Base do afloramento, referente à base do TSMA (a), e topo do afloramento, referente à parte intermediária do TSMA (b).

Figure 16 – Characterization of outcrop 7. Base of the outcrop, concerning the base of the TSMA (a) and top of the outcrop, concerning the middle part of the TSMA (b).

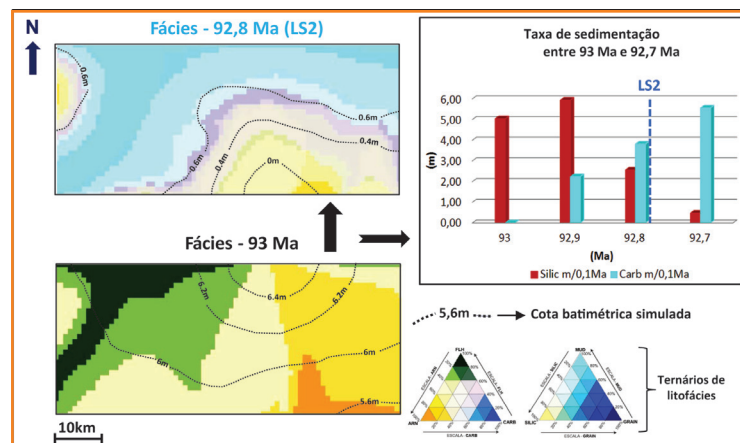


Figura 17 – Mapas de litofácies simulados e gráfico de taxa de sedimentação para o topo do TSMA da sequência 1.

Figure 17 – Lithofacies maps simulated and graph of sedimentation rate at the top of TSMA in sequence 1.

De acordo com Lana (1997), a redução no aporte siliciclástico decorre de mudanças climáticas oriundas do resfriamento das águas oceânicas equatoriais, causando aridez registrada nos isótopos de carbono e oxigênio. Por sua vez, Moraes Neto (1999), Moraes Neto *et al.* (2009) e Soares *et al.* (2003) identificaram, no intervalo Cenomaniano-Turoniano, um evento de soerguimento regional. Partindo do princípio de que para a calibração do modelo se faz necessário um decréscimo abrupto na sedimentação siliciclástica, ao contrário do que seria esperado para este período com os soerguimentos regionais e, em decorrência, o rejuvenescimento das áreas-fonte, são consideradas duas possibilidades para explicar a restrição do aporte siliciclástico: a primeira leva em conta apenas a variação climática, com diminuição da umidade e pluviosidade; e a segunda, uma interação entre variação climática e tectônica, alterando as orientações das rotas de drenagem ao sul da área estudada. A maior presença de arenitos intercalados às rochas carbonáticas da seção turoniana da Formação Jandaíra na porção leste da bacia, em comparação com a quase ausência na porção oeste (Córdoba, 2001), onde se situa a área estudada, pode ser um indicativo de que esse tectonismo tenha alterado essas rotas de drenagem.

### sequência deposicional 2

Em consequência das raras exposições de afloramentos relacionados ao intervalo da sequência 2 e em virtude da correspondência tanto em área como do intervalo cronoestratigráfico, as descrições dos sistemas deposicionais elaboradas por Córdoba (2001) foram utilizadas como referência para a interpretação dos paleoambientes deposicionais desta sequência. A autora classifica a área de estudo como uma rampa carbonática interna, que representa a região mais proximal da Formação Jandaíra, e abrange desde a paleolinha de costa até o nível de base de ondas normais, conformação que submeteu os sedimentos à ação de ondas e/ou marés. Nesta região desenvolveram-se os seguintes sistemas deposicionais:

um sistema estuarino, que marcou o início da sedimentação Jandaíra, evoluindo para sistemas de planície de maré, laguna, manchas recifais e barras de maré carbonática.

### trato de sistemas transgressivo

O trato de sistemas transgressivo da sequência 2, no intervalo entre 92,8 Ma (LS2) e 92 Ma (SIM2), é uma extensão da sedimentação mista, mas com o predomínio de rochas carbonáticas e tendência de granocrescência ascendente. As litofácies simuladas, entre 92,8 Ma (LS2) e 92,4 Ma, indicam uma sedimentação carbonática nas porções norte e oeste; já na porção sul, observam-se alguns aportes siliciclásticos constituídos por arenitos. A partir de 92,4 Ma, as batimetrias se elevam de 6m para 16m, e a sedimentação torna-se, predominantemente, caracterizada por *grainstones* (fig. 18).

### trato de sistemas de mar alto

O trato de sistemas de mar alto da sequência 2, no intervalo entre 92 Ma (SIM2) e 91 Ma (LS3), apresenta uma tendência geral de granodecrescência ascendente e é caracterizado por uma retomada da sedimentação siliciclástica na base. No entanto, a sedimentação passa a ser exclusivamente carbonática no intervalo entre 91,8 Ma e 91,4 Ma. No topo do trato, após 91,4 Ma, a sedimentação siliciclástica torna a ocorrer, porém com baixas taxas de sedimentação. A porção leste é constituída por uma sedimentação mista, e a porção oeste, predominantemente, carbonática.

A superfície LS3, que delimita o topo do TSMA da sequência 2, é caracterizada por Córdoba (2001) como um limite de sequência do tipo 1 e é coincidente a um evento de expressiva queda eustática global, de acordo com a curva de variação eustática de Haq *et al.* (1988), e também a um episódio de soerguimento e erosão, associado ao evento magmático da Formação Serra do Cuó (Soares *et al.*, 2003). Este evento de soerguimento, associado à queda eustática global, provavelmente influenciou a diminuição da batimetria local, com decréscimo de 16m para 1m de profundidade (fig. 19).



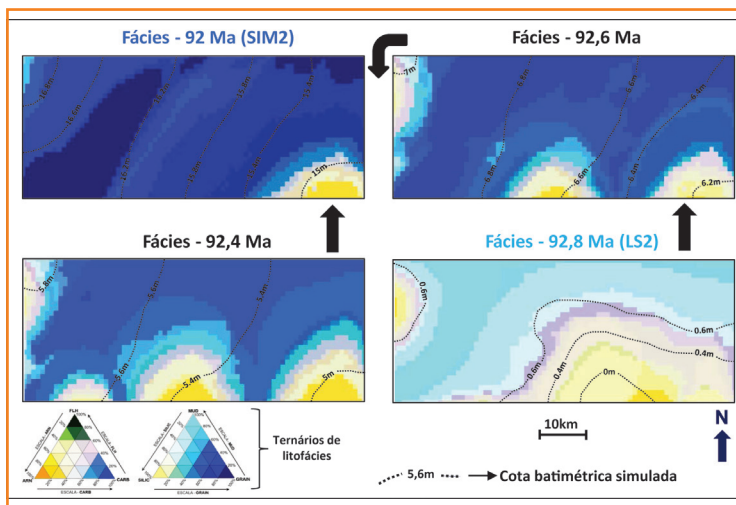


Figura 18 – Mapas de litofácies simulados para o TST da sequência 2.

Figure 18 – Lithofacies maps simulated for the TST in sequence 2.

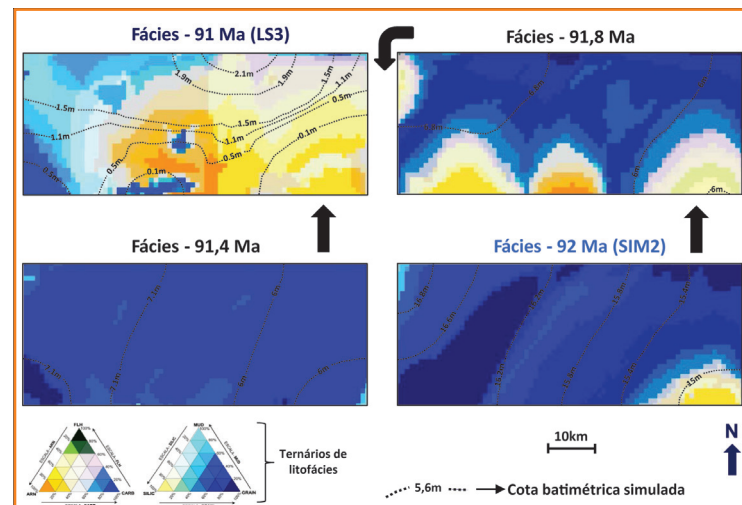


Figura 19 – Mapas de litofácies simuladas do TSMA da sequência 2.

Figure 19 – Lithofacies maps simulated for the TSMA in sequence 2.

Partindo-se do pressuposto de que os parâmetros de difusividade se conservaram constantes, a descarga fluvial ( $m^3/s$ ), proposta para transportar os sedimentos siliciclásticos em direção à bacia, foi variável e até duas vezes superior no trato de sistemas de mar alto da sequência 2, entre  $150m^3/s$  e  $1.000m^3/s$ , em relação às descargas fluviais, constantes, dos tratos de sistemas subjacentes, em torno de  $520m^3/s$ . Estas descargas fluviais anômalas, posicionadas na base e no topo do trato de sistemas de mar alto da sequência 2, podem ser interpretadas como eventos episódicos de fortes tempestades durante os períodos de maior aridez, em analogia aos registros atuais de precipitação do deserto do Saara (Barry e Chorley, 2010).

## conclusões

O intervalo estratigráfico do período Mesoceno/Neoturoniano é caracterizado por tratos de sistemas deposicionais transgressivos (TST) e de mar alto (TSMA) que compõem duas sequências estratigráficas de terceira ordem e de sedimentação mista, uma predominantemente siliciclástica, sequência 1 (inferior), e outra predominantemente carbonática, sequência 2 (superior).

A sequência 1 compreende o intervalo entre 95 Ma (LS1) e 92,8 Ma (LS2). As litofácies simuladas para representar o TST da base da sequência apresentaram predominância de sedimentação siliciclástica, com tendência de empilhamento textural com granodecrescência para o topo. Inicialmente regida por sistema fluvial, contudo, a mesma, há 94 Ma, migrou para uma sedimentação dominada por correntes de maré. Os tratos de sistemas de mar alto, do topo da sequência, constituem continuidade do sistema dominado por maré, porém com tendência de empilhamento textural com granocrescência para o topo. As litofácies simuladas, entre 93,6 Ma (SIM1) e 93 Ma, representam uma retomada da sedimentação arenosa, com altas taxas de sedimentação. A partir de 93 Ma, teve início uma sedimentação carbonática, favorecida por uma extrema atenuação, da ordem de 60%, do aporte siliciclástico. Ponderam-se duas possibilidades para explicar a restrição do suprimento siliciclástico: a primeira decorre de mudanças climáticas, que causaram aridez registrada nos isótopos de carbono e oxigênio, e a segunda, uma interação entre variação climática e tectônica, registrada por anomalias térmicas, alterando as orientações das rotas de drenagem ao sul da área estudada.

A sequência 2 compreende o intervalo entre 92,8 Ma (LS2) e 91 Ma (LS3). O trato de sistemas transgressivo da base da sequência é caracterizado

por tendência de empilhamento textural com granocrescência ascendente. As litofácies simuladas, entre 92,8 Ma (LS2) e 92,4 Ma, correspondem a uma sedimentação mista, com aporte siliciclástico na porção sul. Entre 92,4 Ma e 92 Ma (SIM2), a sedimentação tornou-se predominantemente composta por *grainstones*. Após a superfície de máxima inundação da sequência 2, há 92 Ma, ocorre o estaqueamento dos tratos de sistemas de mar alto, delimitados pela superfície limite de sequência LS3, há 91 Ma. O perfil granulométrico desse trato de sistemas é de granodecrescência para o topo, sendo que as litofácies simuladas caracterizam um aporte siliciclástico intermitente, que proporcionou uma sedimentação exclusivamente carbonática entre 91,8 Ma e 91,4 Ma.

Na modelagem estratigráfica da sequência 1, as descargas fluviais ( $m^3/s$ ) que melhor ajustaram o transporte dos sedimentos siliciclásticos em direção à bacia correspondem a um fluxo constante, da ordem de  $520m^3/s$ , porém, na sequência 2, este valor se alternou entre  $150m^3/s$  e  $1.100m^3/s$ . Os altos valores, em torno de  $1.000m^3/s$ , foram interpretados como decorrentes da precipitação de chuvas torrenciais, esporádicas, que normalmente ocorrem em climas áridos, condição climática interpretada na deposição dessa sequência.

## agradecimentos

Este artigo é parte da dissertação de mestrado do primeiro autor, desenvolvida no Programa de Estudos de Rochas Carbonáticas (UNESPetro) da Universidade Estadual Paulista de Rio Claro – SP (Unesp). Agradecimentos ao orientador, Prof. Dr. Mário Luís Assine, e ao coorientador, consultor Ubiraci Manoel Soares, no desenvolvimento deste artigo e da referida dissertação. Agradeço igualmente aos gerentes da Petrobras: Sylvia M. Couto dos Anjos, Augusto Franklin F. Dantas Caldas, Luiz Antônio Freitas Trindade e Henrique Luiz Penteadado, que forneceram total apoio para que o trabalho pudesse ser realizado da melhor forma possível, e aos colegas, desenvolvedores do Sigeo, Luiz Eduardo Seabra Varella e Antonio de Padua C. Pires Filho, por me auxiliarem no desenvolvimento e automatização das representações de litofácies.

## referências bibliográficas

ANGELIM, L. A. A.; MEDEIROS, V. C. **Mapa geológico do estado do Rio Grande do Norte**. Recife: CPRM, FAPERN, 2006. 1 mapa, color. Escala: 1:500.000.

BARRY, R. G.; CHORLEY, R. J. **Atmosphere, weather and climate**. 9th ed. London: Routledge, 2010. 516 p.

BERTANI, R. T.; ARARIPE, P. T.; BELTRAMI, C. V. Evolução tectono-sedimentar, estilo estrutural e o habitat do petróleo na Bacia Potiguar. In: RAJA GABAGLIA, G. P.; MILANI, E. J. (Coord.). **Origem e evolução de Bacias Sedimentares**. Rio de Janeiro: Gavea, 1990. p. 291-310.

CASTRO, J. C. Facies, reservoirs and stratigraphic framework of the Mossoró Member (Latest Cenomanian-Earliest Turonian) in Potiguar Basin, NE Brazil: an example of a tidal and wave dominated delta. In: RHODES, E. G.; MOSLOW, T. F. (Ed.). **Frontiers in sedimentary geology marine clastic reservoirs**. New York: Springer, 1992. p.161-182.

CHANG, H. K.; KOWSMANN, R. O.; FIGUEIREDO, A. M. F. New concepts on the development of east Brazilian marginal basins. **Episodes**, v. 11, n. 3, Sept., 1988, p. 194-202.

CÓRDOBA, V. C. **A Evolução da plataforma carbonática Jandaíra durante o Neocretáceo na Bacia Potiguar**: análise paleoambiental, diagenética e estratigráfica. 2001. 282f. Tese (Doutorado em Geologia Regional)-Departamento de Geologia Aplicada, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2001.

DUNHAM, R. J. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In: HAMM, W. E. (Ed.). **Classification of carbonate rocks, a symposium**. Tulsa: American Association of Petroleum Geologists, 1962. p.108-121. (AAPG Memoir, 1).

GRADSTEIN, F.; OGG, J.; SMITH, A. (Ed.). **A geologic time scale**. Cambridge: Cambridge University Press, 2004. 589p.

HAQ, B. U.; HARDENBOL, J.; VAIL, P. R. Mesozoic and Cenozoic chronostratigraphy and eustatic cycles. In: WILGUS, C. K.; HASTINGS, B. S.; POSAMENTIER, H.; VAN WAGONER, J. C.; ROSS, C. A.; KENDALL, C. G. S. C. (Ed.). **Sea level changes: an integrated approach**. Tulsa: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, 1988. p. 71-108. (Special Publication, 42).

KRUMBEIN, W. C. Lithofacies maps and regional sedimentary-stratigraphic analysis. **American Association of Petroleum Geologists Bulletin**, v. 32, n. 10, Tulsa, p. 1909-1923, Oct. 1948.

LANA, C. C. **Palinologia e estratigrafia integrada da seção Cenomaniano médio-Turoniano inferior da porção centro-leste da Bacia Potiguar, NE do Brasil**. 1997. 197 f. Dissertação (Mestrado em Geociências)-Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

MATOS, R. M. D. The northeast Brazilian rift system. **Tectonics**, Washington, v. 11, n. 4, p. 766-791, Aug. 1992.

MORAIS NETO J. M. **As coberturas sedimentares terciárias do interior da Paraíba e rio grande do norte e a gênese da antéclice da Borborema**. 1999. 170 f. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Dissertação de Mestrado, 1999.

MORAIS NETO, J. M.; HEGARTY, K. A.; KARNER G. D.; ALKIMIM F. F. Timing and mechanisms for the generation and modification of the anomalous topography of the Borborema Province, northeastern Brazil. **Marine and Petroleum Geology**, Guildford, v. 26, n. 7, p. 1070-1086, Aug. 2009.

PESSOA NETO, O. C. Estratigrafia de seqüências da plataforma mista neogênica na Bacia Potiguar, margem equatorial brasileira. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 33, n. 3, p. 263-278, set. 2003.

SAMPAIO, A. V.; SCHALLER, H. Introdução à estratigrafia da Bacia Potiguar. **Boletim Técnico da Petrobras**, v. 11, n. 1, p. 19-44, jan./mar. 1968.

SILVA, A. O. **Fácies, paleoambientes e análise estratigráfica do Membro Mossoró (Mesocenomaniano/Eoturoniano) da Formação Açú na área do Campo de Redonda, Bacia Potiguar Emersa, Rio Grande do Norte**. 1993, 177 f. Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 1993.

SOARES, U. M.; ROSSETTI, E. L.; CASSAB, R. C. T. Bacias sedimentares brasileiras: Bacia Potiguar. **Phoenix**, Rio de Janeiro, v. 5, n. 56, ago. 2003.

VASCONCELOS, E. P.; LIMA NETO, F. F.; ROSS, S. Unidades de correlação da Formação Açú. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36, 1990, Natal. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geologia, 1990. p.227-240.

## Webgrafia

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Segunda Rodada de Licitações**: Bacia Potiguar. 2003. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/brasil-rounds/round2/Pdocs/Pbacias/PBframe07.htm>>. Acesso em: 23 fev. 2013.

## expanded abstract

*Stratigraphic modeling of depositional systems, based on the physical equations for creation of accommodation space and sedimentation rate, can simulate with reasonable accuracy the stratigraphic architecture of depositional sequences through time. Applying this methodology, this study aimed at the development of a numerical model of sedimentation filling between the Middle Cenomanian and the Late Turonian at the southwestern edge of the onshore Potiguar Basin in northeastern Brazil. This stratigraphic level is characterized by a gradual transition from the siliciclastic succession of the Açú Formation to the carbonate system of the Jandaíra Formation. To achieve the proposed objectives, the profiles of 104 wells were correlated and five key stratigraphic surfaces were identified, three of which were sequence limits (LS1, LS2 and LS3) and two were maximum flooding surfaces (SIM1 and SIM2), constituting two third-order depositional sequences. Sequence 1 (lower) and sequence 2 (upper) are represented by transgressive and highstand depositional systems tracts. The simulations using the Dionisos® software had an excellent calibration with the lithological and Gamma-Ray profiles in 9 wells evenly distributed in the study area. The simulated results of the transgressive systems tract of sequence 1, deposited between 95 Ma (LS1) and 93,6 Ma (SIM1), consist of siliciclastics with a fining upward profile. In the highstand depositional systems tract of sequence 1 (between 93,6 Ma - SIM1- and 92,8 Ma - LS2), the simulated lithofacies featured a coarsening*

*upward profile during the siliciclastic sedimentation. Carbonate sedimentation favored by a conspicuous reduction in siliciclastic input (around 60%) started at 93 Ma, due to a climatic change or supposedly an interaction between tectonics and climate. The modeled lithofacies of the transgressive systems tract of sequence 2, deposited between 92,8 Ma (LS2) and 92 Ma (SIM2), are made up of a mixed sedimentation, with a predominance of carbonates in a coarsening upward profile. The highstand systems tracts, (between 92 Ma - SIM2 - and 91 Ma - LS3), are constituted by carbonates in a fining upward profile with an intermittent supply of siliciclastic sediments. The results of modeling sequences 1 and 2 show that the provenance of siliciclastic sediments was mostly from the southern edge with 90% of the total volume, and the remaining volume coming from the western edge. This terrigenous input was deposited at a low sedimentation rate (around 40 m/Ma) up to 93 Ma. After this period, the siliciclastic depositional rate ranged between 0 m/Ma and 10 m/Ma. The carbonate sedimentation started in 93 Ma at an average rate of 38 m/Ma. The modeled fluvial discharges of sequence 1 correspond to a constant flow of around 520m<sup>3</sup>/s, while those in sequence 2 ranged between 150m<sup>3</sup>/s and 1.100 m<sup>3</sup>/s. The high discharges would be the result of sporadic storms which normally occur in arid climates, the weather condition interpreted to prevail during the deposition of this sequence. These results corroborate the interpretations of the depositional model for this period in the Potiguar Basin, demonstrating that this methodology has become an important tool to build a dynamic facies model and depositional geometries in frontier exploration areas.*

## autores



**Gustavo Garcia**

E&P Exploração  
Geologia Aplicada à Exploração  
Modelagem de Sistemas Petrolíferos

[gustavogrc@petrobras.com.br](mailto:gustavogrc@petrobras.com.br)

**Gustavo Garcia** graduou-se pela Universidade de São Paulo em 2006. cursou especialização em rochas carbonáticas pela Universidade Estadual Paulista em 2011 e obteve o título de mestre pela mesma universidade em 2014, com foco em Estratigrafia, Sistemas Depositionais e Modelagem Estratigráfica. Ingressou na Petrobras em 2006 como geólogo e, desde 2007, atua pela Gerência de Geologia Aplicada a Exploração, com ênfase em Modelagem de Sistemas Petrolíferos. Atualmente desenvolve trabalhos relacionados à Análise de Sistemas Petrolíferos para as bacias de Campos, Potiguar, Ceará e Solimões.



**Mario Luis Assine**

Universidade Estadual Paulista (Unesp)  
Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
Departamento de Geologia Aplicada

[assine@rc.unesp.br](mailto:assine@rc.unesp.br)

**Mario Luis Assine** graduou-se em Geologia pela Universidade Estadual Paulista (Unesp) em 1979. Atuou como geólogo na Petrobras (1980-1981), no IPT (1982-1985) e na Construtora Andrade Gutierrez (1985-1986). De 1987 a 1997 exerceu o cargo de professor do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Paraná (UFPR). Obteve título de Mestre em Geologia Regional pela Universidade Estadual Paulista (Unesp) em 1990 e de Doutor em Geociências (Geologia Sedimentar) pela Universidade de São Paulo (USP) em 1996. Desde 1997 é docente do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista (Unesp), instituição na qual exerce a função de professor adjunto desde 2003, quando obteve o título de Professor Livre-Docente em Estratigrafia e Sedimentação. Tem como linhas de pesquisa a análise de bacias sedimentares (bacias do Araripe e do Paraná) e o estudo da Geologia do Quaternário continental (Bacia do Pantanal).



### Ubiraci Manoel Soares

Unidade Operacional de Exploração e  
Produção do Rio Grande do Norte e Ceará  
Exploração

Avaliação de Blocos e Interpretação  
Geológica e Geofísica

[ubiraci@petrobras.com.br](mailto:ubiraci@petrobras.com.br)

**Ubiraci Manoel Soares** graduou-se em Geologia pela Universidade Federal da Bahia em 1981. Em 2000 obteve o título de mestre em Geodinâmica pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte, defendendo tema de dissertação sobre as relações entre tectonismo e sequências deposicionais no Rifte Potiguar. Admitido na Petrobras em 1982, trabalhou durante seis anos na área de acompanhamento e avaliação de poços nas bacias de Segipe-Alagoas e Potiguar, e desde então trabalha como intérprete exploracionista na Bacia Potiguar emersa e submersa.