

Evolução geológica das sequências mistas (siliciclásticas e carbonáticas) sob influências da tectônica que envolve o embasamento e da halocinese durante o Albiano – Plataforma de Regência – Bacia do Espírito Santo

Geological evolution of the mixed sequences (siliciclastic and carbonate) under the influence of the basement tectonics and halokinesis during the Albian – Regência Platform – Espírito Santo Basin

Claudio Vinicius Tagliari | Paola de Rossi Fontanelli | Jairo Rios Brandão | Paulo Sérgio Gomes Paim

resumo

A área estudada situa-se na porção terrestre da Bacia do Espírito Santo, na província geológica conhecida como Plataforma de Regência. O intervalo compreende sedimentos siliciclásticos (fluviais, transicionais e marinhos rasos) e carbonatos (marinhos rasos). A base de dados utilizada incluiu dados de amostra de calha, testemunhos (relativamente escassos), perfis geofísicos de mais de 90 poços exploratórios, sísmica de reflexão com cobertura 3D, além de dados micropaleontológicos. Isto viabilizou a integração dos poços com a sísmica, possibilitando o rastreamento de refletores sísmicos com a produção de seções sísmicas interpretadas e a consequente confecção de mapas de litofácies, mapas paleogeográficos, mapa de atributo sísmico, blocos diagramas paleogeográficos e seções de velocidade. Este estudo procurou melhor compreender as relações genéticas existentes entre a estruturação adiastrófica e a movimentação tectônica ocorridas durante o Albiano e como estas interferiram na distribuição paleogeográfica das fácies siliciclásticas, carbonáticas e híbridas. O pulso tectônico responsável pela mudança no gradiente da base

do sal, na Zona de Falha Cedro-Rio Doce, que divide a Plataforma de Regência em dois blocos (alto e baixo), provavelmente ocorreu no Albiano Inferior, junto com o evento causador da discordância que separa as duas sequências deposicionais informalmente reconhecidas e descritas (A e B). O bloco baixo apresenta feições sísmicas que indicam escorregamento do pacote albian, produzido por esse episódio tectônico. Na Sequência A observa-se o predomínio de siliciclásticos nas porções mais proximais (NW da Plataforma) e de fácies híbridas e carbonáticas nas mais distais. A Sequência B apresenta a retrogradação das fácies proximais no sentido oeste, inclusive com o implante de uma contínua plataforma carbonática, com prováveis bancos carbonáticos descontinuados, possivelmente causados pela ação de correntes de marés, na Zona de Falha Cedro-Rio Doce e porções mais distais. O estudo revelou que a deposição de siliciclásticos, carbonatos e sedimentos mistos ocorreu de forma contemporânea, considerando uma escala temporal dita de terceira ordem, a partir da percepção que a análise sísmica permite inferir.

Palavras-chave: sedimentação mista | sismoestratigrafia | halocinese | tectônica | embasamento | Bacia do Espírito Santo

abstract

The study area is located in the onshore portion of the Espírito Santo Basin in the geologic province known as Plataforma de Regência. The studied interval comprises siliciclastic sediments (fluvial, transitional and shallow marine) and carbonates (shallow marine). The data base used included cuttings and cores, geophysical logs from more than 90 exploration wells, 3D seismic reflection and paleontological data. This enabled the wells to be tied to the seismic lines generating seismic reflectors which then produced interpreted seismic sections with the consequent production of lithofacies maps, paleogeographical maps, seismic attribute maps, paleogeographical sketches and velocity seismic sections. This study aims to improve understanding of the interaction between Albian salt movement, basement tectonics and how these interfered the paleogeographic displacement of the coeval siliciclastic, carbonate and hybrid facies, considering a temporal third order scale. The tectonic pulse that produced a change in the salt base gradient along the Cedro-Rio Doce Fault, which splits the Plataforma de Regência into a high and a low block, probably took place in the Albian and produced the unconformity that bounds both informally recognized and described sequences (A and B). The lower block shows seismic features that indicate the slide of the Albian package caused by this tectonic event. A siliciclastic predominance in the proximal portion (NW of the Platform) and hybrid and carbonate facies in the more distal zone are apparent during the deposition of the Sequence A. The Sequence B shows a westwards retrogradation of the facies belts and a resulting deposition along the Cedro-Rio Doce Fault Zone and more distal portions of a discontinuous carbonate platform probably including isolated carbonate banks produced by tidal currents. The study revealed that the deposition of siliciclastic, carbonate and mixed sedimentation occurred contemporaneously, considering a third order timescale, based on the perception given by seismic analysis.

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

Keywords: *mixed sedimentation | seismic stratigraphy | halokinesis | tectonics | basement | Espírito Santo Basin*

introdução

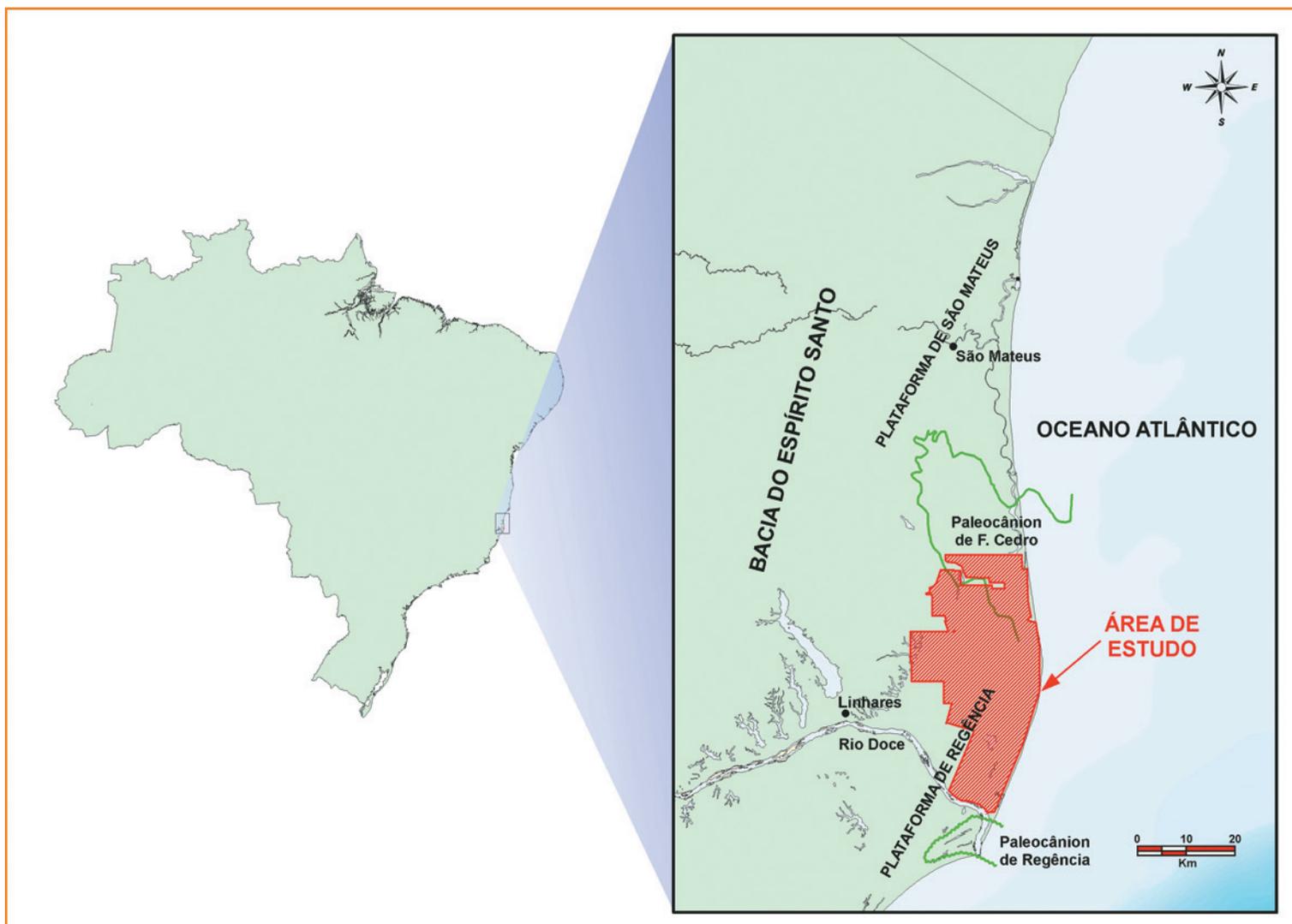
A área de estudo (figs. 1 e 2) abrange grande parte da Plataforma de Regência, uma das quatro províncias geológicas que compõem a porção atualmente emersa da Bacia do Espírito Santo (fig. 3). Esta província é caracterizada por rochas albianas de origem fluvial, transicional e marinha rasa e de natureza variada (siliciclástica, híbrida e carbonática). A Plataforma de Regência é limitada por duas marcantes incisões, os paleocânions de Fazenda Cedro (ao norte) e Regência (ao sul), que se encontram preenchidos por folhelhos, margas e turbiditos (folhelhos e arenitos). A quarta e mais setentrional das províncias corresponde à Plataforma de São Mateus, que é caracterizada, sobretudo, por sedimentos aptianos de origem aluvial, fluvial e deltaica.

A seção estratigráfica estudada não aflora. Assim, a base de dados compreende perfis elétricos e radioativos de poços, amostras de calha, informações micropaleontológicas e linhas de sísmica de reflexão.

Do ponto de vista estrutural, a principal feição observada na Plataforma de Regência é uma zona de falhas de direção norte-sul, que a divide em dois grandes blocos: um alto (ocidental) e outro baixo (oriental). Esta zona coincide na maior parte das vezes com a Falha Cedro-Rio Doce e apresenta direção preferencial N/NE, na região estudada. Esta zona de falhamentos marca uma mudança no mergulho dos refletores sísmicos, no bloco baixo, por parte dos sedimentos mais antigos do que o Eoceno Superior (fig. 4), no sentido do depocentro da bacia, bem como um brusco adelgaçamento do Grupo Barra Nova (Andar Albiano), no mesmo sentido.

Na Plataforma de Regência, o Andar Albiano é constituído por um pacote sedimentar que chega a ultrapassar 1.000m de espessura. Este intervalo inclui rochas siliciclásticas (fluviais, transicionais e marinho rasas) e carbonatos marinho rasos que frequentemente se interdigitam (fácies híbridas). Há, no geral, uma clara tendência de disposição proximal para as fácies siliciclásticas e, mais distal, para as fácies predominantemente carbonáticas (França *et al.*, 2007).

A seção do Aptiano Superior ao Albiano foi dividida em intervalos sismoestratigráficos importantes e rastreáveis em escala regional. Foram definidas, informalmente, duas sequências deposicionais *sensu* Vail *et al.* (1977), Van Wagoner *et al.* (1988), denominadas A e B, limitadas por uma superfície de discordância.



Rastreou-se na porção centro-oeste da área um horizonte sísmico com uma importante conotação estratigráfica e interpretado como uma superfície de condensação, a qual corresponde a um nível rico em glauconita (abundantes picos radioativos).

O presente estudo busca melhor compreender a interação entre estruturas adiastróficas (halocinese), a atuação da tectônica e como estas interferiram na distribuição geográfica contemporânea das fácies siliciclásticas, carbonáticas e híbridas. Utilizando-se das superfícies sismoestratigráficas, da descrição das amostras de calha e da análise de perfis elétricos e radioativos de poços exploratórios, foram confeccionados mapas de litofácies e mapas paleogeográficos e blocos diagramas deles derivados. A superfície de condensação, sísmicamente rastreada, possibilitou subdividir a Sequência B em dois intervalos estratigráficos: basal (Trato de Sistemas Transgressivo B1), de natureza retrogradante e compreendendo fácies

siliciclásticas que se tornam carbonáticas na direção proximal, e superior (Trato de Sistemas de Mar Alto, intervalo B2), de caráter progradante. Ao longo de horizontes sísmicos contemporâneos é possível observar que carbonatos mais distalmente situados gradam, no sentido proximal, para siliciclásticos.

método de trabalho

Neste estudo de natureza regional as sequências estudadas foram identificadas e delimitadas por critérios sísmicos com suporte de dados de rocha, principalmente amostras de calha, pois testemunhos são escassos e disponíveis apenas de forma localizada.

Utilizaram-se, de forma combinada, dados derivados de vários programas sísmicos 3D, cuja cobertura total (fig. 2) abrange a maior parte da porção terrestre da Plataforma de Regência. Isto forneceu

Figura 1

Área de localização do projeto, na Plataforma de Regência - Bacia do Espírito Santo, situada entre os paleocânions de Regência, ao sul, e Fazenda Cedro, ao norte. O polígono na cor vermelha indica a área que contém dados sísmicos 3D.

Figure 1

Location of the project area, Plataforma de Regência, in the Espírito Santo Basin, situated between Paleocânion de Regência in the south, and Paleocânion de Fazenda Cedro in the north. The red polygon indicates the area that contains 3D seismic data.

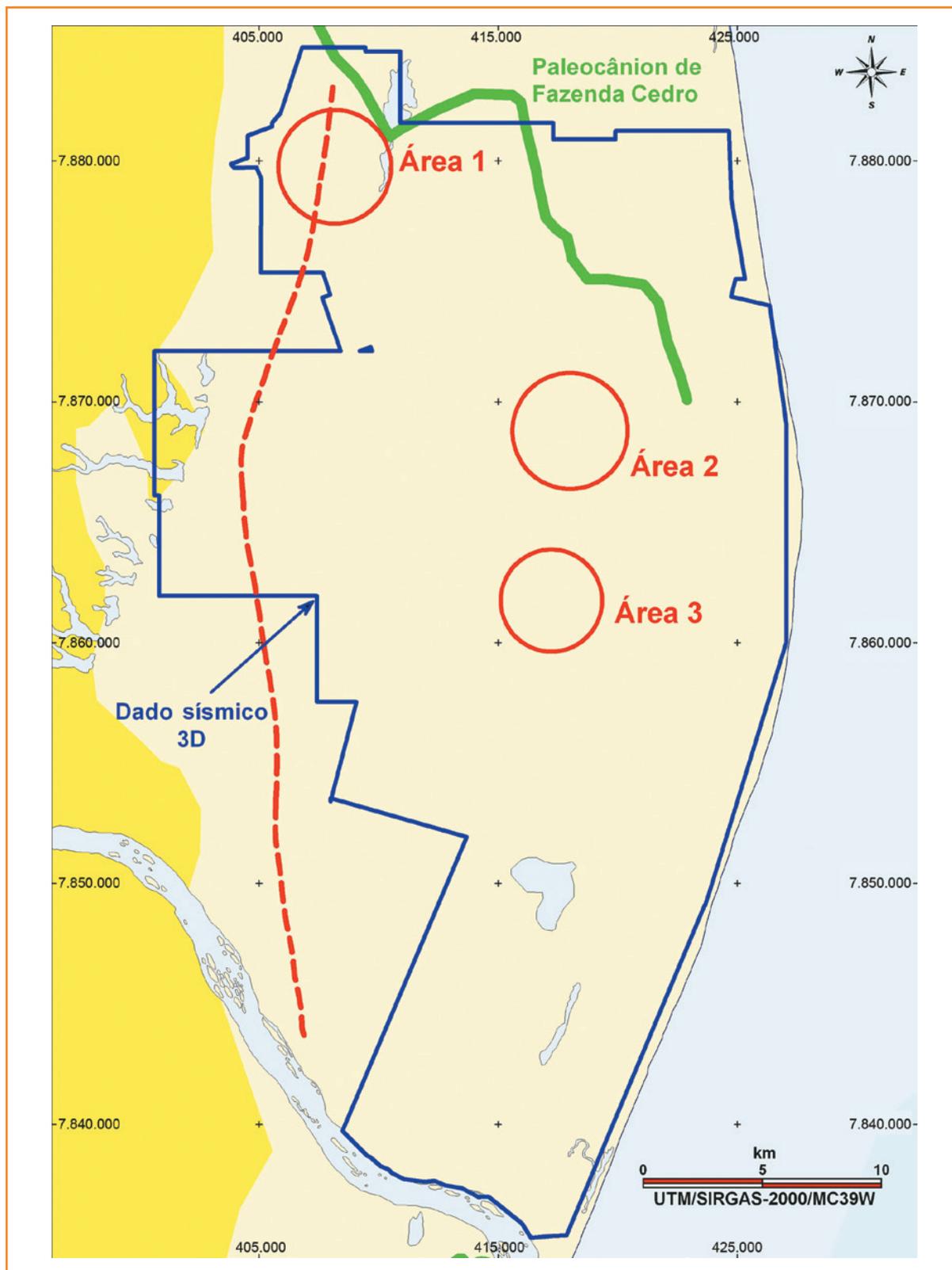


Figura 2 - Polígono, em azul, do programa sísmico 3D utilizado; a linha tracejada em vermelho marca provável limite oeste da ocorrência de halita (idade aptiana); disposição das Áreas 1, 2 e 3 (círculo vermelho), utilizadas como referência geográfica.

Figure 2 - 3D seismic program blue polygon; red dashed line marks the western limit of likely Aptian halite sedimentation; disposition of Areas 1, 2 and 3 (red circle) used as geographical reference.

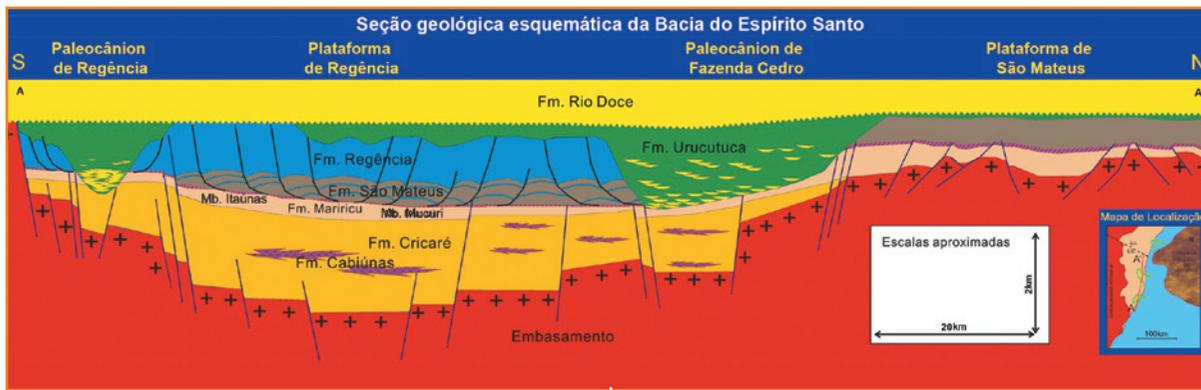


Figura 3
Seção geológica regional com localização da Plataforma de Regência (Bonora e Tschiedel, 2001, relatório interno *apud* França e Tokutake, 2004).

Figure 3
Regional geological section with location of the Plataforma de Regência. (Bonora and Tschiedel, 2004, internal report).

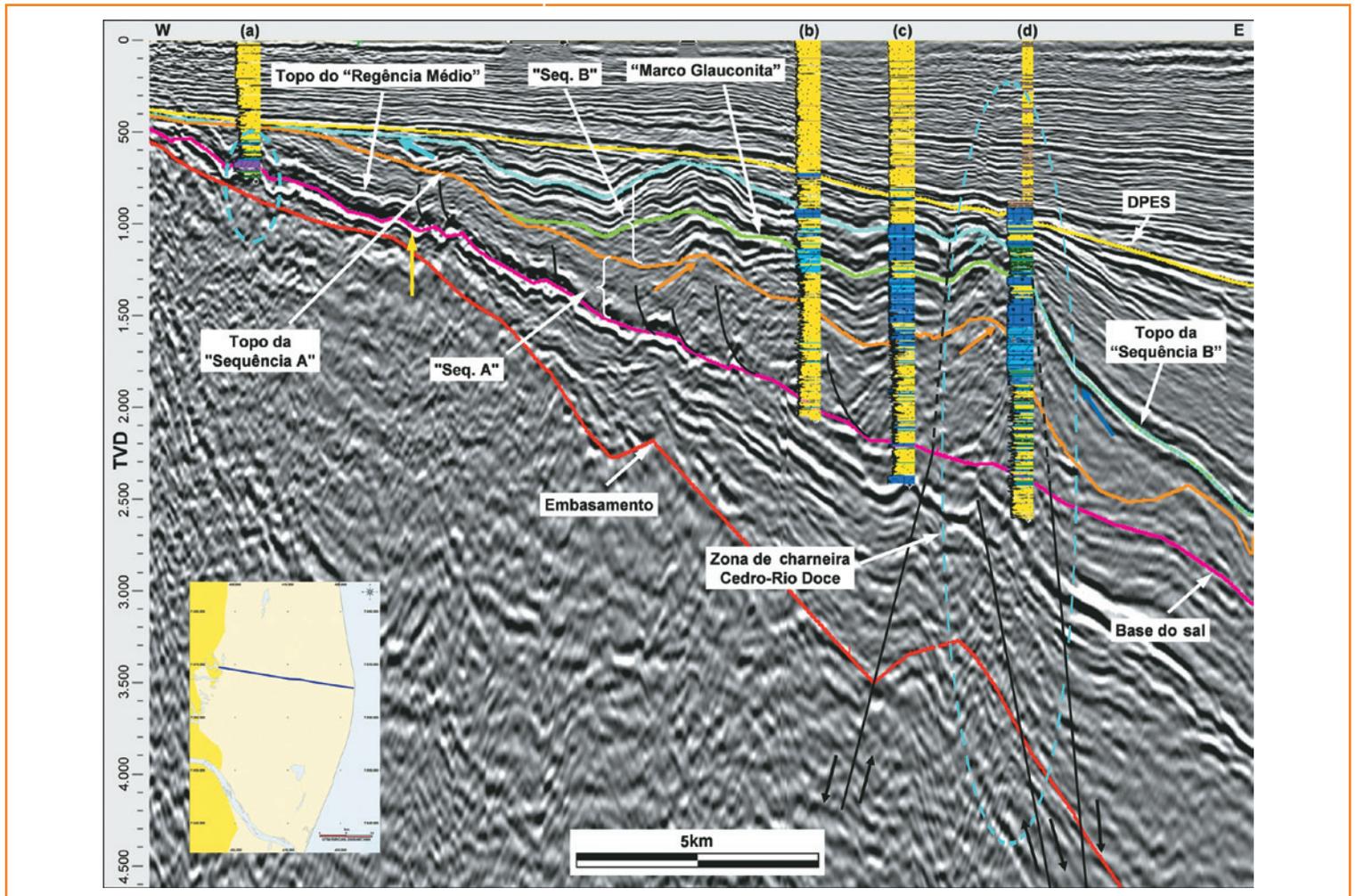


Figura 4 - Seção sísmica (em profundidade), evidenciando a mudança do gradiente entre o bloco alto e o bloco baixo dos seguintes horizontes correspondentes: topo do Albiano (topo da Sequência B equivalente ao topo do Grupo Barra Nova; fig. 6, refletor azul); topo da Sequência A (refletor laranja) e da base do sal (refletor magenta – base do Grupo Barra Nova). Notar o adelgaçamento das sequências A e B (Albiano) no bloco baixo, a leste da zona de charneira; observar refletores truncados, em laranja e azul, respectivamente, contra horizontes erosivos que marcam os topos das sequências A e B; a seta em amarelo marca o início, no sentido *downdip*, de falhamentos lístricos causados pela halocinese (linha vermelha tracejada na fig. 1b). Refletor amarelo - DPES: topo do Eoceno Médio.

Figure 4 - Seismic depth section showing gradient change between the high block and the low block of the following horizons: top blue color Albian horizon (Sequence B top and top of Barra Nova Group – Fig. 6, blue color), Sequence A top horizon (orange color) and magenta salt base reflector (Sequence A and Barra Nova Group bottom reflector). Notice the thinning of sequences A and B (Albiano) in the low block, east of the hinge line: reflectors, orange and blue, respectively, truncating against the erosional horizons that marks sequences A and B tops; yellow arrow indicates the west limit of the halokinetic listric faults appearance (see dashed red line in fig. 1b); yellow reflector - DPES: Medium Eocene top.

uma visão regional da área de estudo. Foram geradas seções sísmicas de velocidades médias intervalares a partir do modelo de velocidades, considerando os intervalos delimitados pelos horizontes. Foram superpostas cores aos refletores sísmicos que refletem as velocidades sísmicas.

As terminações dos refletores sísmicos ajudaram a definir a natureza das superfícies estratigráficas mapeadas. Procurou-se discriminar apenas aqueles horizontes sísmicos que fossem mapeáveis em escala regional.

Perfis elétricos e radioativos de poços e sua interpretação litológica a partir de amostras de calha do banco de dados da companhia também constituíram instrumentos utilizados na consecução do trabalho.

De posse deste acervo, foram elaborados mapas de litofácies e mapas paleogeográficos deduzidos dos mapas de litofácies de três intervalos estratigráficos utilizando-se o aplicativo Litofácies do *software* Sistema Integrado de Geologia e Geofísica (SIGEO), da Petrobras. Primeiramente os horizontes foram rastreados e convertidos para profundidade. Depois foram ajustados aos respectivos marcadores nos poços. Um arquivo no formato xyz foi gerado a partir destes horizontes ajustados e usado no aplicativo Litofácies. O Programa Litofácies busca sua informação nas descrições de calha dos poços (foram utilizados mais de 90 poços exploratórios), devidamente calibrados pela interpretação dos perfis geofísicos de poço, nos respectivos intervalos estratigráficos. O programa estabelece, para cada poço, um valor litológico que se traduz na expressão da média das calhas descritas com auxílio dos perfis de sondagem de poços para cada um dos três intervalos estratigráficos discriminados. Este valor é colocado na forma de um ponto em um diagrama triangular de fácies, significando um percentual das litologias representadas em cada vértice do triângulo. Este é dividido em vários segmentos, que representam interstícios percentuais litológicos distintos e mostram cores respectivamente distintas que são traduzidas no mapa de litofácies gerado. Cada mapa representa valores médios de um dos três intervalos estratigráficos discriminados no estudo. Para a Sequência A, por exemplo, os mapas expressam uma imagem instantânea ("fotografia") de um conjunto de dados referentes a um espaço de tempo transcorrido ao longo de aproximadamente 2 milhões de anos (Tagliari *et al.*, 2012).

A partir da interpretação da disposição litofaciológica dos referidos mapas foram gerados mapas

paleogeográficos (no caso das fácies siliciclásticas proximais, inclui-se detalhamento dos subambientes fluvial e de planícies deltaica e costeira) e blocos-diagrama que forneceram um panorama da evolução geológica albiana específico para cada um dos três pacotes estratigráficos discriminados.

bioestratigrafia

As breves considerações bioestratigráficas e paleoambientais que seguem versam sobre o intervalo estratigráfico estudado, Aptiano Superior/Albiano, e se baseiam no trabalho de Botelho Neto (1996). O mesmo foi dividido em quatro palinozonas, designadas A, B, C e D, da mais antiga para a mais nova (fig. 5).

A porção superior da Palinozona A foi sedimentada em condições de mar restrito e rigorosas condições climáticas (clima quente e seco), e seu posicionamento no Alagoas (Neoaptiano) foi indicado, com dúvidas, por Botelho Neto (1996).

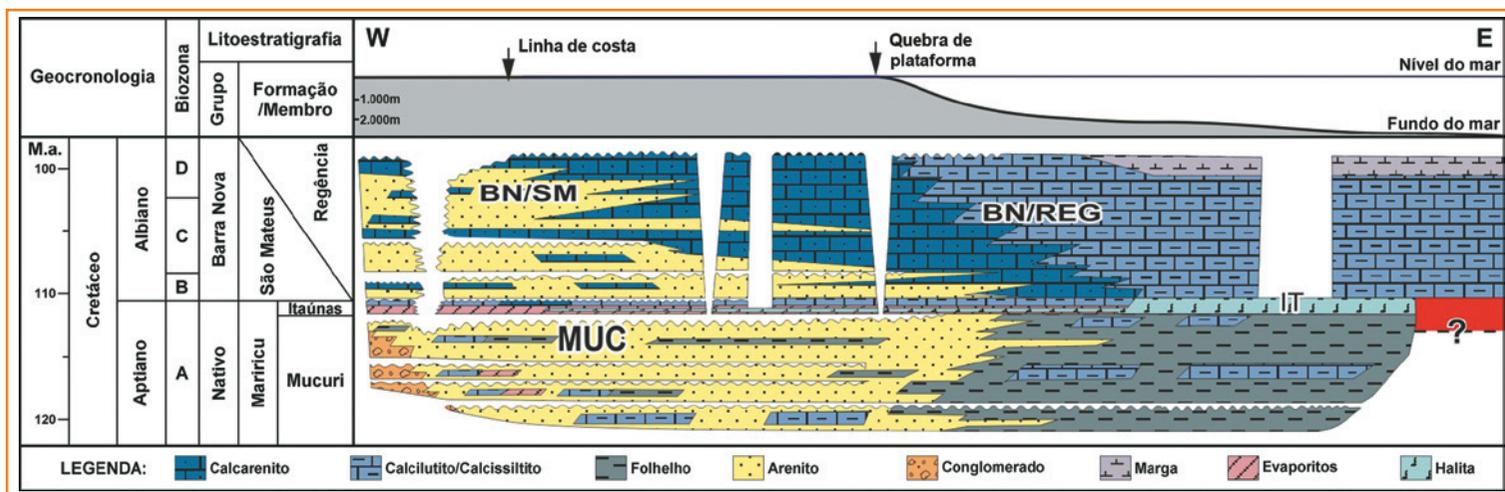
A porção basal da Palinozona B foi depositada em ambiente marinho raso de baixa salinidade, e a porção superior da seção estudada (topo da Palinozona B, mais palinozonas C e D) foi depositada em ambiente nerítico raso a médio.

Análises palinológicas realizadas em poços da porção centro-norte da Plataforma de Regência permitiram posicionar o intervalo estratigráfico correlato à Sequência A no Eoalbiano, através da identificação da Palinozona B.

O topo da Palinozona B foi atribuído ao Eoalbiano. Entre os topos das palinozonas B e C ocorre a discordância que marca o topo da Sequência A. A amplitude geocronológica da Sequência A foi estimada em 2 Ma por métodos cicloestratigráficos (Tagliari *et al.*, 2012) aplicados em poços perfurados na Área 3 (fig. 2).

A Palinozona C é cronocorrelata ao intervalo Alfa (Azevedo *et al.*, 1987) e situa-se na porção superior do Albiano Médio. A Palinozona D, posicionada na porção inferior do Eoalbiano, nas proximidades da base do Vraconiano, constitui o restante do Andar Albiano amostrado na área de estudo (Sequência B).

A Palinozona D é correlacionável ao intervalo Beta Zero (Azevedo *et al.*, 1987; Dias-Brito *et al.*, 1990). O intervalo Beta 1, que marca o topo do Albiano na Bacia de Campos, não foi reconhecido nos poços situados no bloco alto da Plataforma de Regência, sugerindo a existência de uma discordância. Esta discordância é corroborada pelas feições observadas em sísmica (truncamentos erosionais na porção oeste, na



zona de charneira e no bloco baixo; fig. 4). Portanto, a idade do topo do intervalo estudado seria albiana, correspondente ao intervalo Beta Zero, em função dos dados palinológicos disponíveis.

o contexto estrutural

Conforme mencionado, a principal feição estrutural da Plataforma de Regência é uma zona de falhas com direção preferencial norte-sul que a atravessa e a divide em dois grandes blocos: um bloco alto (ocidental) e outro baixo (oriental) (figs. 4 e 6). Estas falhas configuraram uma zona de charneira, com direção preferencial N/NE na área de estudo. A Zona de Falha Cedro-Rio Doce compreende várias falhas normais que afetaram, de forma diferencial, a coluna sedimentar. Sucessivos pulsos tectônicos afetaram desde o embasamento, mais deformado, até estratos terciários menos deformados, com um evidente adelgaçamento de seção em sedimentos albianos, por erosão, na porção situada a leste desta zona de falha (fig. 7).

Aparentemente, o pulso tectônico que teria causado uma sutil mudança de gradiente do refletor associado à base do sal (figs. 4 e 7) ocorreu após a deposição da Sequência A e estaria relacionado com a discordância erosiva que limita as sequências A da B (parte superior do Albiano Inferior; fig. 6).

Outra reativação pode ter ocorrido na transição Albiano/Cenomaniano, pois se constata, nos testemunhos provenientes de alguns poços perfurados no bloco baixo, a frequente ocorrência de fácies indicativas de escorregamentos e desestabilização da plataforma (blocos de carbonatos incorporados em uma matriz de folhelhos depositados em águas mais profundas).

A halocinese teve influência capital na estruturação da bacia, a partir do Albiano. Embora a halita não tenha sido registrada em qualquer poço perfurado na Plataforma de Regência, o escape pretérito deste evaporito parece ser a explicação mais plausível para a presença de falhamentos normais lístricos, com feições de crescimento do pacote sinsedimentar associadas a anticlinais de compensação (*rollovers*).

Todos estes falhamentos tornam-se assintóticos ao topo da Fm. Mariricu (correlato ao refletor da base do sal), que constituía a superfície de descolamento quando os mesmos eram ativos, e o sal era seu agente facilitador. Na Plataforma de Regência, esta movimentação (intervalos apresentando sismofácies “onduladas” e variando em espessura lateralmente, indicando movimentação de sal) iniciou-se no Albiano Inferior e, aparentemente, persistiu até pelo menos o evento responsável pela discordância que precedeu a sedimentação do Eoceno Superior (DPES - fig. 4).

O bloco alto pode ser dividido em dois domínios estruturais principais, cujo limite é definido na passagem entre uma área com aparente ausência de halocinese (porção ocidental) e outra com halocinese (porção oriental). Para leste, no sentido do depocentro, observa-se a estruturação adiastrófica, onde fica evidente a ação da halocinese a partir do ponto indicado pela seta amarela na figura 4 e a linha tracejada em vermelho na figura 2. A partir deste ponto (fig. 4) observa-se a descontinuidade do refletor que corresponde a um pacote de carbonatos informalmente conhecido como Regência Médio e que pertence à Sequência A, sendo visível, principalmente, nos flancos ocidentais dos anticlinais de compensação (*rollovers*) que começam a se formar no sentido do depocentro da bacia. A percepção destes refletores descontinuados

Figura 5

Carta estratigráfica do intervalo Albo-Aptiano, da Bacia do Espírito Santo. Modificado de França et al., 2007.

Figure 5

Stratigraphic chart of the Albian-Aptian period. Espírito Santo Basin. Modified from França et al., 2007.

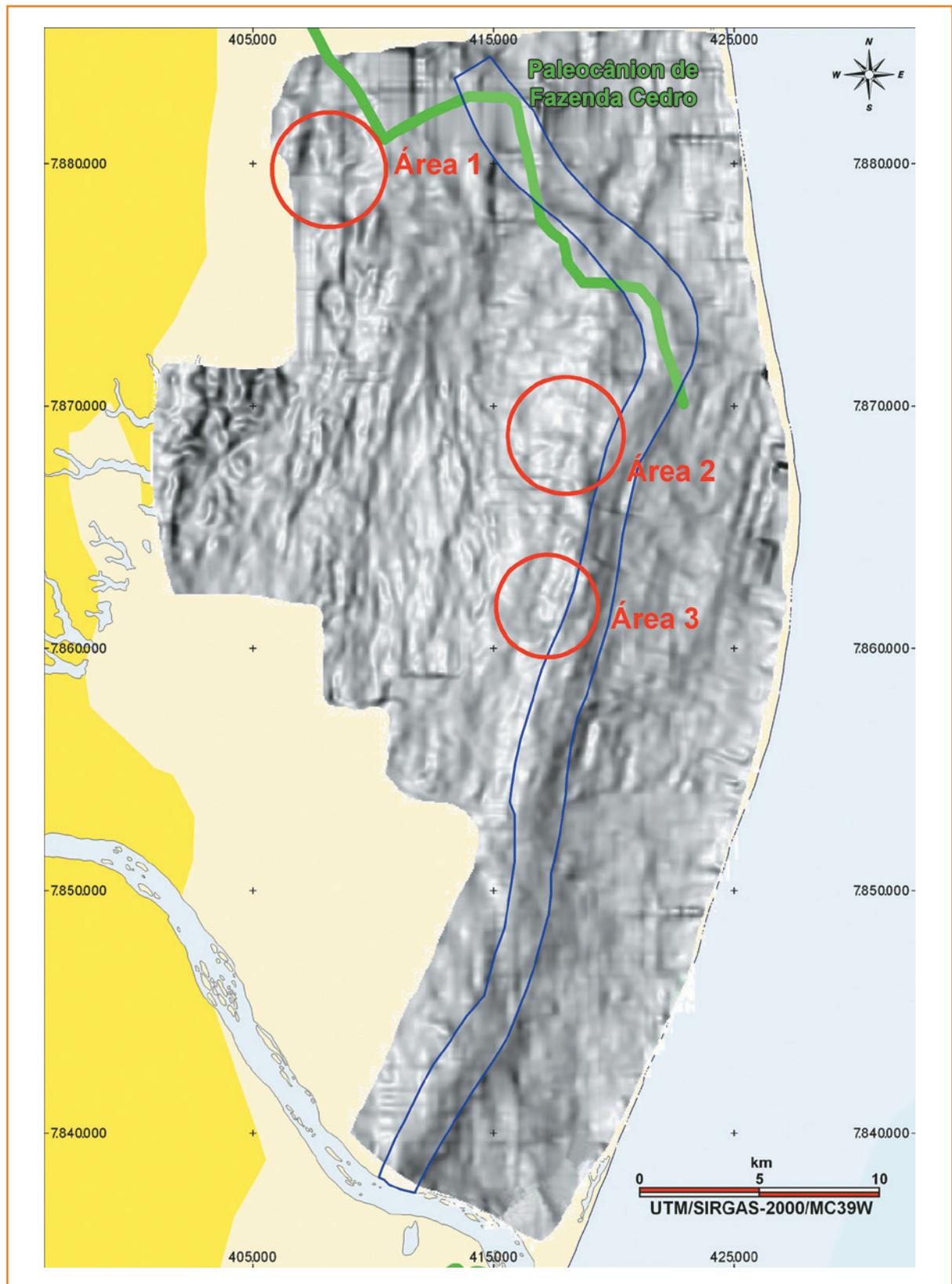


Figura 6 - Mapa de atributo sísmico (*Edge*, em tempo) do horizonte atribuído à base do sal, que ressalta a Zona de Falha Cedro-Rio Doce (zona de charneira).

Figure 6 - Seismic attribute time map (*Edge*) from the horizon corresponding to the salt base that highlights the Cedro-Rio Doce Fault (*hinge line*).

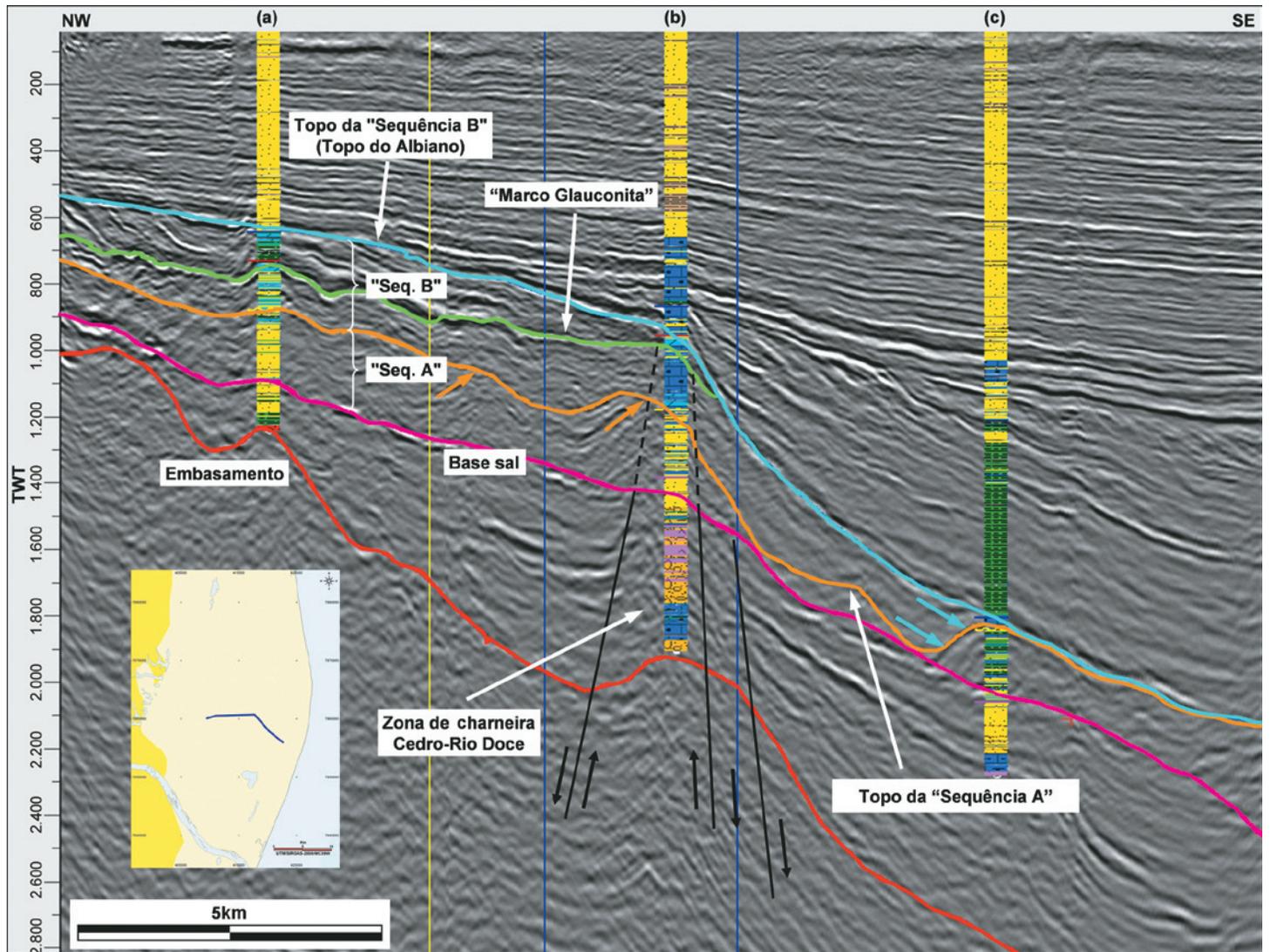


Figura 7 - Seção sísmica em tempo, mostrando adelgaçamento abrupto da Sequência A junto à linha de charneira, voltando a se espessar na forma de um *rollover* contra o qual refletores sísmicos se dispõem em *downlap* aparente. Essa geometria provavelmente indica um deslizamento da Sequência A no sentido do depocentro da bacia, causado por pulso tectônico atuante na zona de charneira e favorecido pela presença de sal.

Figure 7 - Seismic time section showing Sequence A abrupt thinning next to the hinge line, then thickening again in the form of a *rollover* structure against which seismic reflectors draw up apparent compound *downlap* terminations. This geometry probably indicates a landslide caused by a tectonic pulse favored by the presence of salt that affected the hinge line zone.

não se estende, no sentido *downdip*, por mais de 10km, provavelmente em função do aumento da movimentação do sal e do soterramento nesta área. Os dobramentos observados no bloco alto e que afetam estratos albianos e pós-albianos (uma área na zona de charneira e outra cerca de 7km a oeste - fig. 4) são interpretados como dobras distensionais causadas pela configuração do tipo *ramp/flat/ramp*, ou seja, devido à quebra do gradiente do plano da superfície de descolamento na base do sal (Matos, 1993; Ehrlich e Gabrielsen, 2004).

Esses dobramentos, situados na seção pós-sal, estão sobrepostos a áreas em que o gradiente do topo do embasamento também varia simetricamente, o que nos permite inferir que a tectônica que envolve o embasamento também afetou pacotes mais jovens, pelo menos até o refletor correspondente à superfície de descolamento (base do sal). Na porção proximal da mesma seção observa-se feição de origem provavelmente compressional/transpressional, apresentando-se dobrados tanto os refletores da base do sal como os do topo do embasamento.

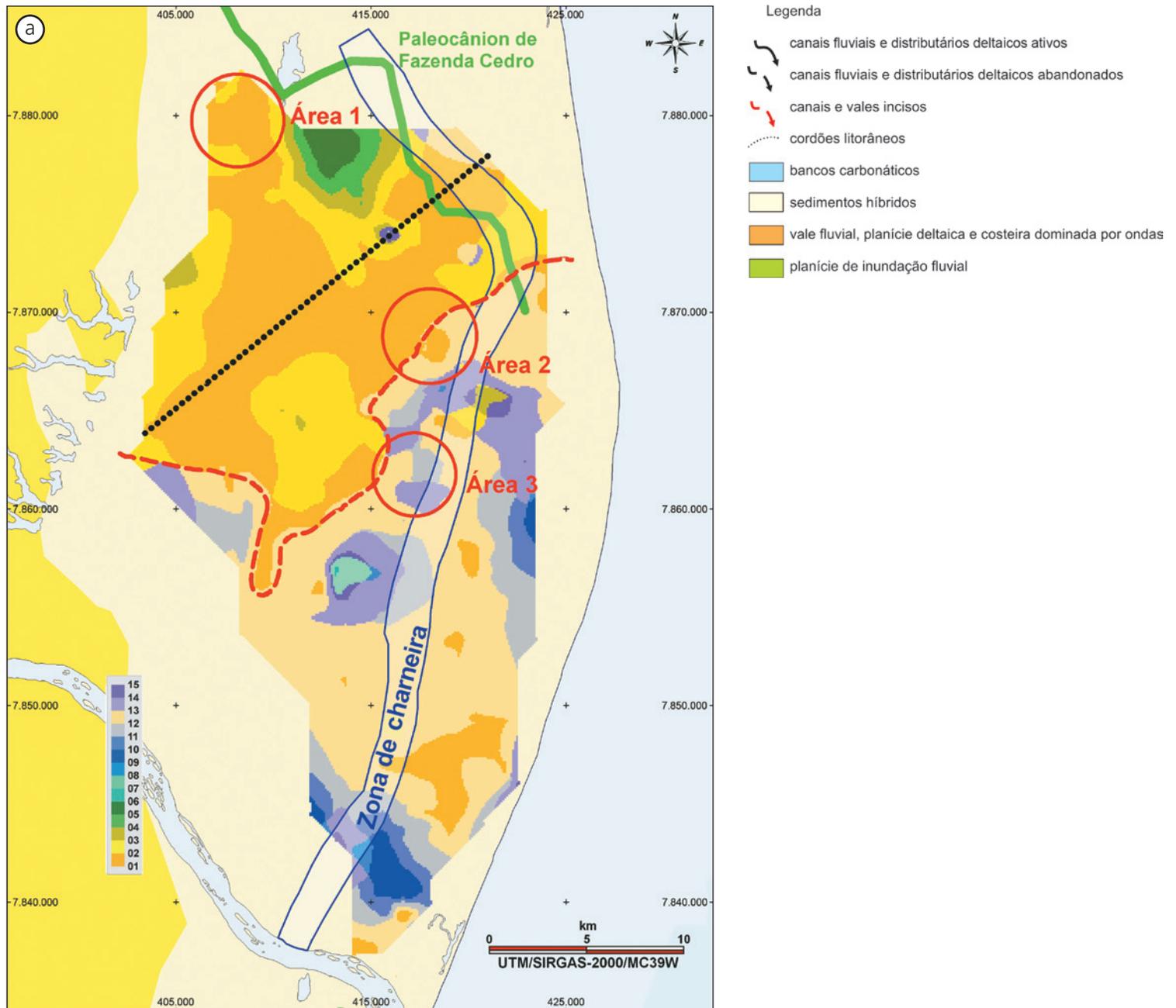


Figura 8 - Mapas da Sequência A: (a) litofácies; (b) diagrama ternário de composição percentual das litofácies; (c) mapa paleogeográfico deduzido do mapa de litofácies: aporte fluvial do tipo *braided* a partir de área fonte situada no flanco NW da Plataforma de Regência; observa-se um espriamento na direção preferencial SW/NE das fácies siliciclásticas grossas de origem fluvial em região de planície deltaica e costeira dominada por ondas com formação de cordões litorâneos; presença de canais fluviais e distributários deltaicos entrelaçados, ativos e abandonados, tanto no vale fluvial, quanto na planície deltaica e costeira; e presença de canais e vales incisos na porção distal da planície costeira composta predominantemente por sedimentação híbrida; (d) bloco diagrama.

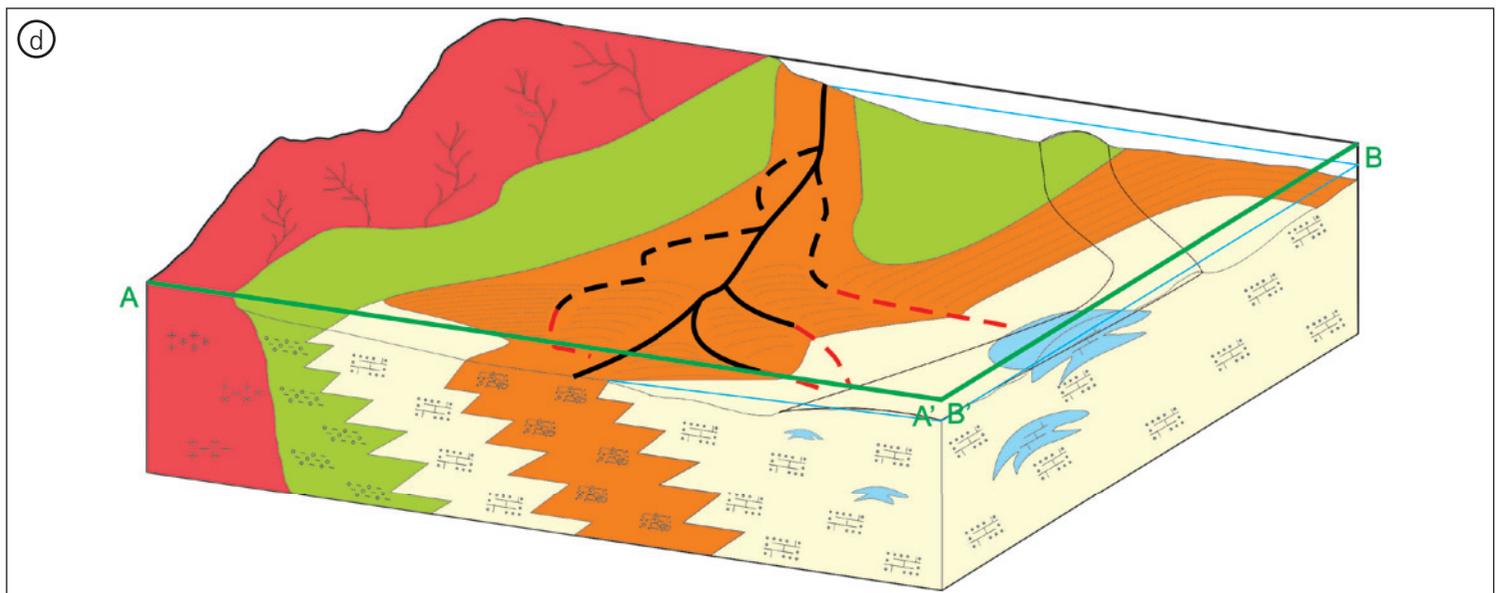
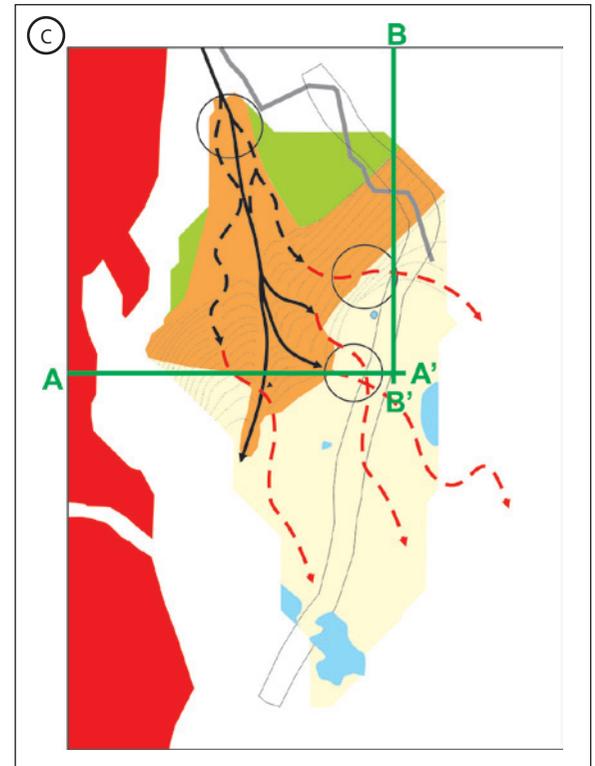
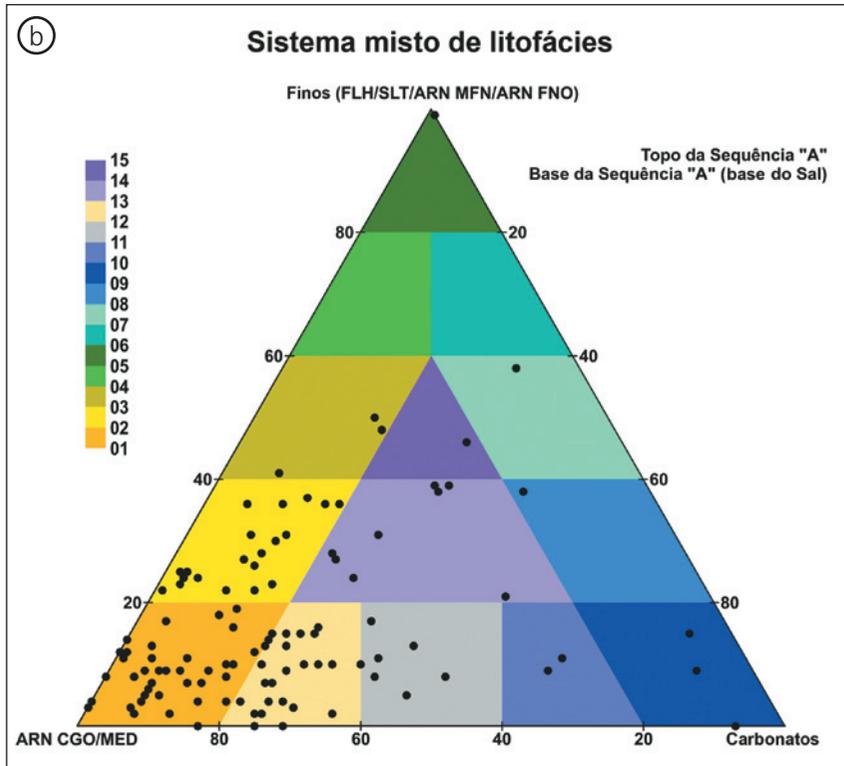


Figure 8 - Sequence A maps: (a) lithofacies map; (b) lithology ternary diagram; (c) paleogeographic map deduced from the lithofacies map; braided type river input from source area located in the NW portion of the Regency Platform; from a certain point there is a preferred SWINE direction of spreading of the fluvial originated coarse siliciclastics facies source in a deltaic plain and coastal region dominated by waves with the formation of coastal strands; presence of river channels and intertwined deltaic distributaries, active and abandoned, located in the river valley and in deltaic and coastal plains; and presence of incised valleys and channels in the distal portion of the coastal plain, mainly compound of hybrid sedimentation; (d) paleogeographical sketch.

estratigrafia: as sequências deposicionais albianas

Com base nos horizontes albianos mapeados foram definidas duas sequências deposicionais.

Sequência A (Palinozona B, Botelho Neto 1996)

Esta sequência é limitada na base pelo horizonte sísmico que corresponde ao nível da base dos evaporitos do Membro Itaúnas da Formação Mariricu (Aptiano Superior; fig. 4). O topo é configurado por um horizonte sísmico correspondente a um truncamento erosional (figs. 4 e 7), cujo mapa estrutural apresenta linhas de isocontorno subparalelas de direção aproximada norte-sul (tendência herdada do embasamento que também se constata nos demais mapas estruturais mostrados). Na porção centro-leste da Plataforma de Regência (de norte a sul), as terminações de refletores sísmicos dessa sequência mostram um padrão de aparente *downlap* devido aos falhamentos lítricos, responsáveis também pelos anticlinais de compensação (*rollovers*; observar refletores desta sequência em falso *downlap* contra a base do sal; fig. 7: entre os poços “b” e “c”). Na porção oeste da Plataforma, em contexto mais proximal, a Sequência A não se apresenta deformada pela halocinese, apresentando os horizontes sísmicos relativamente paralelos. Isto provavelmente indica que a halita, agente facilitador da tectônica adiastrófica por suas condições reológicas, não se depositou nesta área ou foi precocemente dissolvida por influência de contato com águas meteóricas (fig. 4). O topo desta sequência corresponde a um horizonte sísmico de características erosivas, visível principalmente na porção centro-leste da área de estudo. Ele delimita a Sequência A, cujos estratos, no geral, estão mais afetados pela halocinese da Sequência B, onde os refletores sísmicos tendem a se mostrar mais paralelos e concordantes (fig. 4). Na carta estratigráfica modificada (fig. 5) essa seção corresponde à sequência albiana mais basal.

Do ponto de vista litológico esta sequência inclui rochas siliciclásticas (arenitos arcoseanos muito finos a conglomeráticos, siltitos e conglomerados) e, subordinadamente, carbonatos do tipo *packstones* a *grainstones* oncolíticos (França *et al.*, 2007) e anidritas.

Ao visualizar-se o mapa de litofácies da Sequência A (fig. 8a), assim como o mapa paleogeográfico dele deduzido e seu respectivo bloco diagrama, discriminam-se

dois compartimentos distintos cujo contato está realçado por uma linha vermelha tracejada (fig. 8a). Enquanto na porção NNW dessa linha dominava a sedimentação siliciclástica (cores laranja e verde; figs. 8a, 8c e 8d), na região SSE ocorria a deposição de castos de natureza híbrida e, secundariamente, carbonática (respectivamente, cores amarela e azul; figs. 8a, 8c e 8d). Em uma primeira aproximação, pode-se dizer que as fácies siliciclásticas representam o *input* continental, enquanto as fácies híbridas a carbonáticas indicam a deposição em contexto marinho.

No contexto deposicional siliciclástico, os clastos de granulometria mais grossa (cor laranja nas figs. 8c e 8d) distribuem-se em dois elementos dispostos de forma quase ortogonal entre si. O primeiro desses foi vinculado a um sistema fluvial proveniente de NNW que passa para um sistema deltaico à medida que avança para SSE. O segundo, orientado no sentido NE, foi relacionado à ação de correntes de deriva litorânea geradas por ondas que redistribuíam as areias deltaicas para NE, gerando assim um sistema de barreira litorânea contemporâneo. Nesse contexto, os clastos de granulometria mais fina (áreas verdes; fig. 8a) foram vinculados a ambientes lagunares e de planícies de inundação desenvolvidos atrás da barreira litorânea e ao lado do cinturão de canais fluviais (fig. 8c), respectivamente.

A SE da linha vermelha (fig. 8a) instalou-se de forma mais perene um sistema deposicional marinho raso de natureza híbrida e, secundariamente, carbonática (áreas amarela e azul, respectivamente; figs. 8c e 8d). Percebe-se que a sedimentação carbonática era favorecida nas imediações da zona de charneira e porção centro-leste do bloco baixo. Essa disposição dos carbonatos sugere zonas mais rasas que seu entorno, uma vez que a sedimentação carbonática é favorecida nestas condições, enquanto os sedimentos siliciclásticos tendem a se acumular nos sítios mais baixos (Wilson, 1975; Esker *et al.*, 1998; Friedman, 1988).

Assim, as figuras 8c e 8d mostram, de forma genérica, o posicionamento preferencial dos principais elementos fisiográficos durante a acumulação da Sequência A: cinturão de canais fluviais e planície de inundação; sistemas litorâneos dominados por rios (delta) e por ondas (barreira litorânea e laguna); sistema marinho raso híbrido associado à mescla dos sedimentos siliciclásticos com aqueles produzidos pela fábrica carbonática. Essa última desenvolvia-se em prováveis e incipientes paleoaltos relativos, associados a uma então incipiente zona de charneira (Falha Cedro-Rio

Doce), que sofreria uma reativação proeminente em tempos posteriores à sedimentação da Sequência A.

Em síntese, a vinculação dos depósitos fluviais a um padrão entrelaçado se deve à granulometria relativamente grossa dos depósitos. Dentre os sistemas litorâneos, a orientação e a morfologia permitem distinguir o delta de um sistema de cordões regressivos. A fábrica carbonática encontrava melhores condições de produzir sedimento junto a altos estruturais situados mais distalmente. Por fim, o sistema deposicional marinho raso de natureza mista registrava a transição entre o contexto carbonático e o siliciclástico. Exemplos de sistemas mistos com paleogeografia semelhante, onde o nível de base apresenta um gradiente suave (plataforma em rampa) e em que ocorre uma tendência à transição na sedimentação desde sedimentos siliciclásticos situados proximalmente (por vezes incluindo sedimentação fluviodeltaica) a sedimentos marinhos híbridos na posição intermediária e carbonáticos distalmente, com indícios de retrabalhamento, podem ser encontrados tanto na costa da Flórida, no Neogeno (McNeill *et al.*, 2004), quanto no passado geológico mais remoto: no Albiano das bacias do Baixo Congo e Kwanza, em Angola (Lomando e Walker, 1991; Eichenseer *et al.*, 1999), no Permiano da Permian Basin (Borer e Harris, 1991) e no Carbonífero do Alto Estrutural do Centro-Oeste de Kansas, Estados Unidos (Cuzella *et al.*, 1991).

Um último elemento presente na interpretação paleogeográfica, mas ainda não mencionado, se refere a canais/vales incisos recortando os sedimentos marinhos de natureza híbrida e carbonática (figs.

8c e 8d). A presença desses foi deduzida a partir da ocorrência de sucessões granodecrescentes de arenitos grossos a finos, comumente estratificados, culminando com níveis de pelitos carbonosos, conforme visualizado em testemunhos de poços perfurados na Área 3 e interpretado a partir de poços localizados em outras áreas.

A Sequência A mostra, através da coluna litológica dos poços (fig. 7), um aumento sutil, da base para o topo, na proporção de carbonatos. Tal acréscimo se inicia de forma precoce nas porções intermediária à distal da plataforma, marcando uma gradual retrogradação, na escala de terceira ordem, das fácies siliciclásticas e resultante do implante das fácies mistas e carbonáticas onde antes as primeiras dominavam.

Sequência B (palinozonas C e D de Botelho Neto, 1996)

Limita-se, na base, pelo horizonte equivalente à discordância erosiva que marca o topo da Sequência A. Seu limite superior corresponde ao topo do Albiano e é caracterizado por uma acentuada discordância causada por um evento que erodiu parte significativa da sequência e que é claramente visível na zona de charneira e no bloco baixo (figs. 4 e 7). O refletor que corresponde ao topo do Albiano é de difícil rastreamento sísmico, em função da vizinhança de refletores correspondentes a camadas de carbonato de idades distintas, tanto albianas quanto terciárias, movimentados pela halocinese. Isso fez com que mais de 110 poços (entre exploratórios e explotatórios) fossem utilizados, realizando-se criteriosa calibração dos mesmos às seções sísmicas,

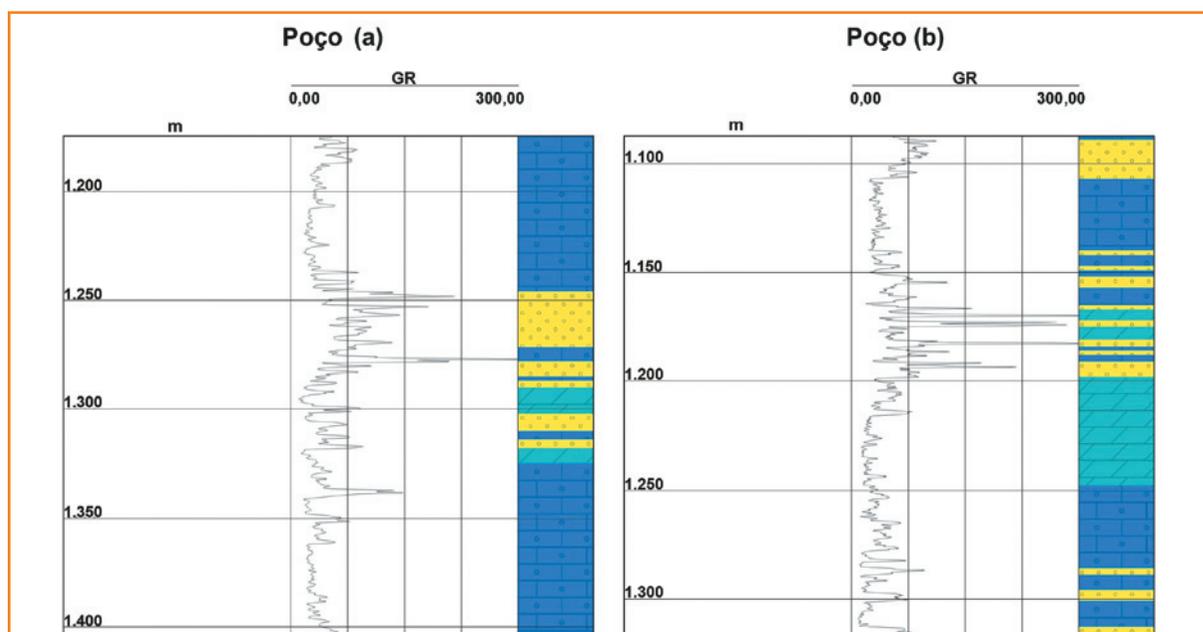


Figura 9
Perfil composto de dois poços, “a” e “b”, situados no bloco alto, na porção centro-leste da plataforma, ilustrando o intervalo de arenitos radioativos (valores maiores do que 150 API) que caracteriza o “Marco Glauconita”.

Figure 9
Wells geophysical masterlogs from two wells (“a” and “b”) situated on the high block showing sandstones with high gamma ray values (higher than 150 API) that characterizes “Marco Glauconita”.

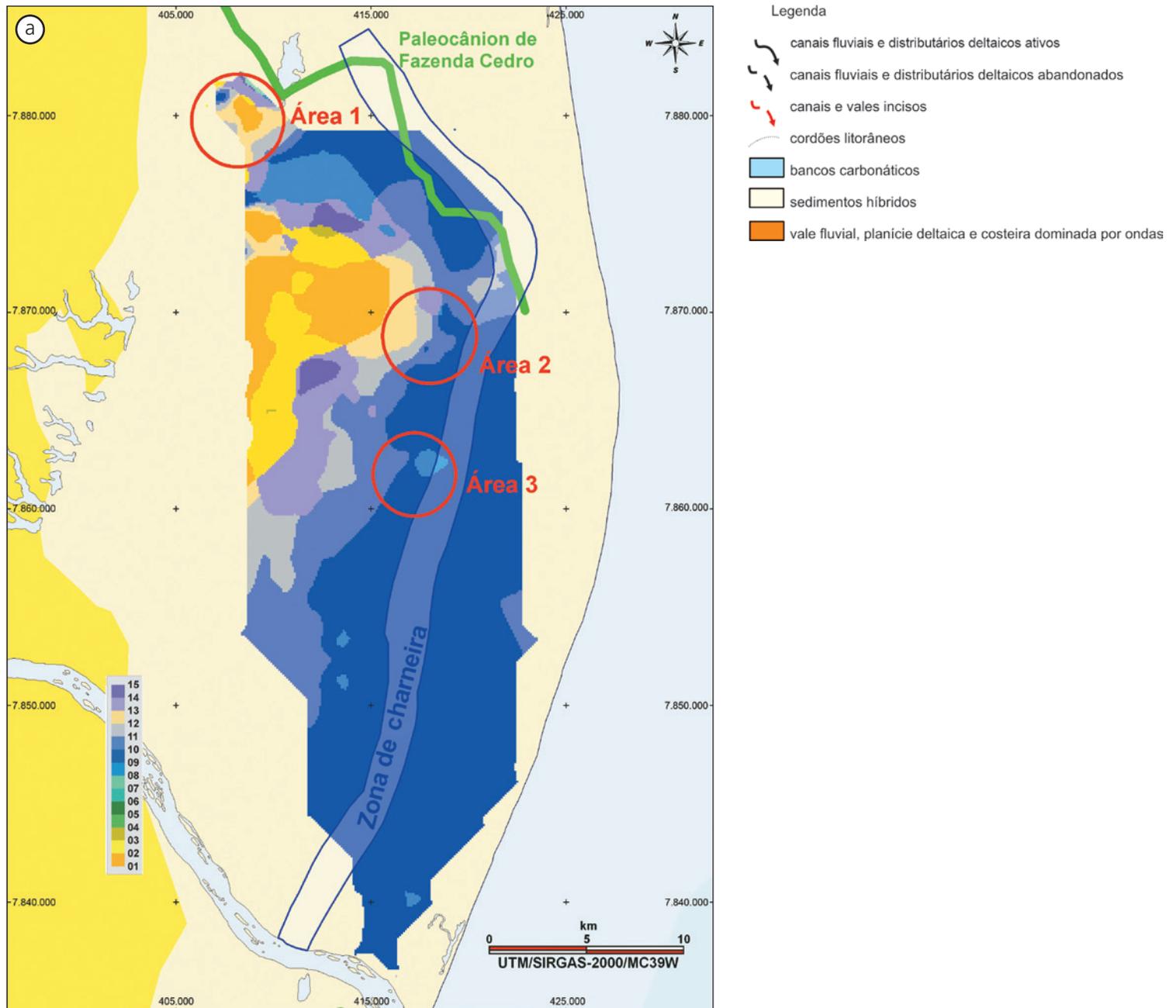


Figura 10 - Mapas da Sequência B/intervalo B1; Mapas da Sequência B/intervalo B2; (a) mapa de litofácies; (b) diagrama ternário de composição percentual das litofácies; (c) mapa paleogeográfico deduzido do mapa de litofácies: mudança de direção do principal corpo de aporte fluvial do tipo *braided*, agora a partir de área fonte situada no flanco NW da Plataforma de Regência, a oeste da Área 2, adentrando a plataforma na direção W/E; nota-se retrogradação das fácies siliciclásticas (vale fluvial e planícies deltaica e costeira dominada por ondas) em relação ao constatado na Sequência A, juntamente com uma diminuição sensível na área de ocorrência das fácies híbridas que formam uma estreita faixa circundando as primeiras, com a tomada do espaço de acomodação respectivo por parte das fácies carbonáticas; (d) bloco diagrama.

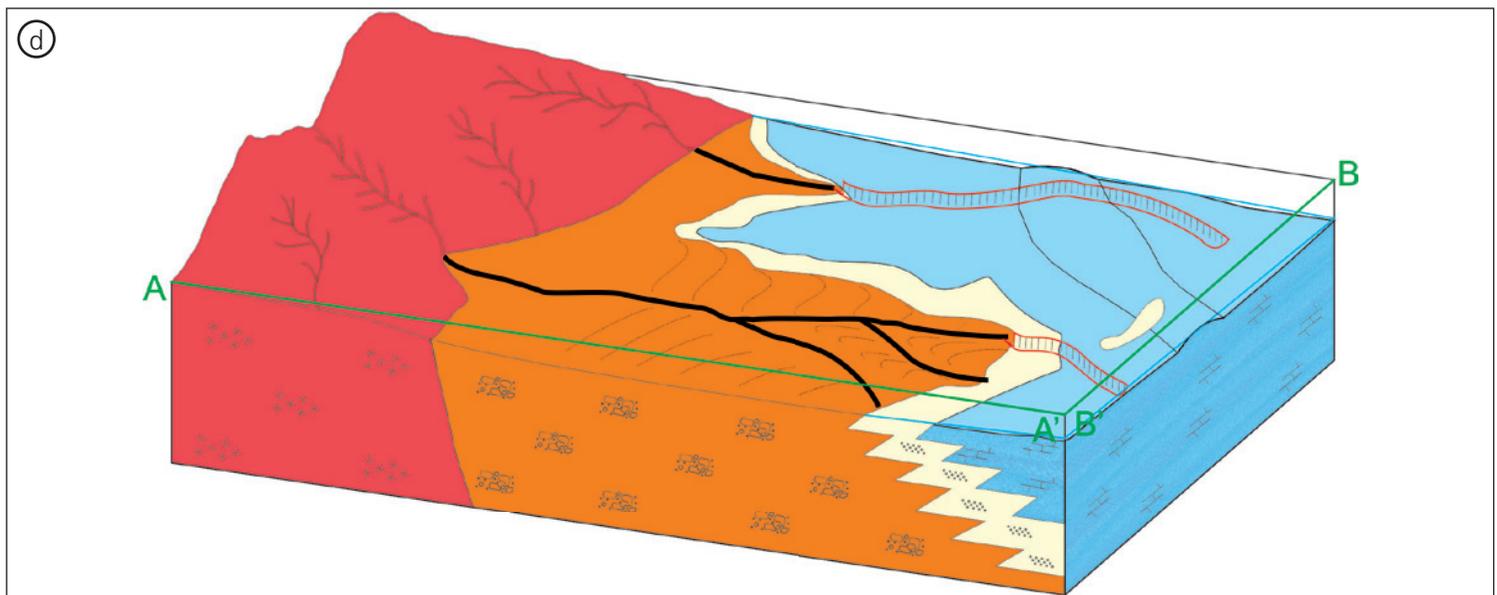
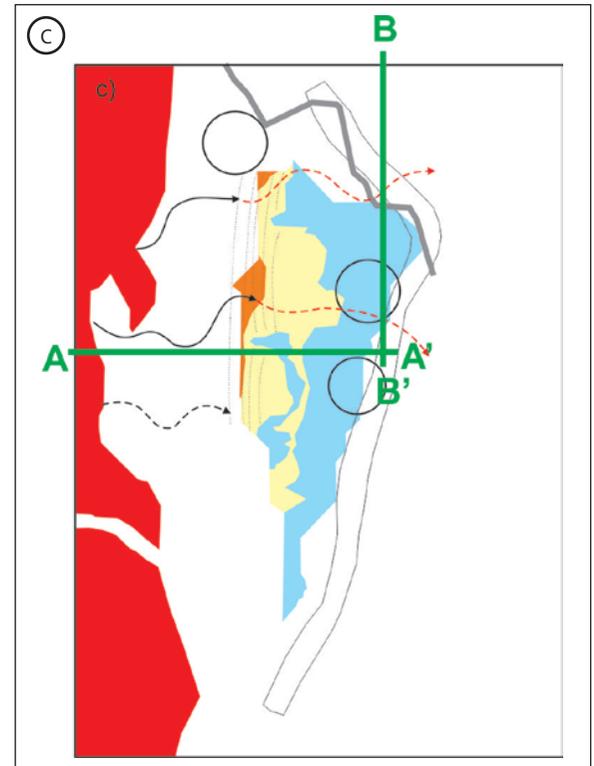
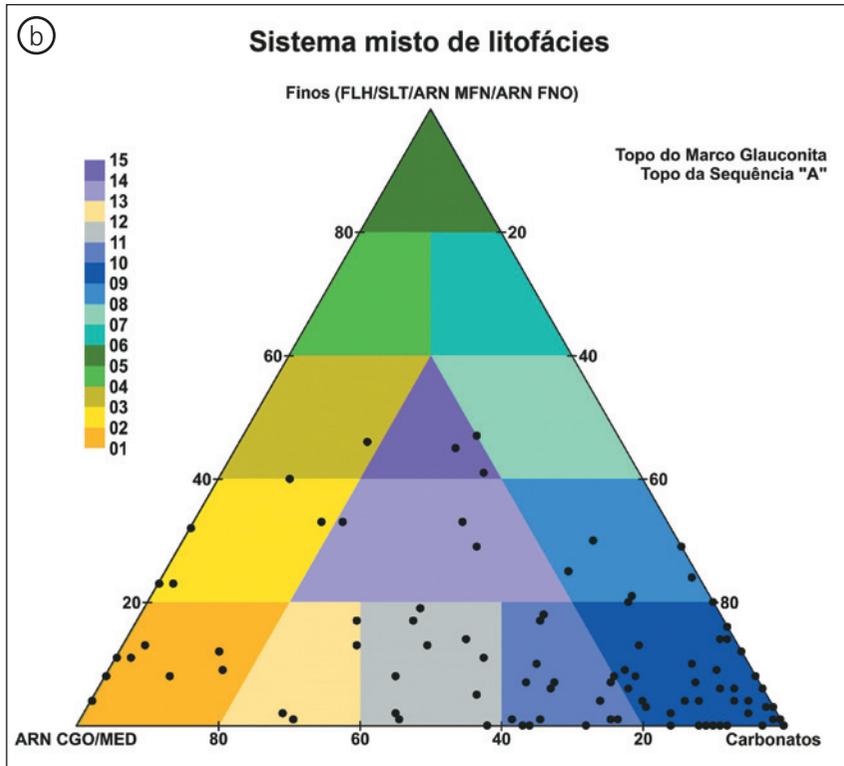


Figure 10 - Sequence B - B1 interval maps: (a) Lithofacies map; (b) lithology ternary diagram; (c) paleogeographic map deduced from the lithofacies map: there is a change in the main alluvial direction influx, now coming from the source area also located in the NW portion of Plataforma de Regência, but just west of Area 2 circle, entering the platform from W/E direction; we can notice a siliciclastic facies (deltaic plain and coastal region dominated by waves with the formation of coastal strands) retrogradation comparing with Sequence A, together with a perceptible decrease in hybrid facies spatial occurrence that forms a narrow track surrounding the first mentioned siliciclastic facies, with the respective accommodation space left behind being taken by the carbonate facies; (d) paleogeographical sketch.

o que propiciou um rastreamento mais confiável do refletor associado ao topo do Albiano.

Na porção ocidental da Plataforma de Regência, outra importante discordância observada indica que a erosão de rochas albianas ocorreu no Paleogeno (Discordância Pré-Eoceno Superior; fig. 4).

Internamente à Sequência B ocorre um horizonte sísmico (“Marco Glauconita”), que registra uma superfície de inundação máxima. Assim, para esta sequência pôde-se reconhecer dois intervalos estratigráficos: o Trato de Sistemas Transgressivo B1, retrogradante, mais antigo, e o Trato de Sistemas de Mar Alto B2, progradante, mas também transgressivo e mais jovem.

O trato mais novo encontra-se restrito ao bloco alto, pois o “Marco Glauconita”, que indica a sua base, foi removido a leste (bloco baixo) pela erosão que removeu o topo do Albiano (figs. 4 e 7). Esse marco é diagnosticado por intervalos de arenitos que apresentam alta radioatividade (fig. 9) devido à abundante presença do mineral que empresta o nome ao marco (Pedro de César – informação verbal, 1993), sendo somente constatado, no bloco alto (figs. 4 e 7), nos poços perfurados na porção centro-leste da Plataforma de Regência. Como se sabe, glauconita é um mineral autigênico, de origem de marinha, associado, muitas vezes, a zonas de condensação (denotam hiato deposicional; fig. 9).

Trato de Sistemas Transgressivo - B1

Os mapas de litofácies, paleogeográfico e bloco diagrama do Trato B1 (fig. 10), se comparados com a Sequência A (fig. 8), mostram uma clara retrogradação das fácies siliciclásticas e seus respectivos ambientes de sedimentação, e o conseqüente avanço, para *onshore*, das litologias carbonáticas, inclusive transpassando a zona de charneira. Aparentemente, a direção principal de aporte de siliciclásticos para este tempo mudou do sentido NW/SE (imediações da Área 1), como era na sequência anterior, para WL (a oeste da Área 2). As fácies siliciclásticas ainda dominam na porção norte da plataforma, enquanto as híbridas circundam as primeiras e gradam, distalmente, para carbonatos (fig. 10). O sistema costeiro dominado por ondas (cordões regressivos e laguna associada) identificado na Sequência A não aparece de forma clara no mapa de litofácies ao passo que o deltaico está muito bem definido (fig. 10). O sistema deposicional marinho raso de natureza híbrida torna-se bem mais reduzido do que no intervalo anterior, provavelmente a expensas de uma acentuada produção de carbonatos.

Observa-se ao longo da Zona de Falha Cedro-Rio Doce, logo ao norte da Área 2, que há uma descontinuidade das litofácies francamente carbonáticas, o que indica uma passagem de siliciclásticos (possíveis vales/canais incisos) bacia adentro, ratificada pelo aumento percentual de siliciclásticos em poços perfurados nesta área.

Trato de Sistemas de Mar Alto - B2

Este trato caracteriza-se, na sísmica, por clinoforamas que progradam no sentido do depocentro da bacia (fig. 11), mas que, do ponto de vista faciológico, mostram retrogradação das fácies siliciclásticas, com o implante de fácies híbridas (fig. 12) em locais onde, no Trato B1, predominavam fácies siliciclásticas médias a grossas (fig. 10). Isto sugere que a área fonte dos terrígenos estava menos ativa durante o período e/ou que o clima se tornou mais seco (menores taxas pluviométricas). O pulso tectônico ocorrido durante o Albiano, dividindo a Plataforma em bloco alto (porção centro-oeste) e bloco baixo (porção leste), teria configurado a borda externa da zona de charneira como uma borda de plataforma (*shelf edge*) deposicional. A análise petrográfica de amostras de calha em poços situados nesta área mostrou litofácies de moderada a alta energia (*grainstones* cimentados), o que poderia explicar, pelo menos em parte, os valores mais altos de velocidade sísmica constatados neste trato de sistemas próximo à Zona de Falha Cedro-Rio Doce (fig. 13).

De modo mais enfático do que constatado no mapa de litofácies do Trato de Sistemas Transgressivo B1 (fig. 10), o mapa de litofácies desse intervalo (fig. 12) mostra descontinuidades (cor azul-claro em contraste com azul mais escuro; esta última cor denotaria a plataforma carbonática sem descontinuidades) sugestivas da existência de *tidal inlets* ao longo da Zona de Falha Cedro-Rio Doce, tanto ao norte como ao sul da Área 3. Essas descontinuidades podem indicar o efeito da atuação de correntes de marés (*ebb and flood tidal currents* – Harris *et al.*, 2005; Reeder e Rankey, 2009). Esses sítios também contêm uma presença mais significativa de siliciclásticos (figs. 10 e 12), configurando uma área de passagem bacia adentro.

Sismofácies com geometria indicativa da feição sismoestratigráfica de *mound* (turbidito?), com cerca de 80-100m de espessura, são observadas em nível estratigráfico acima do “Marco Glauconita” (fig. 13). A análise da disposição dessas feições, conjugada com o estudo de perfis e amostras de calha

(folhelho), na área dos poços “b” e “c” (fig. 11), sugere aumento significativo de espaço de acomodação em ambiente marinho mais profundo do que se espera normalmente em áreas plataformais de águas rasas. Nessas últimas costuma-se constatar cliniformas do tipo *shingled*.

conclusões

O pulso tectônico responsável pela mudança no gradiente da base do sal na zona de charneira ocorreu,

provavelmente, durante o Albiano Inferior. É provável que este evento tectônico esteja associado à gênese da superfície discordante que limita as duas sequências deposicionais descritas (A e B).

O rastreamento do “Marco Glaucionita” (superfície de inundação máxima) propiciou uma divisão mais acurada da estratigrafia do Albiano da Plataforma de Regência. Assim, para este Andar, foram reconhecidos três pacotes estratigráficos: Sequência A, de caráter transgressivo, e a Sequência B, subdividida em intervalo retrogradante (Trato de Sistemas Transgressivo B1) e progradante (Trato de Sistemas de Mar Alto B2).

O mapa de litofácies aponta predomínio de sedimentos siliciclásticos durante a deposição da

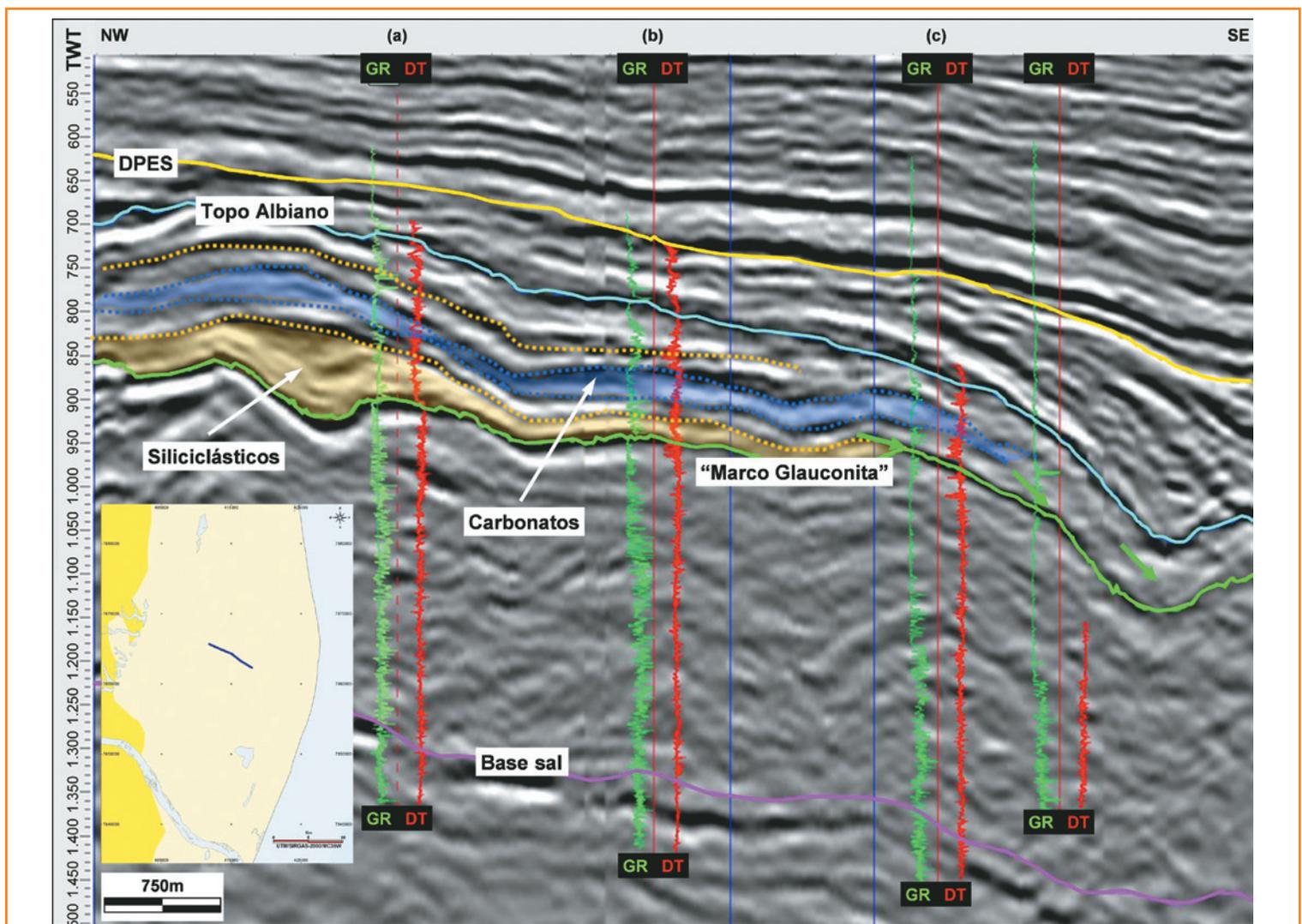


Figura 11 - Feições sísmicas de *downlap* sobre marco de afogamento (“Marco Glaucionita”); feições sísmicas progradantes (padrão *shingled*) tanto em fácies siliciclásticas (em amarelo) quanto em carbonáticas (em azul; baixos valores de RG).

Figure 11 - Seismic *downlap* features over the “Glaucionite Marker” flooding surface; prograding features (*shingled* pattern) not only made of siliciclastic (yellow) facies but also the carbonatics (in blue, low gamma ray values).

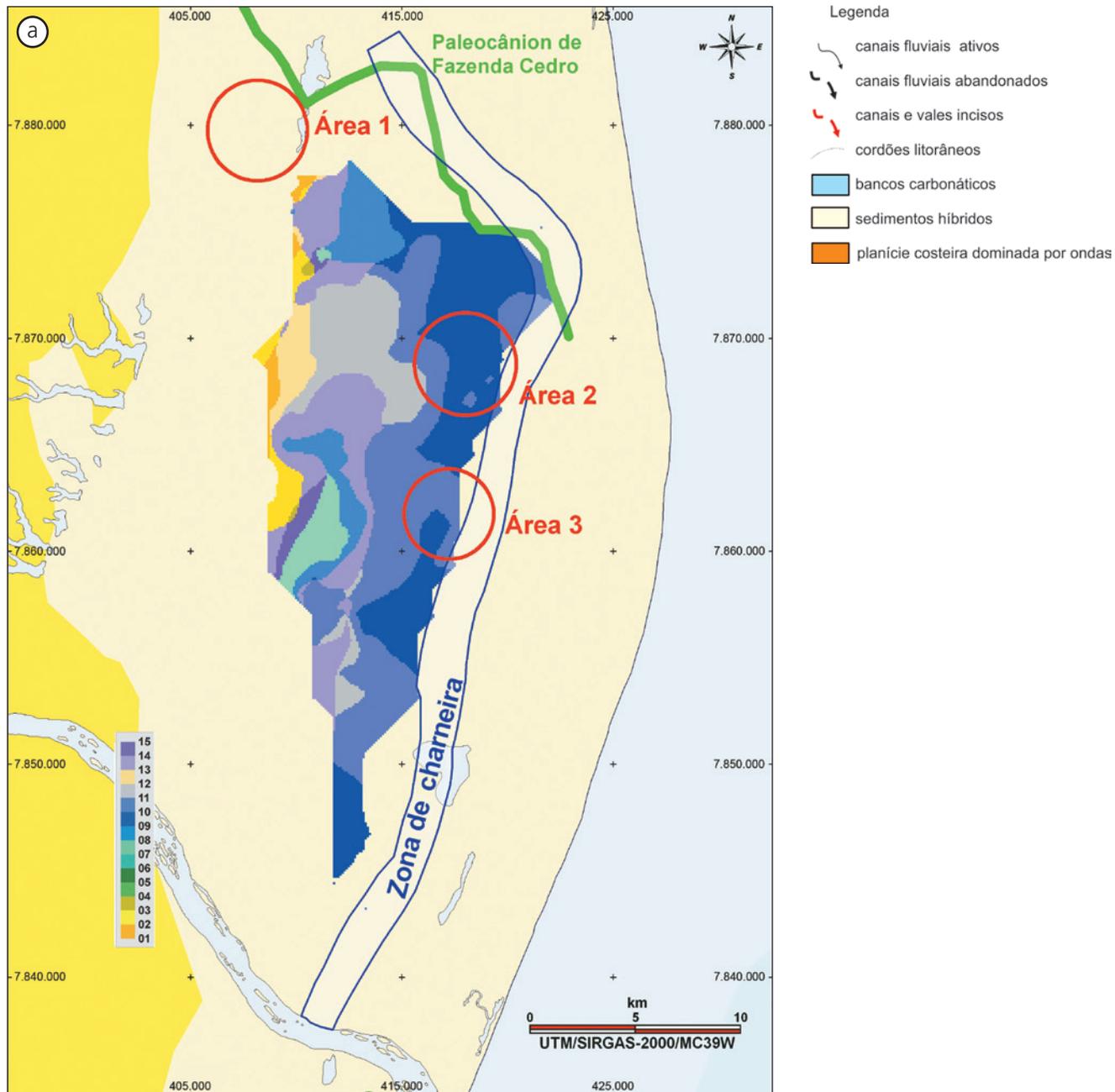


Figura 12 - Mapas da Sequência B/intervalo B2; (a) mapa de litofácies; (b) diagrama ternário de composição percentual das litofácies; (c) mapa paleogeográfico deduzido do mapa de litofácies: continua a retrogradação, no sentido W, das fácies siliciclásticas (vale fluvial e planícies deltaica e costeira dominada por ondas) com a consequente diminuição de área de ocorrência, comparativamente à Sequência B/Intervalo B1; as fácies híbridas, no entanto, tiveram um aumento relativo de sua extensão areal; em função de sua erosão no bloco baixo, esse intervalo somente tem representatividade no bloco alto; (d) bloco diagrama.

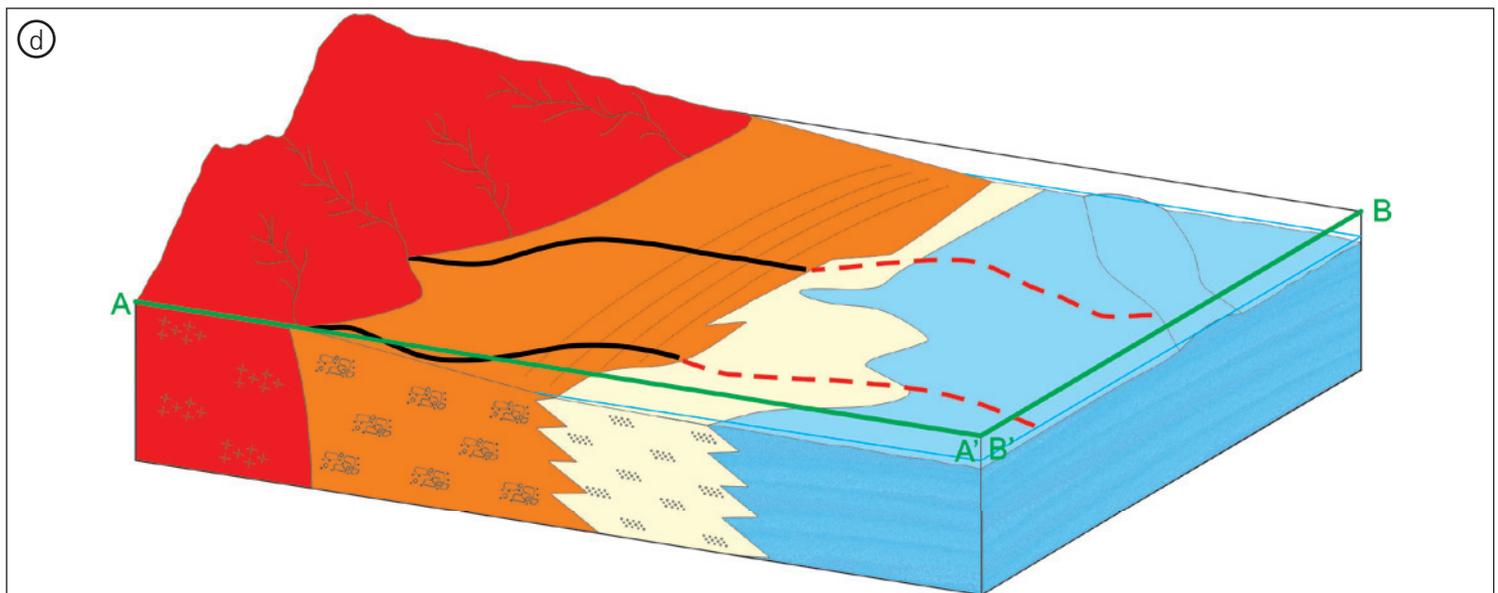
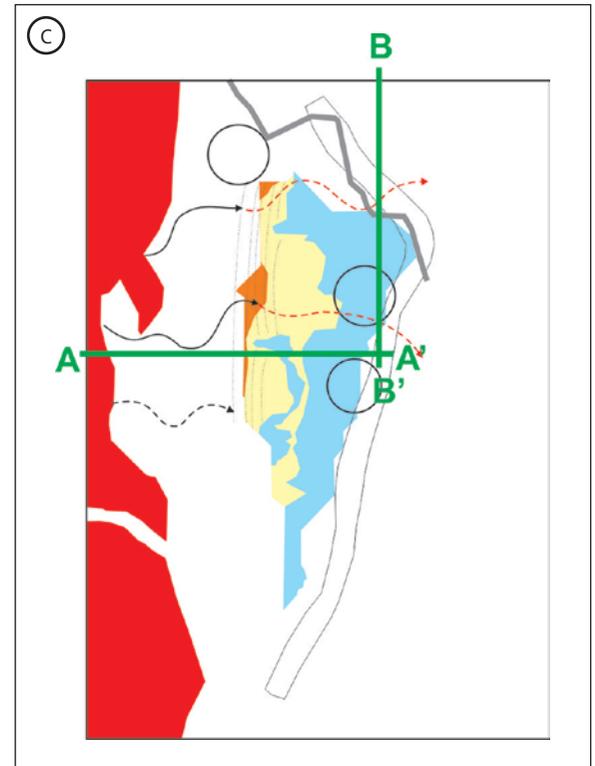
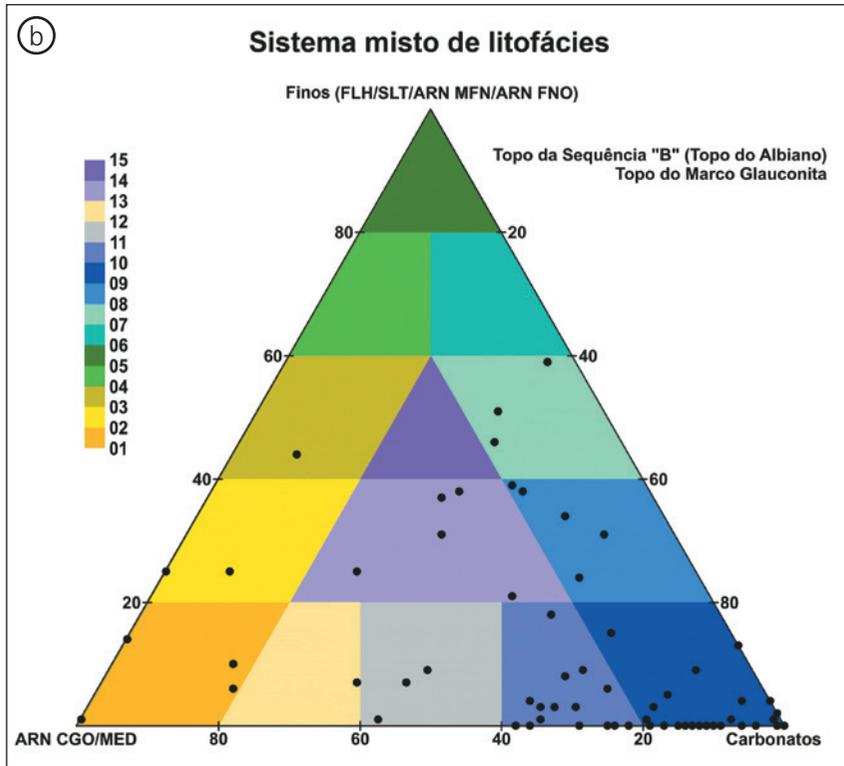


Figure 12 - Sequence B/B2 interval maps: (a) lithofacies map; (b) lithology ternary diagram; (c) paleogeographic map deduced from the lithofacies map: the siliciclastic facies (river valley of high and deltaic plain and coastal region dominated by waves with the formation of coastal strands) retrogradation is maintained causing its spatial decrease occurrence comparing with Sequence B/B1 Interval; hybrid facies had a relative increase in its spatial occurrence; as a function of its erosion in the low block the respective lithology sampling is only available in the high block; (d) paleogeographical sketch.

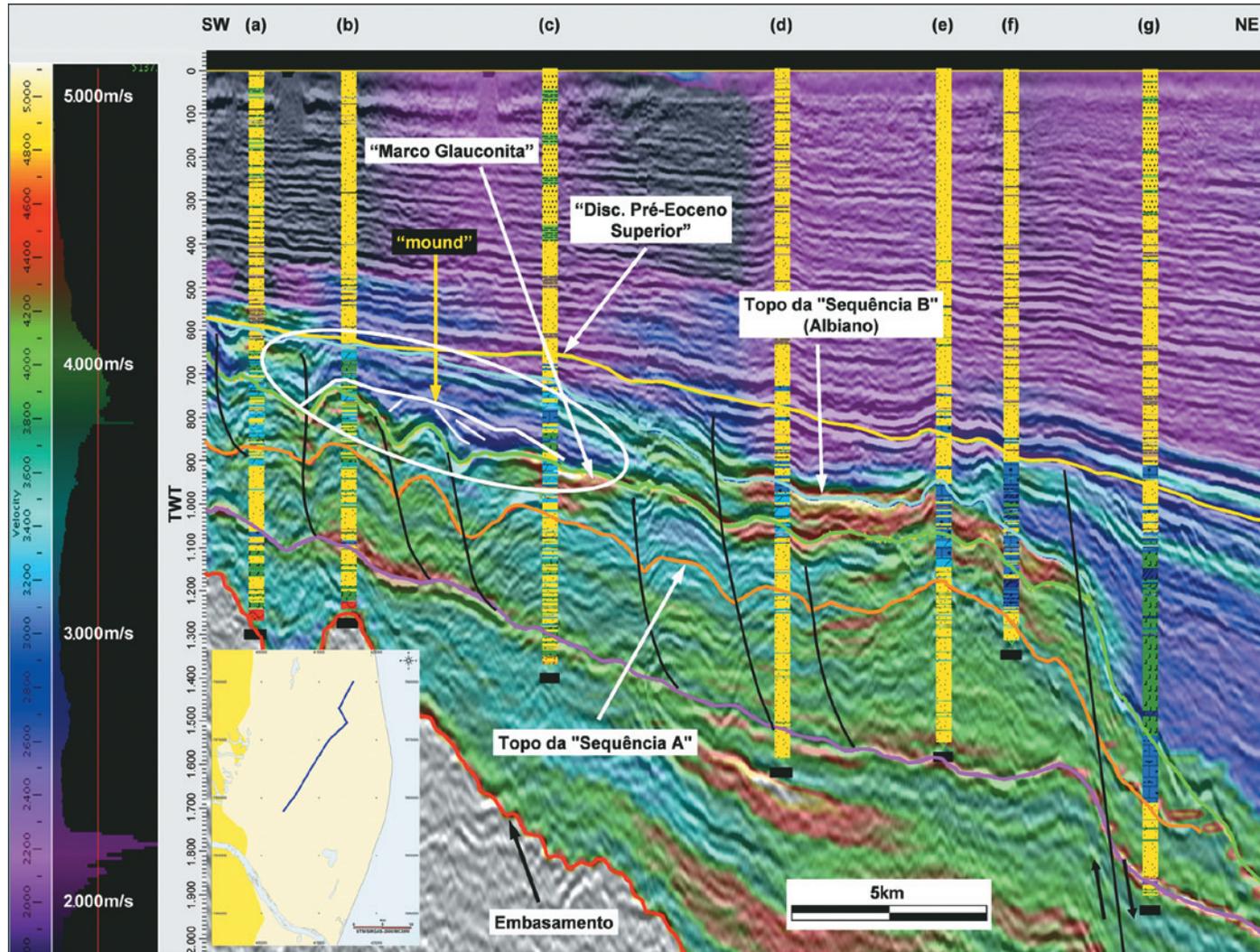


Figura 13 - Seção sísmica *dip* (em tempo), apresentando, através de padrão de cores, variações de velocidades sísmicas; feição sismoestratigráfica do tipo *mound* – águas relativamente mais profundas; variação de fácies siliciclásticas (SW) para carbonáticas (NE) ao longo da mesma linha de tempo (mesmos horizontes); aumento da velocidade sísmica junto à antiga borda plataforma (*grainstones* cimentados).

Figure 13 - Seismic *dip* time section showing, through use of standard colors, seismic velocity variations; seismostratigraphic mound feature – deeper waters; facies variation from siliciclastic (SW) to carbonate (NE) along the same time line horizons; seismic velocity increase in the ancient depositional shelf edge (cemented grainstones).

Sequência A, com aporte sedimentar proveniente do extremo noroeste da plataforma e sedimentação de fácies híbridas e carbonáticas nas porções mais distais. Observa-se a tendência de concentração de fácies carbonáticas nas proximidades da Zona de Falha Cedro-Rio Doce, o que, somado às evidências sísmicas, permite pressupor que essa área tenha se constituído em um paleoalto relativo. É visível uma demarcação paleogeográfica das litofácies através de uma linha imaginária de direção SW/NE, separando fácies tipicamente siliciclásticas daquelas de natureza híbrida e carbonática, estas últimas de importância secundária. Esta linha corresponderia

a uma paleolinha de costa limitando um delta (a SW) e a uma barreira litorânea (a NE) da sedimentação marinho rasa de natureza híbrida durante a sedimentação da Sequência A.

O topo da Sequência A é marcado por um truncamento erosivo claramente visível nas seções sísmicas. Esta superfície coincide com um importante deslocamento de fácies (relativo à Sequência A), quando da deposição da Sequência B. Após o pulso tectônico e o evento erosivo subsequente (Albiano Inferior), implantou-se uma plataforma carbonática na porção centro-leste e sedimentaram-se fácies híbridas em boa parte da porção proximal oeste-noroeste da Plataforma de

Regência. Os mapas de litofácies, paleogeográficos e seções sísmicas de velocidade (Sequência B), aliados às informações petrográficas provenientes de amostras de calha, permitem a interpretação da presença de bancos carbonáticos, separados por discontinuidades no corpo carbonático principal, ao longo da charneira, possivelmente causadas por correntes (erosivas) de marés (*tidal inlets*) e que, também, podem ter atuado como passagem de sedimentos siliciclásticos provindos das porções proximais em direção ao depocentro da bacia.

A porção superior da Sequência B (intervalo B2) se caracteriza tanto pela retrogradação de fácies, com carbonatos transgressivos se sobrepondo às fácies híbridas e siliciclásticas mais proximais, como pelo arranjo geométrico das sismofácies como clinofomas do tipo *shingled*, caracterizando assim um trato de sistemas de mar alto acumulado em uma plataforma rasa. Isto sugere uma fonte de siliciclásticos menos ativa, possivelmente em função de um clima mais seco que permitia que as fácies carbonáticas se ampliassem tanto distalmente (aspecto progradação das clinofomas) como em direção às porções proximais (natureza transgressiva do registro).

Foi observada logo acima do Marco Glauconita uma feição sismoestratigráfica localizada do tipo *mound* (calha halocinética com cerca de 100m de espessura). A análise conjugada destas sismofácies com perfis de poços e amostras de calha (presença de folhelhos e margas) indica um aumento significativo de espaço de acomodação em ambiente antes interpretado como exclusivamente de águas rasas (plataformal/transicional/continental).

A análise de seções sísmicas em velocidade, balizadas pelas colunas litológicas dos poços, devidamente ajustadas, possibilitou constatar o sincronismo, considerando uma escala temporal de terceira ordem, na deposição de sedimentação siliciclástica, híbrida e carbonática em vários momentos evolutivos durante o Albiano na área de estudo.

Obs.: O órgão responsável pelos estudos bio-cronoestratigráficos, no âmbito da Petrobras, está reavaliando as datações atribuídas ao Andar Albino.

agradecimentos

Aos geólogos Julius Heinerici, Wilson Rubem Winter, Paulo Tibana, Roberto Bonora, Renato Gonzales, Luciano Arantes Costa, Josemar S. Pereira

Filho, Rosilene Lamounier França e Robert Stirling, intérpretes que já trabalharam na Plataforma de Regência em anos passados, pela experiência transmitida através de relatórios confeccionados no âmbito interno à companhia.

Aos colegas da E&P Sul-Sudeste, Unidade de Operações de Exploração e Produção do Espírito Santo, Exploração e Avaliação de Blocos e Interpretação Geológica e Geofísica e *Ring-Fence* (UO-ES/EXP/ABIG), pelo amadurecimento proporcionado pela troca de ideias no dia a dia.

Aos colegas Rosana Gabriela e Diógenes Lessa pelos trabalhos de edição.

Aos gerentes Luiz Robério, Fernando Taboada e Renato Gonzales pelo apoio.

À Petrobras pelo incentivo ao aprimoramento técnico de seus funcionários.

referências bibliográficas

AZEVEDO, R. L. M.; GOMIDE, J.; VIVIERS; M. C.; HASHIMOTO, A. T. Bioestratigrafia do Cretáceo marinho da Bacia de Campos, Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 17, n. 2, p. 147-153, jun. 1987.

BORER, J. J. M.; HARRIS, P. M. Lithofacies and cyclicity of the Yates Formation, Permian Basin: implications for reservoir heterogeneity. **AAPG Bulletin**, Tulsa, v. 75, n. 4, p. 726-779, Apr. 1991.

BOTELHO NETO, J. **Porção norte da Plataforma de Regência - Bacia do Espírito Santo**: caracterização palinoestratigráfica e evolução paleoambiental. 1996. 163 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1996.

CUZELLA, J. J.; GOUGH, C. P.; HOWARD, S. C. Depositional environments and facies analysis of the Cherokee Group in west-central Kansas. In: ANNUAL MEETING OF THE AMERICAN ASSOCIATION OF PETROLEUM GEOLOGISTS, 1991, Dallas. **Proceedings...** Tulsa: SEPM, 1991. p. 273-308, v. 15.

DIAS-BRITO, D.; ARAI, M.; SHIMABUKURO, S.; AZEVEDO, R. L. M. Estratigrafia do plâncton albiano da Bacia de Campos: um reconhecimento a partir do poço 3-BO-3-RJS. In: SIMPÓSIO SOBRE AS BACIAS CRETÁCIAS BRASILEIRAS, 1., 1990, Rio claro. **Resumos...** São Paulo: SBG, 1990. p. 41-42, v. 1.

- EHRlich, D.; GABRIELSEN, R. H. The complexity of a ramp–flat–ramp fault and its effect on hanging-wall structuring: an example from the Njord Oil Field, offshore mid-Norway. **Petroleum Geoscience**, London, v. 10, n. 4, p. 305-317, Nov. 2004.
- EICHENSEER, H. T.; WALGENWITZ, F. R.; BIONDI, P.J. Stratigraphic control on facies and diagenesis of dolomitized oolitic siliciclastic ramp sequences (Pinda Group, Albian, Offshore Angola). **AAPG Bulletin**, Tulsa, v. 83, n. 11, p. 1729-1758, Nov. 1999.
- ESKER, D.; EBERLI, G. P.; MCNEILL, D. F. The structural and sedimentological controls on the reoccupation of quaternary incised valleys, Belize. Southern Lagoon. **AAPG Bulletin**, Tulsa, v. 82, n. 11, p. 2075-2109, Nov. 1998.
- FRANÇA, R. L.; DEL REY A. C.; TAGLIARI, C. V.; BRANDÃO, J. R.; FONTANELLI, P. R. Bacia do Espírito Santo. **Boletim de Geociências da Petrobras**. Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 501-510, maio/nov. 2007. Cartas Estratigráficas.
- FRANÇA, R. L.; TOKUTAKE, L. R. Bacia do Espírito Santo. **Phoenix**, Sergipe, n. 69, p. 1-6, set. 2004.
- FRIEDMAN, G. M. Case histories of coexisting reefs and terrigenous sediments: the Gulf of Elat (Red Sea), Java sea, and neogene basin of the Negev, Israel. In: DOYLE, L. J.; ROBERTS, H. H. (Ed.). **Carbonate-clastic transitions**. Amsterdam: Elsevier, 1988. p. 77-97.
- HARRIS, P. T.; HEAP, A.; PASSLOW V.; HUGHES, M.; DANIELL, J.; HEMER, M.; ANDERSON, O. Tidally incised valleys on tropical carbonate shelves: an example from the northern Great Barrier Reef, Australia. **Marine Geology**, Amsterdam, v. 220, n. 1-4, p. 181-204, Oct. 2005.
- LOMANDO, A. J.; WALKER, T. I. L. Wamba Field, People's Republic of Angola, a Cenomanian mixed carbonate-siliciclastic reservoir. In: LOMANDO, A. J.; HARRIS, P. (Ed.). Mixed carbonate-siliciclastic sequences. **SEPM Core Workshop Notes**, v. 15, p. 245-271, 1991.
- MCNEILL, D. F.; CUNNINGHAM, K. J.; GUERTIN, L. A.; ANSELMETTI, F. S. Depositional themes of mixed carbonate-siliciclastics in the South Florida Neogene: application to ancient deposits. In: GRAMMER, M.; HARRIS, P. M.; EBERLI, G. P. **Integration of outcrop and modern analogs in reservoir modeling**. Tulsa: AAPG, 2004. p. 23-43. (AAPG Memoir, 80).
- MATOS, R. D. Geometry of the hanging wall above a system of listric normal faults - a numerical solution. **AAPG Bulletin**, Tulsa, v. 77, n. 11, p. 1839-1859, Nov. 1993.
- REEDER, S. L.; RANKEY, E. C. Controls on morphology and sedimentology of carbonate tidal deltas, Abacos, Bahamas. **Marine Geology**, Amsterdam, v. 267, n. 3-4, p. 141-155, Dec. 2009.
- TAGLIARI, C. V.; CUNHA, A. A. S.; PAIM, P. S. Orbital-driven cyclicity and the role of halokinesis on accommodation within siliciclastic to carbonate, shallow-water Albian deposits in the Espírito Santo Basin, southeastern Brazil. **Cretaceous Research**, London, v. 35, p. 22-32, June 2012.
- VAIL, P. R.; TODD, R. G.; SANGREE, J. B. Seismic stratigraphy and global changes of sea level: Part 5. chronostratigraphic significance of seismic reflections: section 2. application of seismic reflection configuration to stratigraphic interpretation. In: PAYTON, C. E. (Ed.). **Seismic stratigraphy-applications to hydrocarbon exploration**. Tulsa: AAPG, 1977. p. 99-116. (AAPG Memoir, 26).
- VAN WAGONER, J. C.; POSAMENTIER, H. W.; MITCHUM, R. M.; VAIL, P. R.; SARG, J. F.; LOUITIT, T. S.; HARDENBOL, J. An overview of the fundamentals of sequence stratigraphy and key definitions. In: WILGUS, C. K.; HASTINGS, B. S.; KENDALL, C. G. St. C.; POSAMENTIER, H. W.; ROSS, C. A., VAN WAGONER, J. C. (Ed.). **Sea level changes: an integrated approach**. Tulsa: SEPM, 1988. p. 39-45. (Special publication, 42).
- WILSON, J. L. **Carbonate facies in geological history**. New York: Springer-Verlag, 1975. 471 p.
- UESEGUI, N. Posição estratigráfica dos evaporitos da Bacia de Sergipe-Alagoas. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 17, p. 131-134, 1987.

bibliografia

expanded abstract

This study aims to improve the understanding of the interaction between salt movement, Albian basement reactivations and the paleogeographical distribution of coeval siliciclastic, carbonate and hybrid depositional facies.

The study region comprises a large part of the Regência Platform, one of the four geological provinces that form the onshore portion of Espírito Santo Basin. This province is recognized by its Albian mixed, siliciclastic and carbonate sedimentation deposited in continental, transitional and shallow marine environments. It is bounded to the north and south by the paleocanyons de Fazenda Cedro e Regência, respectively. They are characterized by pronounced incisions filled with hemipelagic shale and marl, and turbidites (shale and sandstone). The last northernmost province is the São Mateus Platform that comprises Albian, alluvial/fluvial/deltaic strata.

The Albian Stage of the Regência Platform is more than 1000m thick in some areas. It is composed of interlayered or intertongued, depending of the analysed scale, siliciclastic and hybrid facies ascribed to fluvial, transitional and shallow marine environments and shallow marine carbonates. Whereas the siliciclastic facies dominate the proximal areas, the carbonate deposits dominate in the more distal ones (França et al., 2007).

The stratigraphic section studied is not exposed. The data was obtained from geophysical well logs, cuttings and seismology.

A 3D seismic program covering most of the onshore portion of Plataforma de Regência was used to get a regional view of the study area. The seismic horizons used, well-defined in almost the entire area, were mapped in a two-way travel time version and later converted to depth. The nature of the surfaces delimiting the depositional sequence was highlighted by the reflector terminations relative to the mapped seismic surfaces.

The Albian succession was divided into regional scale seismic stratigraphic intervals bounded by unconformities and informally called sequences A and B. Besides this, in the central-west portion of the studied region, the recognition of a well-defined, glauconite-rich stratigraphic level, that is highlighted by an increase in the gamma ray logs and interpreted as a condensation surface, has allowed the splitting of the Sequence B into an older Transgressive

Systems Tract (B1 interval) and an younger High Stand Systems Tract (B2 interval; Van Wagoner et al., 1988). All these surfaces (three unconformities and one condensed surface) were used to constrain data and make lithofacie maps, paleogeographical maps, seismic attribute maps (Edge) and seismic velocity sections. Together, the lithofacies, paleogeographical and seismic attribute maps provided a regional-scale picture of the Albian paleogeography. They provided significant information that enabled a better understanding of the Plataforma de Regência geological evolution. This set of information has greatly contributed to compile the paleogeographical sketches (block diagrams) for each stratigraphic unit.

The main structure is compound by an N-S striking fault zone (Cedro-Rio Doce Fault or hinge zone) that divides the Regência platform into two major blocks: a high (western) and a low (eastern) one. This fault zone marks an increase in the plunge of the basinward dipping seismic reflectors in the low block, which comprises older packages than Upper Eocene strata, as well as an abrupt thinning of the Barra Nova Group due to erosion (Albian interval).

The supposed Albian tectonic pulse responsible for the dip increase of the salt base reflector from the hinge zone (Cedro-Rio Doce Fault) was possibly associated with the event that caused the unconformity that bounds both sequences studied.

The lithofacie maps show a prevalence of siliciclastic sediments in the northwestern half of the analysed region during the deposition of Sequence A.

The siliciclastic source area was clearly situated to the NW. Hybrid and carbonate facies dominate the remaining region, including the hinge zone. There is a net paleogeographic change along a SW/NE direction dividing a mixed, with more local carbonate, facies domain from the siliciclastic half. It follows that the shoreline would have had the same average direction during the sedimentation of this sequence.

The upper limit of Sequence A is an erosional truncation clearly evident in the seismic sections that also marks a westwards shift of the sedimentary facies with the onset of a carbonate platform in the central-eastern portion of Plataforma de Regência and the displacement of the hybrid facies to the west-northwest proximal areas. Like the Sequence B Transgressive Systems Tract (B1 interval), the subsequent one (B2) also displays a retrogradation trend, with the replacement of proximal siliciclastic deposits (Transgressive Systems Tract, B1) by hybrid facies (High Stand Systems Tract, B2). However, the

B2 seismic reflectors present regressive features (clinoforms). A climate change from wetter (larger siliciclastic relative contribution) to drier (predominance of hybrid and carbonate facies) conditions would explain this apparent inconsistency.

Seismostratigraphic features found above the "Marco Glaucônita" suggest a localized mound and so, possibly, deeper-water sedimentation in the mid-west Regência Platform in a setting formerly associated with shallow-marine to continental conditions. Furthermore, well log and cuttings data also point to a significant increase in accommodation possibly caused by salt displacement due to sedimentation

overloading (Tagliari et al., 2012). The presence of carbonate banks, probably composed of well-cemented grainstone can be deduced from the lithofacies and paleogeographical maps and seismic velocity sections mainly in High Stand Systems Tract, B2. The observable discontinuity of the banks along the hinge zone could be a result of tidal currents (ebb/inlet tidal currents – Harris et al., 2005; Reeder and Rankey, 2009).

The analysis of seismic velocity sections and properly-tied columnar sections obtained from well logs indicate that siliciclastic, mixed and carbonate deposition was coeval, in a third order scale study.

autores



Claudio Vinicius Tagliari
E&P Sul-Sudeste
Unidade de Operações e Produção do Espírito Santo
Avaliação de Blocos e Interpretação Geológica e Produção do Espírito Santo

tagliari@petrobras.com.br

Claudio Vinicius Tagliari é graduado em Geologia (1979) e Mestre em Estratigrafia (1993) pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Ingressou na Petrobras em 1980. Desde 1987 exerce atividades de interpretação geológica na elaboração de prospectos (locações exploratórias) e de estudos de caráter regional, tendo trabalhado nas bacias de Campos, Espírito Santo, Mucuri, Jequitinhonha e Ceará-Mundaú. Atua no segmento de exploração na Unidade de Operação do Espírito Santo e é pós-graduando (doutorado) na área de Geologia Sedimentar na Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos). Professor do curso “Estudo dos Sistemas Mistos Carbonáticos e Siliciclásticos” na Universidade Petrobras.



Jairo Rios Brandão
E&P Sul-Sudeste
Unidade de Operações e Produção do Espírito Santo
Avaliação de Blocos e Interpretação Geológica e Geofísica *Ring Fence*

jbrandao@petrobras.com.br

Jairo Rios Brandão é graduado em Geologia (1984) pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Ingressou na Petrobras em 1985. Trabalhou em aquisição de dados geofísicos na Amazônia entre 1987 e 1988. Exerce atividades de interpretação sísmica e elaboração de prospectos (locações exploratórias) desde 1988, tendo trabalhado com diversas bacias brasileiras, como a Bacia do Solimões, Bacia de Campos (mar) e do Espírito Santo (terra e mar). É Mestre em Estratigrafia, área de Análise de Bacias (2005), pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Trabalha com a Bacia do Espírito Santo.



Paola de Rossi Fontanelli
E&P Sul-Sudeste
Unidade de Operações de Exploração e Produção Sul
Exploração

paola@petrobras.com.br

Paola de Rossi Fontanelli é graduada em Geologia pela Universidade Federal do Paraná (UFPR), com mestrado em Estratigrafia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) na área de Proveniência de Arenitos. Ingressou na Petrobras em 1990, no antigo Distrito de Exploração do Espírito Santo. Exerceu atividades de acompanhamento e avaliação de poços até 1996, e de Sedimentologia e Estratigrafia até 1999, quando assumiu a gerência do Laboratório de Geologia. De 2005 a 2011 trabalhou com interpretação exploratória nas concessões e blocos da Bacia do Espírito Santo. É coordenadora de avaliação de blocos e interpretação geológica e geofísica na Unidade de Operação Sul.



Paulo Sérgio Gomes Paim
Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos)
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas
Programa de Pós-Graduação em Geologia

ppaim@unisinos.br

Paulo Sérgio Gomes Paim é graduado em Geologia em 1978 e Mestre em Geociências em 1983 pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e Doutor em Geologia pela University of Oxford em 1994. Geólogo da UFRGS de 1981 a 1983 e professor de Oceanografia Geológica na Fundação Universidade do Rio Grande (FURG) de 1983 a 1986. Desde 1987 atua na Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos). É professor titular e pesquisador do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Possui cerca de 30 anos de experiência no estudo de diversas bacias sedimentares, no Brasil e no exterior, do Proterozoico ao Holoceno, com ênfase em Estratigrafia e Sedimentologia de sucessões siliciclásticas e suas aplicações na Geologia do Petróleo.

