

OCORRÊNCIA DE ROCHAS SEDIMENTARES CARBONÁTICAS DO CRETÁCEO SUPERIOR NO SUBSTRATO DA CIDADE DE FORTALEZA E SUAS POSSÍVEIS IMPLICAÇÕES ESTRATIGRÁFICAS E ESTRUTURAIS

OCCURRENCE OF UPPER CRETACEOUS CARBONATE SEDIMENTARY ROCKS UNDERLYING FORTALEZA CITY (BRAZIL) AND ITS POSSIBLE STRATIGRAPHIC AND STRUCTURAL IMPLICATIONS

Luiza SILVA WERNECK¹, Christiano MAGINI¹, Daniel Rodrigues do NASCIMENTO¹ JUNIOR, Rogério Loureiro ANTUNES²

¹Universidade Federal do Ceará. Avenida da Universidade, 2853 - Benfica, Fortaleza – CE.
E-mails: luiza.werneck@gmail.com; magini2005@hotmail.com; daniel.rodrigues@ufc.br

²Geólogo Autônomo. E-mail: rlantunes56@gmail.com

Introdução e objetivos
Metodologia
Tectônica, estratigrafia e evolução costeira
Resultados
 Bacia do Ceará
 Calcário
 Petrografia e micropaleontologia
 Furo SM-13
 Furo SR-103+020
 Furo Condomínio Essenza
 Nanofósseis
Discussão e conclusão
Agradecimentos
Referências

RESUMO - As bacias da margem equatorial norte são alvos de pesquisa envolvendo hidrocarbonetos e sua produção. Destacam-se estudos realizados na Bacia Potiguar, Paracuru e mais recentemente na Sub-Bacia Mundaú. Esta última foco desta pesquisa pôde ser amostrada pela primeira vez na parte *onshore*, onde calcários foram descobertos devido a sondagem do Metrofor e construção de poço tubular profundo. São dois furos de sondagem SR-103+020 e SM-13, o poço do Condomínio Essenza, todos na zona urbana. Os dados inéditos buscam correlacionar a sedimentação carbonática do Cretáceo Superior onde as amostras seriam correlatas a Formação Jandaíra (Bacia Potiguar). Petrografia, micropaleontologia e nanofósseis foram avaliados e dados de poços ANP e Siagas/CPRM foram averiguados no trecho entre o Gráben Cascavel. Não foram encontradas camadas de calcários no trecho do gráben, nas amostras estudadas nos furos foram descritos como calcarenitos e wackestones. Foram identificados microfósseis como bivalves, ostracóides, foraminíferos, algas, briozoários; além de 49 taxons de nanofósseis. Os dados permitiram montar um arranjo de sedimentação do Cretáceo Superior englobando desde Cenomaniano até o Maastrichtiano onde poderiam ocorrer dois modelos: sedimentação carbonática de única plataforma (contínua ou descontínua) nas bacias Potiguar e Ceará ou sedimentação carbonática separada pelo Graben Cascavel onde a Bacia Potiguar e Ceará não possuíam conexão, porém sincronia na sedimentação.

Palavras-chave: Bacia do Ceará. Cretáceo. Paleoambiente.

ABSTRACT - The northern equatorial margin basins are research targets involving hydrocarbons and their production. We highlight studies carried out in the Potiguar Basin and most recently in the Mundaú Sub-Basin. This last, focus of this research could be sampled for the first time in the onshore part, where limestones were discovered due to the Metrofor and water well drilling. There are two drill holes SR-103+020 and SM-13, and the Condomínio Essenza's water well, all in the urban area. The unpublished data they seek to correlate the carbonate sedimentation of the Upper Cretaceous where the samples would be correlated to the Jandaíra Formation (Potiguar Basin). Petrography, micropaleontology and nanofossils were evaluated and data from ANP and Siagas / CPRM wells were investigated in the section between Graben Cascavel. No calcareous layers were found in the graben section, in the samples studied in the holes were described as calcarenites and wackestones. Microfossils were identified as bivalves, ostracoids, foraminifera, algae, bryozoans; besides 49 taxons of nanofossils. The data allowed to construct a sedimentation arrangement of the Upper Cretaceous from Cenomanian to the Maastrichtian where two models could occur: carbonaceous sedimentation of single platform (continuous or discontinuous) in the Potiguar and Ceará basins or carbonaceous sedimentation separated by the Graben Cascavel where the Potiguar Basin and Ceará had no connection but synchrony in the sedimentation.

Keywords: Ceará Basin. Cretaceous. Paleoenvironment.

INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

Na América do Sul, um dos maiores marcos do fim do Supercontinente Pangéia foi o início da abertura do Oceano Atlântico Sul nas margens equatorial e leste do Brasil durante a Reativação Wealdeniana (Almeida, 1967), culminando com a formação de várias bacias costeiras além da

edificação de grande parte da atual plataforma continental sul americana. Este evento tectônico marcante possibilitou a implantação de sistemas deposicionais nas bacias costeiras com registro tanto em terra (*onshore*) como em costa afora (*offshore*), alternando depósitos continentais e

marinhos, muitas vezes afetados por magmatismos de diferentes idades (Cainelli & Mohriak, 2000). Do ponto de vista econômico, em particular, a história de subsidência das fases *rift* e *drift* dessas bacias, seu registro de variação do nível marinho e efeitos pós-deposicionais ligados ao soterramento, tectonismo e magmatismos entre o Mesozóico e Cenozóico são todos conjuntamente responsáveis pela produção e maturação de hidrocarbonetos (Allen & Allen, 2005). Neste âmbito, destacam-se no Brasil as bacias de Santos, Campos, Sergipe-Alagoas, Potiguar e Ceará (Lana et al., 2001; Mizusaki et al., 2001; Senra et al. 2003; Cassab, 2003; Thomas Filho et al., 2008; Arai, 2014) e seus contrapartes em Gana, Nigéria, Angola e Guiné Equatorial, no lado africano (Scotese et al., 1988; Bondo, 2014). Em particular, Zalán (2015) menciona que a Margem Equatorial, com enfoque nas bacias Potiguar e do Ceará, teve em anos recentes uma produção petrolífera em águas rasas similar ao de sua contraparte africana, de algumas dezenas de milhares de barris de óleo equivalente. Esse fato se soma à uma atenção renovada por parte da indústria petrolífera devido à descoberta também recente de importantes campos em águas profundas nas bacias de Gana, Costa do Marfim, Libéria e Serra Leoa.

Na Bacia do Ceará, empresas nacionais e internacionais têm arrematado blocos em rodadas da ANP desde 2013, incluindo nomes como Total, Queiroz Galvão, Chevron, Ecopetrol, Cepsa, Premier Oil, Exxon, OGX e Wintershall (ANP, 2013; ANP, 2018), todas voltadas para operar em águas profundas, onde o histórico da exploração tem se mostrado mais favorável. Em parte, por conta disso, o conhecimento sobre a extensão das unidades da bacia na linha de costa atual é limitado, além do fato de que ali, os depósitos mais evidentes em superfície alternam coberturas quaternárias e falésias da Formação Barreiras (Lima et al., 2000).

Em Fortaleza, centenas de poços destinados à aquisição e estudo de águas subterrâneas, de profundidade decamétrica, têm sido perfurados e estudados desde o início do século XX, onde depósitos carbonáticos eram esparsamente identificados e descritos em perfis litológicos. Tradicionalmente, no entanto, tais ocorrências eram frequentemente tidas como unidades carbonáticas do

embasamento cristalino pré-cambriano (i.e., mármore), ligadas ao Complexo Ceará. A dissertação de Lima (2014) é possivelmente o primeiro trabalho a chamar atenção para a raridade destas ocorrências, uma vez que são desconhecidos afloramentos em superfície de rochas carbonáticas em Fortaleza, ou mesmo de mármore atribuíveis ao Complexo Ceará (diferentemente de outras localidades no Domínio Ceará Central, mais a oeste – Cavalcante et al., 2013). Após o levantamento de dados históricos de descrição litológica de mais de 500 poços tubulares em Fortaleza, feitos para finalidades hidrogeológicas por diferentes órgãos públicos e empresas privadas, Lima (2014) identificou ocorrências de calcários puros e impuros (margas) em 15 (quinze) localidades, onde as rochas estariam “subjacentes e/ou intercaladas à Formação Barreiras (?)”, distribuídas em sete perfis. Segundo o autor, o ineditismo do relato dessas ocorrências em publicações formais poderia “se transformar em marco estratigráfico, caso seja possível confirmar sua idade geológica” (Lima, 2014).

Os dados históricos apresentados por Lima (2014) em seus anexos mostram que as ocorrências de calcário se distribuem na verdade por 40 poços, e não 15 como mencionado originalmente pelo autor, abrangendo assim quinze bairros na cidade de Fortaleza: Meireles, Aldeota, Praia de Iracema, Varjota, Mucurípe, Ponta de Mucurípe, Dionísio Torres, Cocó, Amadeu Furtado, Farias Brito, Carlito Pamplona, Edson Queiroz, Passaré, José Walter e José de Alencar.

Essa distribuição no substrato de Fortaleza sugere uma área de ocorrência de, no mínimo, 150 km². A maior parte se concentra a norte e nordeste, em poços com profundidade total entre 39 e 105 m, onde os calcários foram interceptados entre as profundidades 23 a 84 m, com variação na espessura de 1 a 24 m (sem discriminar poços limitados em sua profundidade total). Nota-se um adelgaçamento geral da espessura dos calcários nos sentidos N-S e E-W, portanto, no sentido geral oceano-continente.

O presente estudo pretende fazer a primeira discussão acerca da origem e interpretações estruturais e estratigráficas para as ocorrências de calcário no substrato da cidade de Fortaleza, região limítrofe entre as bacias Potiguar e do Ceará.

METODOLOGIA

Foram obtidas amostras de furos de sondagens da Companhia Cearense de Transportes Metro-

lítanos (Metrofor) e do perfil perfurado para a construção e instalação do poço tubular profundo

do Condomínio Essenza, também levantados seis perfis de poços tubulares descritos no Siagas/CPRM de intervalos portadores de calcários ou associados a estes. A relação das amostras e as análises aplicadas em cada uma delas pode ser visualizada na tabela 1.

As amostras de mão e petrografia seguem os métodos de classificação e interpretação baseados em componentes texturais e minerais conforme

Folk (1972) e Dunham (1962). Os equipamentos usados para análise petrográfica foram microscópio *Nikon H550S* com *software* para captura de imagens, e microscópio eletrônico de varredura de bancada *Hitachi TM3000* acoplado a dispositivo EDS *Swift ED3000*, ambos do Laboratório de Microscopia Eletrônica do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará (LME-DEGEO-UFC).

Tabela 1 – Localização e tipo de análise realizada nas amostras do estudo.

Sondagem / Poço	Coordenada X	Coordenada Y	Coordenada Z	Profundidade coletada (m)	Petrografia	DRX	Nanofósseis
SM-13	554347	9587441	23		X	X	
SR-103+020	554316	9587453	22	34,05	X		X
Poço Essenza	555453	9587383	33	54-57			X
				57-60			X
				63-66			X
				78-80			X
				84-86			X
				93-95			X

Uma das amostras foi pulverizada com gral de ágata e analisada pelo método de difração de raios X no Laboratório de Raios X do Departamento de Física da Universidade Federal do Ceará. Os difratogramas de raios X foram obtidos utilizando-se um D8 Advanced Bruker AXS, equipado com um goniômetro theta/theta, operando na geometria Bragg-Brentano com suporte de amostras fixo, fonte de radiação Cu K α (0.15419 nm) e um detector Lynx Eye. A tensão e a corrente elétrica aplicadas foram de 40 kV e 40 mA, respectivamente. A abertura da fenda usada para o feixe incidente na amostra foi 0,6 mm. A amostra foi escaneada entre 5° e 70° usando o modo *step-scan* (step 0.02o, tempo de integração 1s).

Os nanofósseis foram concentrados e montados em lâminas dedicadas à observação e estudo do paleonoplâncton ao microscópio, adotando os procedimentos de Antunes (1997). Para tanto, se utilizou microscópio Carl Zeiss do tipo *AxioPlan 2 imaging*, com o aumento de 1000 vezes, com máquina fotográfica Zeiss (*AxioCam MRc5*), com aplicativo *AxioVision SE64*, nesta fase utilizamos apoio e a infraestrutura da Escola de Geologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Como todas as amostras mostraram-se extremamente pobres ou sem recuperação de nanofósseis, o critério de quantificação restringiu-se, apenas, a contar todos os exemplares passíveis de identificação em duas transversas (lado maior da lâmina, cuja dimensão é 3,5 x 2 cm), o que equivale a,

aproximadamente, 280 campos de visão (menor área observável de uma lâmina). Durante esta etapa de investigação, além da identificação das espécies e da contagem dos exemplares, atenção também foi dada à obtenção de fotografias. Posteriormente, e, agora, sem a preocupação de quantificar, foram investigadas mais duas transversas, buscando-se somente exemplares a serem fotografados. Portanto, cada lâmina teve, pelo menos, 560 campos de visão observados.

Além disso, atenção foi dada ao estado de preservação da nanoflora. Em todas as amostras que continham nanofósseis, este estado foi classificado como regular/ruim (R/r), que tem o seguinte significado: boa parte dos exemplares grandes encontra-se quebrada. A depender do tipo de fácies e da composição química da amostra (muito carbonática), a diagênese (recristalização) pode introduzir dificuldades no reconhecimento de muitas espécies que compõem a associação, especialmente aquelas com dimensões inferiores a 5 micrômetros. Em face da natureza carbonática das amostras, isto foi uma constante.

Ao término de cada análise procedeu-se, ainda, a uma estimativa de abundância (AB), para expressar o grau de riqueza da amostra em exemplares de nanofósseis. Esta estimativa foi realizada escolhendo-se, aleatoriamente, na região central da lâmina, cinco Campos de Visão (5CV) e contando-se todos os exemplares observados. Em depósitos apropriados para a ocorrência e

preservação de nanofósseis, a abundância em cinco campos de visão (AB5CV) é geralmente elevada, atingindo valores superiores a 100 – média de 20 exemplares por campo de visão. Em amostras muito abundantes, valores superiores a 200 são esperados. Seções condensadas podem apresentar AB5CV muito elevados em relação a depósitos adjacentes.

Após a conclusão da investigação obteve-se o índice denominado Riqueza Específica (RE) que se relaciona ao número de entidades taxonômicas reconhecidas. Elevada RE, em amostras abundantes pode indicar que o depósito foi formado em regiões distais de sedimentação. Contrariamente,

valores mais baixos podem sugerir uma sedimentação mais proximal. Estas afirmações são dependentes das fácies sedimentares e da preservação do material investigado. Fácies pelíticas (em especial margas e folhelhos) são mais favoráveis à ocorrência e preservação de nanofósseis.

As identificações taxonômicas dos nanofósseis basearam-se no catálogo eletrônico NANNOTAX (<http://www.mikrotax.org/Nannotax3>). Em termos de hierarquia taxonômica, seguiu-se aquela sugerida por Bown & Young (1997). Uma documentação fotográfica para alguns destes táxons é apresentada nas estampas 1 e 2.

TECTÔNICA, ESTRATIGRAFIA E EVOLUÇÃO COSTEIRA

O sistema de *rifts* do Cretáceo na Província Borborema abrange bacias de diferentes

tamanhos e geometrias, sendo algumas interiores e outras marginais (Figura 1).

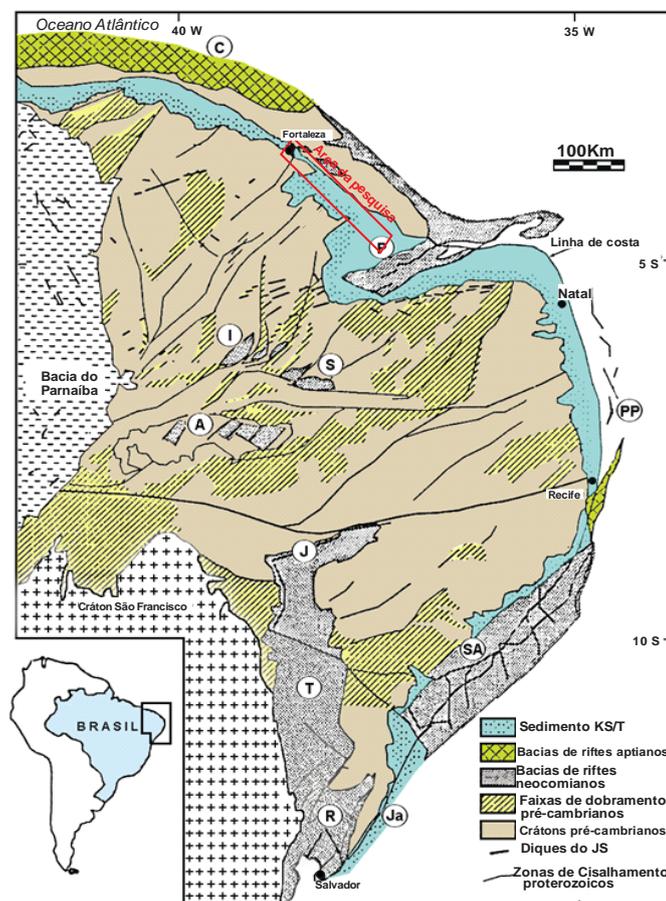


Figura 1 – Localização da área de pesquisa (polígono vermelho) entre a Bacia Potiguar, Baixo de Aracati e Bacia do Ceará, tendo seu limite a cidade de Fortaleza-CE. Bacias que compõem o Sistema de Riftes do Nordeste Brasileiro (a partir de Matos, 1992). C- Ceará. P – Potiguar e Ceará. I - Iguatu. S - Sousa. A - Araripe. R - Recôncavo. T - Tucano. J - Jatobá. SA - Sergipe-Alagoas. PP- Pernambuco-Paraíba. Ja –Jacuípe. (a partir de Matos, 1992).

Neste aspecto, as bacias Potiguar e do Ceará fariam parte de um sistema bacinal mais ou menos contínuo iniciado no Neocomiano (Figuras 2 e 3), sendo mais tarde parcialmente isoladas pela criação do Alto de Fortaleza devido a uma mudança na orientação de esforços transtensionais na margem equatorial de NW-SE para E-W durante o Barremiano

Superior que o soerguiera (Françolin & Szatmari, 1987; Matos, 1999). A leste deste alto, a Bacia Potiguar se estende por cerca 48.000 km², 45% dos quais emersos (*onshore*) (Pessoa Neto et al., 2007), enquanto a Bacia do Ceará, a oeste, ocupa aproximadamente 34.000 km², tidos como totalmente imersos (*offshore*) (Condé et al., 2007).

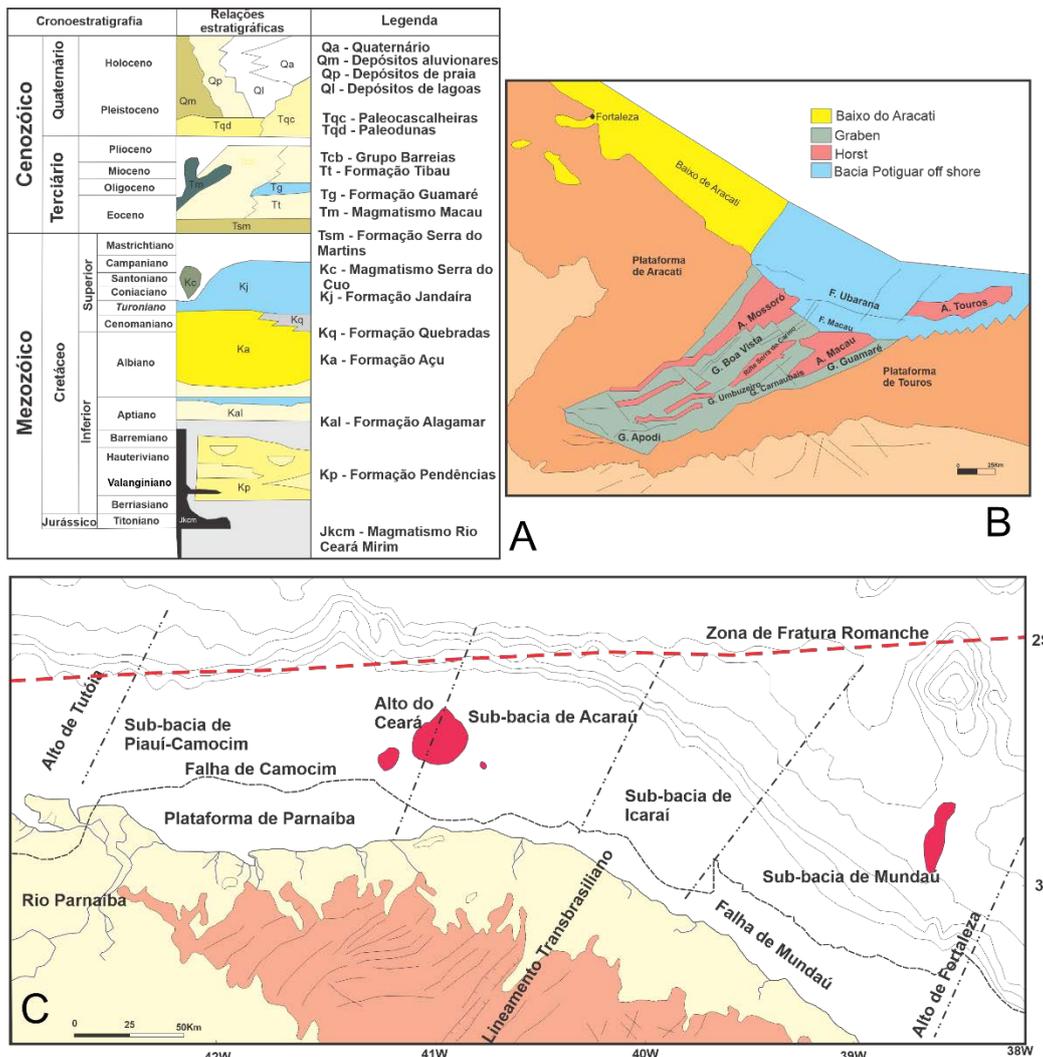


Figura 2 – A) Arcabouço estrutural da Bacia Potiguar segundo Cremonini et. al. (1996); B) Localização, limites e arcabouço estrutural da bacia do Ceará e suas 4 sub-bacias (Piauí-Camocim, Acaraú, Icarai e Mundaú).

A geometria da Bacia Potiguar envolve um típico ramo de rifte abortado (aulacógeno) de orientação NE-SW na porção continental (Figura 2b), composto de vários *horsts* e grábens formados e remodelados pelos mesmos esforços transtensionais mencionados acima (Cremonini et al., 1996; Matos, 1999).

Na porção oceânica, sua geometria é a de um arco côncavo ao Oceano Atlântico a norte, com centro no prolongamento de sua própria extensão emersa. Além de seu limite com a Bacia do Ceará a oeste, seu limite a leste com a Bacia de Pernambuco-Paraíba se dá pelo Alto de Touros (Pessoa Neto et al., 2007). A Bacia do Ceará, por sua vez, possui uma geometria em arco convexo ao oceano, com centro no prolongamento oceânico do Lineamento Sobral-Pedro II (Costa et al., 1990).

A interação tectônica deste lineamento continental e de outros com as zonas de fraturas oceânicas e seu vulcanismo associado, especialmente na alternância entre regimes transpressivos e

transtrativos, gerou feições estruturais proeminentes que justificaram a subdivisão da Bacia do Ceará em quatro Sub-Bacias, de leste para oeste: Mundaú, Icarai, Acaraú e Piauí-Camocim (Costa et al., 1990), como mostra a figura 2c.

Os principais traços estruturais que limitam as sub-bacias são orientados NE-SW e NW-SE, com altos e baixos estruturais dispostos *en échelon*, associando-se à reativação de estruturas transcorrentes dextrais do embasamento ao longo da margem transformante com limite norte na Zona de Fratura Romanche (Morais Neto et al., 2003).

Trabalhos clássicos organizavam a estratigrafia das bacias Potiguar e do Ceará em três megassequências principais, mais recentemente revisadas como supersequências (Figura 3), além do acervo de microfósseis (Figura 4), segundo Condé et al. (2007) e Pessoa Neto et al. (2007):

I – Supersequência Rifte: iniciada de modo geral durante o Neojurássico da Província Borborema, seu registro mais antigo na Bacia Potiguar remete ao Berriasiano, e na do Ceará, ao

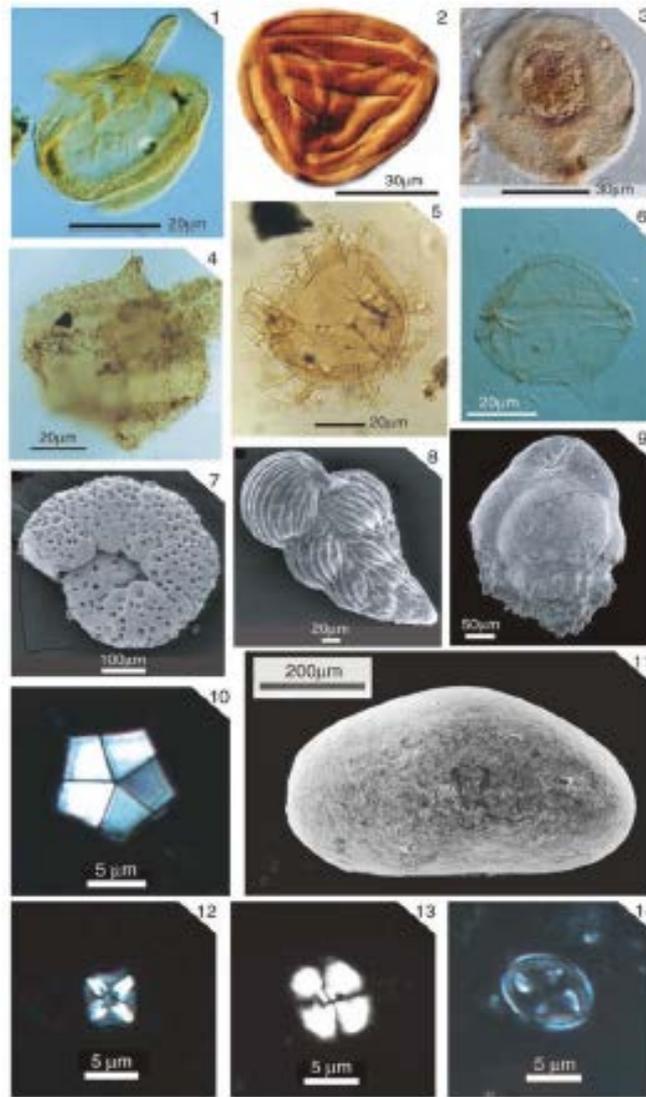


Figura 4 – Microfósseis da bacia do Ceará, sub-bacia de Mundaú: 1- *Galeacornea clavis* (pólen; Cenomaniano); 2- *Cicatricosisporites* sp. (esporo; andar Alagoas); 3- *Transitoripollis crispolensis* (pólen; Aptiano inferior); 4- *Pseudoceratium anaphrissum* (dinoflagelado; Albiano inferior/médio); 5- *Nematospaeropsis "grandis"* (dinoflagelado; Santoniano-Campaniano); 6- *Subtilisphaera senegalensis* (Ecozona *Subtilisphaera* spp.; Aptiano superior); 7- *Gavelinella* sp. (foraminífero bentônico; Campaniano- Maastrichtiano); 8- *Pseudoguembelina costulata* (foraminífero planctônico; Campaniano-Maastrichtiano); 9- *Bulimina* sp. (foraminífero bentônico; Campaniano-Maastrichtiano); 10- *Braarudosphaera bigelowii* (nanofóssil; Aptiano-Quaternário); 11- *Candona* sp. (Ostracode 207, ostracode não-marinho; andar Alagoas); 12- *Micula* sp. (nanofóssil; Coniaciano superior-Maastrichtiano); 13- *Watznaueria barnesae* (nanofóssil; Jurássico médio-Maastrichtiano); 14- *Gartnerago segmentatum* (nanofóssil; enomaniano-Maastrichtiano).

Aptiano Inferior (Condé et al., 2007; Pessoa Neto et al., 2007). No entanto, de acordo com Morais Neto et al. (2003), uma seção mais antiga (Berriasiano?) pode existir nas porções mais profundas, não amostradas da Bacia do Ceará.

Esta supersequência caracteriza-se por uma subsidência mecânica com componente transcorrente e sedimentação flúvio-eólica, deltaica-lacustre rasa e lacustre profunda (Costa et al., 1990).

Em particular, na Bacia Potiguar, essa supersequência é dividida em duas fases (Rifte I e II), caracterizadas pela mesma mudança de esforços tectônicos que criou o Alto de Fortaleza (Matos, 1999). Na Bacia do Ceará, a Supersequência Rifte é representada pela Formação Mundaú, e na Bacia

Potiguar, pelas formações Pendência e Pescada.

II – Supersequência Pós-Rifte: posicionada no intervalo Aptiano Superior-Albiano, é caracterizada por uma subsidência térmica após o afinamento litosférico da supersequência anterior.

Sua sedimentação representa a passagem gradual de sistemas continentais para marinhos sob relativa quiescência tectônica e condições transgressivas, dominada por depósitos flúvio-lacustres (inclusive evaporíticos, na Bacia Potiguar) e deltaicos das formações Alagamar (Potiguar) e Paracuru (Ceará) (Condé et al., 2007; Pessoa Neto et al., 2007). No entanto, ocorrem ainda indícios localizados de tectonismo mais forte na forma de depósitos conglomeráticos

de leques aluviais e fandeltas. Esta supersequência favoreceu ainda a pediplanização da topografia do rift continental na porção emersa da Bacia Potiguar (Bertani et al., 1990).

III – Supersequência Drifte: envolve um período de subsidência termal e quiescência tectônica mais francas nas bacias, com toda a sedimentação marinha depositada a partir do Albiano Inferior até os dias atuais em sucessões predominantemente regressivas.

Esta fase é caracterizada, num primeiro momento (Albiano-Campaniano) pelo desenvolvimento de extensos sistemas plataforma-talude-bacia, na Bacia Potiguar, e por sedimentação marinha profunda mais estreita (talude-bacia), na Bacia do Ceará. Assim, na Bacia Potiguar, a plataforma inicia-se siliciclástica no domínio proximal (incluindo depósitos continentais, fluviais) com a Formação Açu, seguida de uma pequena porção marinha rasa e carbonática representada pela Formação Ponta do Mel e então folhelhos marinhos profundos (distais) da Formação Quebradas; a partir do Turoniano, a porção proximal é dominada por uma plataforma francamente carbonática formada por calciarenitos e calcilitos bioclásticos e biocons-truções de planície de marés, a Formação Jandaíra (Pessoa Neto et al., 2007; Tibana et al., 2015).

Muito mais simples, o intervalo Albiano-Campaniano da Bacia do Ceará envolve unicamente lamitos marinhos profundos da Formação Ubarana, raramente interrompidos por lentes de calcários e/ou arenitos, estes últimos principalmente nas regiões dos cânions (turbiditos?) (Condé et al., 2007).

Bacia do Ceará

A cidade de Fortaleza (CE), até o presente momento não possuía registro formal de calcários cretáceos na porção *onshore* descritos na literatura. O fato de serem aqui descritos pela primeira vez em seu substrato ressalta ainda mais essa relevância devido à carência de afloramentos, seja por sua extensa cobertura eólica do Quaternário ou pela intensa urbanização no município, de modo que a maneira mais eficiente para se obter informações geológicas consistentes é a partir de dados de sondagens rotativas associadas à métodos geofísicos, ainda que muitas vezes verticalmente limitados. Com base na descrição dos furos de sondagens do Metrofor e sondagens hidrogeológicas, localizados princi-

Este também é o nome de uma das unidades da Bacia Potiguar com as mesmas características litológicas e paleogeográficas, com a diferença que sua implantação se deu somente após a substituição da ampla plataforma carbonática por uma plataforma mista, terrígena-carbonática, durante o Campaniano Superior (Pessoa Neto et al., 2007).

Esta plataforma mista envolve arenitos de leques costeiros da Formação Tibau no lado continental, passando a calciarenitos de plataforma e talude da Formação Guamaré. Unidades com características semelhantes ocorrem na Bacia do Ceará somente a partir do Eoceno Inferior (Morais Neto et al., 2003), o que levou Beltrami et al. (1994) a estender as mesmas designações da Bacia Potiguar.

Por fim, um expressivo magmatismo se intercala às unidades mais profundas entre o Eoceno e o Mioceno Inferior, sendo mais extenso e espesso na Bacia Potiguar (Macau) mas também importante na Bacia do Ceará (Messejana), com litologias de basaltos e outros termos mais alcalinos.

Manifestações vulcânicas desse magmatismo se dão principalmente em águas profundas na forma de edifícios submersos e platôs, geralmente alinhados às Zonas de Fraturas conectadas à dorsal meso-oceânica da margem equatorial, mas incluem também algumas ocorrências emersas na região do Alto de Fortaleza (Pessoa Neto, 1999; Mizusaki et al., 2001).

A origem desse magmatismo tem sido atribuída à passagem da margem equatorial sobre o *hot spot* de Fernando de Noronha ou à colocação de magmas em zonas de alívio a partir de ajustes tectônicos intraplaca (Pessoa Neto et al., 2007).

RESULTADOS

palmente no Bairro Aldeota (Figura 5a e 5b), foi construído um sumário stratigráfico do substrato sob a área urbana de Fortaleza (Tabela 2), levando-se em conta que as altitudes (cotas) dentro da área de estudo que variam de 22 e 33 metros em relação ao nível do mar para o topo dos furos.

Calcário

O calcário amostrado e descrito ocorre continuamente a partir dos 34 m de profundidade nos furos SR-103+020 e SM-13 (nenhum dos furos atinge mais do que 40 m). Seu contato superior é com siltitos interpretados como pertencentes à Formação Barreiras.

Este litotipo é maciço, com variação gradacional centimétrica para textura granular, granu-

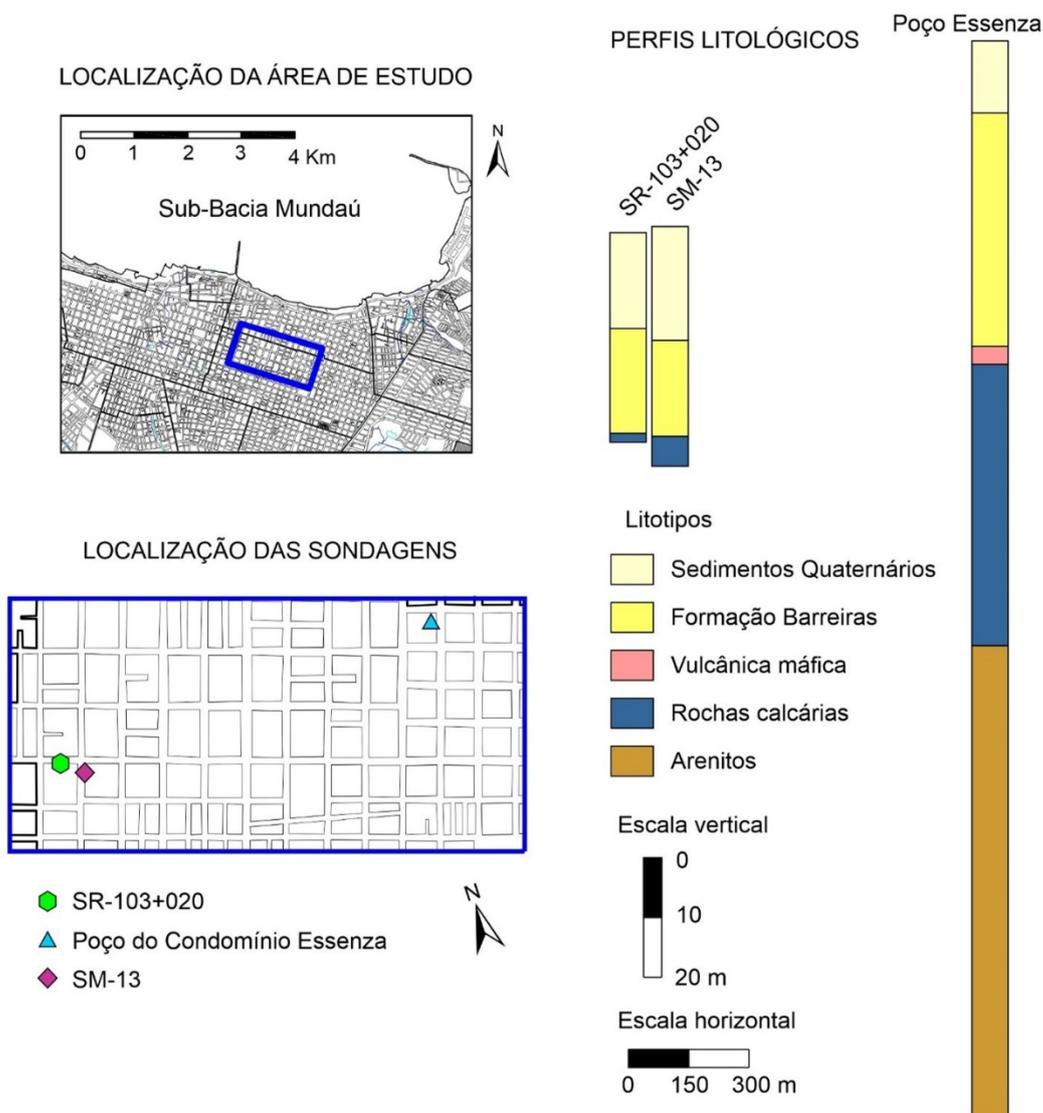


Figura 5 – A) Localização da área em estudo e B) Perfil das sondagens e do poço na área urbana de Fortaleza.

Tabela 2 - Sumário estratigráfico do substrato sob a área urbana de Fortaleza.

Unidade	Litotipo	Material
Sedimentação Quaternária	Sedimentação recente	Areia quartzítica, fina a média, com silte, bege amarronzada.
	Paleoduna	Areia quartzítica, fina a média, branca a amarelada
Formação Barreiras	Laterita	Fragmentos de quartzo com película de óxidos e hidróxidos, areia fina, argila e silte, cor vermelha a laranja com porções ocre.
	Siltito arenoso	Silte, com areia fina a média e alguma argila, quartzo até tamanho grânulo. Predominam cores claras tais como bege, branco, amarelo acinzentado ou cinza esverdeado e níveis amarronzados. Parcialmente litificado.
	Arenito	Arenito de granulometria que varia de areia fina a grossa, matriz silte e areia muito fina, por vezes com níveis conglomeráticos. Coloração variada.
Vulcanismo Messejana	Basanita	Rocha afanítica de cor preta a cinza escuro, maciça, raramente com amídalas preenchidas, bastante densa e magnética.
	Brecha vulcanoclástica	Rocha intensamente saprolitizada, é granular, com argila na cor ocre, sem ou com raro quartzo, essencialmente argilizadas, com fragmentos de outras rochas de bordas irregulares, similar a uma brecha.
Formação Jandaíra	Calcários	Wackestone maciço, com variação gradacional centimétrica para textura granular, coloração cinza e níveis de lama carbonática pulverulenta

lação entre 0,5 e 1 mm, de coloração cinza e portador de bioclastos (Figura 6a) visíveis a olho nu, especialmente conchas de bivalves (comprimento no maior eixo de 0,5 a 1 cm). Localmente ocorrem níveis centimétricos de lama carbonática

preta e pulverulenta (Figura 6b). Microfraturas fechadas ocorrem preenchidas ora por material branco, ora por material alaranjado. Rocha aloquímica, de calcilito a calciarenito (Folk, 1972) ou *wackestone* (Dunham, 1962).

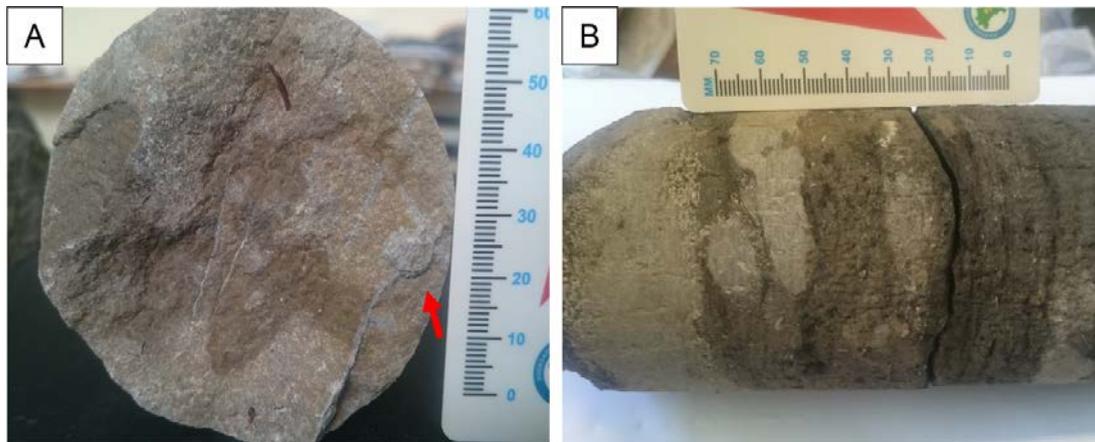


Figura 6 – Calcário encontrado nos testemunhos de sondagem. Notas: A) Calcário com bioclastos do furo SR-103+020 (UTM 554.316,34 E; 9.587.452,94 S) a 34,10 metros de profundidade; B) Intercalação de calcário maciço e lama carbonática pulverulenta aos 38,70 metros de profundidade do furo SM-13 (UTM 554.346,65 E; 9.587.440,99 S).

Dados de outros seis furos, não analisados neste estudo, foram coletados junto ao Siagas/CPRM onde calcários são encontrados em poços tubulares em diferentes profundidades (Figuras 7 e 8) na zona urbana de Fortaleza. Nos poços do banco Siagas não houve amostragem, mas alguns deles encontram-se próximos dos furos de sondagens do Metrofor, de onde foram

obtidas as amostras para a petrografia do presente estudo. Preliminarmente, as descrições dos perfis dos poços tubulares sugerem uma associação do calcário amostrado nesta pesquisa com aquele aflorante na borda oeste da Bacia Potiguar ou calcários não aflorantes associados a unidades offshore da Sub-Bacia Mundaú (Bacia do Ceará).

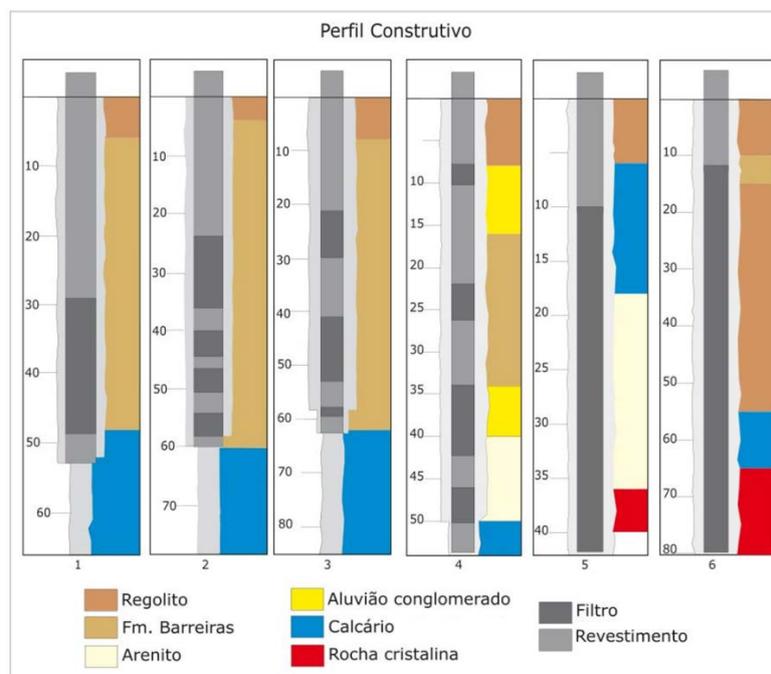


Figura 7 – Perfil construtivo de poços na região de Fortaleza. Poço 1 - PT 01/01 2006 Poço tubular na Cel. Linhares 1111, Edifício Varandas (UTM 9586777/556107), 50m de profundidade. Calcáreo. Poço 2- PT 01/37 2007 Av. Don Luís Shopping Varandas (UTM 9587187/556416), 60m de profundidade. Calcáreo. Poço 3 – PT 01/24 2007 Rua Barbosa de Freitas 720 (UTM 9587355/555928), 62m de profundidade Arenito calcífero. Poço 4 - PT 01/47 2006 Rua Barbosa de Freitas 112 (UTM 9587880/556117), 50m de profundidade. Calcáreo. Poço 5 – FOR 0765 – 1973, Rua Frei Mansueto 151 (UTM 9588240/556700), 18 até 36m profundidade. Calcáreo. Poço 6 – 2300004622 Av. Senador Virgílio Távora 1000, (UTM 9587140/556280) 55m de profundidade o Calcáreo.

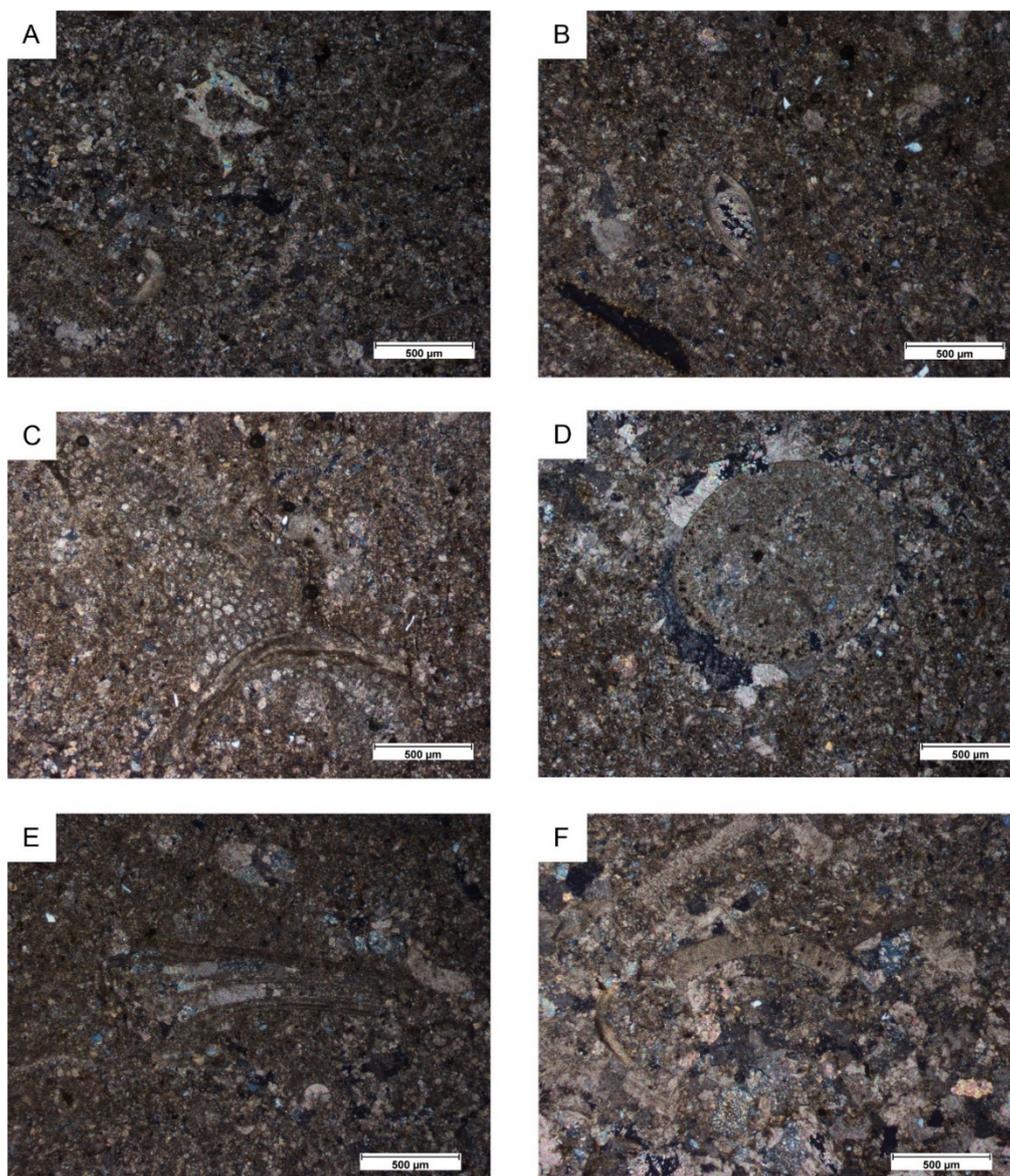


Figura 8 – A) Bioclastos geralmente substituídos por calcita espática/pseudoesparito (foraminífero uniserial na porção central inferior, planktic foraminíferos e calcispheres. Há também conchas substituídas por micrito. Matriz de calcita espática. B) Bivalve fechado, carapaça micrítica e interior parcialmente preenchido por pseudoesparito, lado esquerdo da carapaça é revestido por esparito. Intraclastos angulosos de quartzo (entre 62 e 100 μm), 1-2% de volume. Bioclastos de foraminíferos. C) Foraminíferos biserial e uniserial, calcispheres, intraclastos angulosos de quartzo (<62 até 100 μm). Porosidade bastante evidente na porção superior da fotomicrografia. D) *Terquemella* revestida por calcita espática, conchas substituídas por micrito e calcispheres. Matriz de calcita espática. E) Fragmento multicamada de bivalve no centro. Matriz predominantemente esparítica. F) Alga no centro da imagem, foraminíferos e raros intraclastos. Matriz de calcita espática com alguma porosidade. Em todas as imagens nicóis paralelos e aumento de 5x.

A profundidade do topo do calcário nos poços variou predominantemente entre 48 m a 65 m. Apenas no poço FOR 0765 o calcário encontrou-se entre 7 e 18 m (espessura de 11m), sendo esse um possível indício de que falhamentos afetaram a área com um rejeito vertical da ordem de 30 m a 40 m. No banco de dados do Siagas/CPRM no trecho *onshore* entre a Sub-Bacia Mundaú e a Bacia Potiguar onde mais de 50 poços foram perfurados e instalados, a única descrição formal de calcário remete a um poço situado em Aracati, na localidade de São Chico (UTM 9486578/655839). O calcário neste local foi

detectado numa profundidade de 43 m e está situado na borda oeste da Bacia Potiguar em sua extensão aflorante, sendo assim atribuído a uma de suas unidades carbonáticas do Cretáceo Superior (Formação Jandaíra e/ou Guamaré).

Petrografia e Micropaleontologia **Furo SM-13**

Rocha de composição margosa, com segregação granular por composição alternando em lâminas subparalelas terrígenas e carbonáticas, todas de espessura milimétrica a centimétrica. A transição entre as duas porções, carbonática e terrígena, é mais ou menos abrupta. A matriz é

predominantemente primária (protomatriz), onde as porções recristalizadas são quase sempre carbonato microespático; pouquíssimas porções terrígenas encontram-se recristalizadas com sericita fina (<3 µm) na forma de ortomatriz (<1%), geralmente ao redor de alguns poros ou de grãos discretos, possivelmente instáveis.

O arcabouço é pobremente selecionado, com baixa esfericidade e grãos subarredondados, conferindo textura imatura. Mineralogicamente, a rocha também é imatura devido ao baixo teor de quartzo em relação a outros componentes do arcabouço (<40%). O empacotamento pelo índice de Kahn (1956) é muito baixo (densidade de empacotamento ~18%), atestado também pelas raras situações em que há grãos amassados de mica. A maioria dos contatos é pontual ou flutuante. O cimento, por sua vez, é predominante poro-envolvente, de distribuição isópaca, composto de carbonato geralmente micrítico mas também, eventualmente, microespático.

A porção carbonática é composta por 95% de matriz neomorfizada, 5% de arcabouço e menos de 1% de cimento. Nela, os grãos do arcabouço encontram-se igualmente divididos entre bioclastos e terrígenos (50%), sendo identificado no Raio-X: calcita - 72,3%, quartzo - 20% e óxido hidratado de manganês sódico (Bimessita) 7,7%. A matriz neomorfizada classifica-se como pseudomatriz espática (~30 µm). Em meio à matriz ocorrem possíveis restos de matéria orgânica amorfa intercrystalina de cor marrom escura a negra.

A matéria orgânica se distribui continuamente por até mais de uma centena de micrômetros e em espessuras de menos de 30 µm. Porções aglomeradas em meio à matéria orgânica apresentam ligeira reflectância dourada sob luz refletida, na forma de possíveis sulfetos. Os aglomerados possuem, na maioria, diâmetro <30 µm, podendo ou não se orientar segundo o acamamento.

Os bioclastos na porção carbonática ocorrem com diâmetro médio em torno de 40 µm, sendo a maioria daqueles distintos formada por foraminíferos globulares isolados ou alongados, geralmente neomorfizados, de tamanho (pseudo) microespático a (pseudo) espático, tendo obliterada grande parte de suas estruturas orgânicas internas.

Alguns bioclastos incluem fragmentos alongados, também com textura interna pobremente preservada. Entre aqueles menos numerosos, pobremente identificáveis, há possíveis fragmentos

de algas e material esquelético indistinto.

A maioria dos bioclastos ocorre com as bordas apenas ligeiramente micritizadas (envelope micrítico). Eventualmente ocorrem grãos pseudoespáticos, possivelmente bioclastos neomorfizados, isolados, de formato irregular e tamanho maior que a média dos bioclastos (centenas de micrômetros).

No grupo terrígeno, grãos de quartzo, microclina e muscovita isolados de tamanho entre silte grosso e areia muito fina (~60 µm) também aparecem. Ocorrem ainda grãos esparsos de formato irregular e quase equidimensionais de fosfato de baixa cristalinidade (colofânico), possivelmente associados à matéria orgânica esparsa. Tais grãos possuem cor alaranjada clara, diâmetro médio de 40 µm (eventualmente 60 µm) e cores de interferência de 1ª ordem. Também isolados, ocorrem grãos micritizados com diâmetro médio em torno de 60 µm, de formas irregulares entre equidimensional e alongada e cor natural marrom acinzentada, possivelmente como produto de micritização de componentes maiores bioclasticos.

Quanto à porção terrígena da rocha, seus componentes primários seguem o acamamento subparalelo geral da rocha, na maioria dos casos. Sua proporção é composta de 20% de arcabouço (>30 µm), 75% de matriz e 5% de cimento. O tamanho dos grãos do arcabouço varia entre 40 e 70 µm (silte grosso a areia muito fina). Nele, 50% dos grãos são de composição carbonática e o restante terrígena.

Entre os terrígenos, em ordem de abundância, ocorre quartzo, muscovita e traços de outros minerais (<1%: feldspato, biotita, estauroilita e zircão). Entre os carbonáticos predominam bioclastos (incluindo ostracodes de diâmetro ~85 µm) e fragmentos diversos da matriz recristalizada, semelhante ao da porção carbonática, incluindo material espático grosso.

O diâmetro dos grãos carbonáticos chega a ser dez vezes maior que o de terrígenos. Por fim, na porção terrígena, também ocorrem acumulações de possível matéria orgânica com sulfeto (à semelhança da porção carbonática) alinhadas com o acamamento.

Por fim, a rocha como um todo classifica-se como uma marga (35-65% na mistura entre carbonatos e terrígenos, Pettijohn, 1975). A figura 8 apresenta as principais estruturas microscópicas (mineralógicas e micropaleontológicas) identificadas na amostra SM-13.

Furo SR-103+020

Rocha de composição predominantemente carbonática (aloquímica), composta por 75% de matriz neomorfizada, 25% de arcabouço e <1% de cimento. A matriz é predominantemente primária, composta por carbonato pseudo-micro-espático (5-30µm) e pseudo-espático (>30µm).

O arcabouço é constituído principalmente por bioclastos, mas também por componentes terrígenos. Os bioclastos possuem diâmetro bastante variado, desde 70 até mais de 2500 µm.

Os fragmentos (grãos) maiores estão geralmente substituídos por calcita espática, sendo que em suas bordas o carbonato é, por vezes, micrito. A maioria dos bioclastos ocorre com as bordas ligeiramente micritizadas (envelope micrítico) e raramente estão preenchidos por calcedônia.

É comum ocorrerem grãos pseudo-espáticos (bioclastos neomorfizados). Rocha classificada

como calcilito biomicrítico (Folk, 1972) ou *wackestone* (Dunham, 1962).

Os grãos pseudo-espáticos concentram-se na região central da lâmina, onde possuem tamanho de vários milhares de micrômetros e, apesar do contato pontual entre eles, não parece haver sinais de compressão/deformação.

Há ainda fragmentos bioclásticos em processo de substituição micrítica (semelhantes a “sombras” ou “grãos fantasmas”). Entre os bioclastos identificou-se algas, foraminíferos e material esquelético indistinto (prováveis fragmentos de ossos e espinhas de peixes).

Os componentes terrígenos do arcabouço são, em sua maioria, grãos de quartzo que variam entre 40 e 120 µm, mas ocorrem ainda traços de zircão e feldspato. Na figura 9 encontram-se as principais feições mineralógicas e micropaleontológicas da amostra SR-103+020.

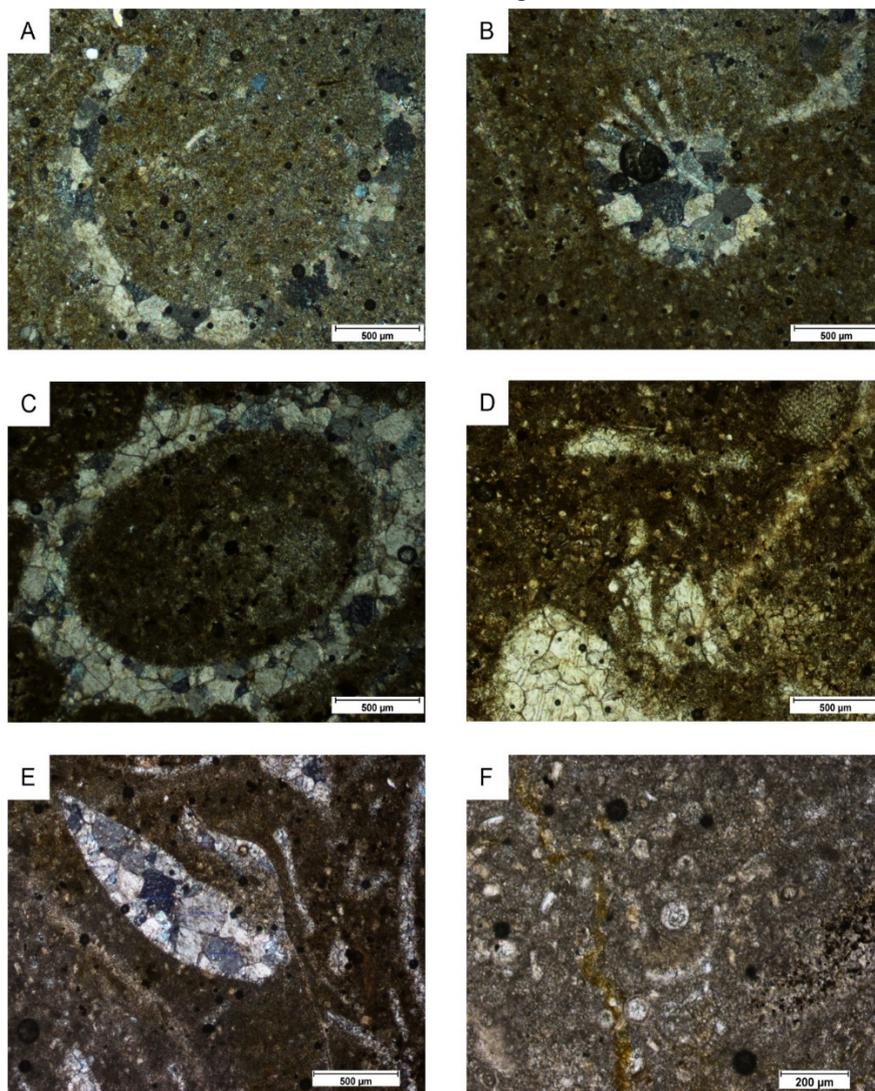


Figura 9 – A) Fragmento de concha, pseudoesparito, bastante parecido com a foto 14. Intraclastos angulosos a subangulosos de quartzo; B) Matriz micrítica, com oóides e pisóides; C) Charophytes substituído por calcita espática (> 1mm de diâmetro) com uma grande cavidade central, mas ao contrário do que está no Sholle 2003 não ocorrem vários; D) Diatomácea no quadrante NE, nicóis paralelos; E) Matriz de calcita micrítica, com bivalve ou ostracode substituído por calcita espática; F) Fragmento de concha, pseudoesparito, intraclastos angulosos de quartzo e foraminífero (quadrante SE).

Furo – Condomínio Essenza

No poço do Condomínio Essenza, perfurado no Bairro Meireles, com 180 m de profundidade, foi identificada uma camada de rocha carbonática com nanofósseis, de aproximadamente 47 metros de espessura, entre arenitos na base e, no topo, sedimentos dunares, rochas da Formação Barreiras e rocha máfica vulcânica (Vulcanismo Messejana). No intervalo em questão (55 a 101 m), foi mencionada a ocorrência de “calcarenito cinza, com níveis mais esbranquiçados, geralmente maciço, com fragmentos biológicos” (GEOANÁLISE, 2017).

Nanofósseis

Todas as amostras mostraram-se extremamente pobres quanto à abundância em cinco campos de visão (AB5CV), apresentando valores de 0 (zero) ou 1. As amostras com nanofósseis apresentaram RE (Riqueza Específica) que oscilou entre 6 e 29, o que lhes conferem uma RE baixa. Amostras com RE alta apresentam, geralmente, mais de 40 táxons reconhecidos por amostra.

Em face da escassez de nanofósseis, preferiu-se identificar associações de biozonas, com o respectivo intervalo cronoestratigráfico associado. Em associações muito pobres nem sempre é imediato a caracterização e reconhecimento de uma única unidade bioestratigráfica.

Adotou-se como referência de arcabouço bioestratigráfico aquele de Sissingh (1977), revisado por Perch-Nielsen (1985), que pode ser visto na Figura 10. A atribuição de intervalos cronoestratigráficos segue as orientações do Catálogo NANNOTAX, além do conhecimento prévio que se tem das bacias marginais brasileiras. Diante da massa de dados adquiridos, foi confeccionada a tabela de distribuição dos táxons por amostra, congregando todas as informações disponíveis (Tabela 3). Nas descrições das amostras, o número que aparece ao lado de cada táxon se refere à quantidade de exemplares reconhecidos durante investigação da amostra.

Assim, por exemplo, para a espécie *Arkhangelskiella maastrichtiensis*, na amostra SR-103+020, tem-se o número 3, indicando que foi esta a quantidade de exemplares observados em duas transversas. Para *Discorhabdus hannibalis*, tem-se 1. Isto significa que apenas um exemplar de *D. hannibalis* foi observado. Os táxons assinalados em negrito são aqueles considerados importantes para a identificação da associação de biozonas e a consequente atribuição cronoestratigráfica.

Na amostra SR-103+020 a associação de biozonas é CC23/CC24 (Figura 10), o intervalo

cronoestratigráfico associado é o Campaniano/Maastrichtiano, enquanto a caracterização da nanoflora baseada na estimativa da abundância dos cinco campos de visão (AB5CV) é igual a 1 e a preservação é regular/ruim (R/r), enquanto a riqueza específica (RE) é de 24. As espécies observadas e sua abundância podem ser verificadas na tabela 3.

Foram analisadas 6 amostras no Poço do Condomínio Essenza representando diferentes profundidades (54-57m, 57-60m, 63-66m, 78-80m, 84-86m, 93-95m).

Nas amostras 54-57m, 57-60m e 93-95m nada foi observado devido a não recuperação de nanofósseis. Já nas amostras 63-66m, 78-80m, 84-86m a associação de biozonas é CC13/CC14, CC10b/CC14 e CC10a? ou mais antigo (Figura 10), com intervalos cronoestratigráfico iguais a Coniaciano, Turoniano/Coniaciano e Cenomaniano ou mais antigo, respectivamente.

Elas apresentaram preservação R/r, enquanto nas amostras 63-66m e 78-80m o índice AB5CV é igual a 1, na amostra 84 – 86m ele é igual a 0, enquanto a Riqueza Específica foi de 16, 29 e 6, respectivamente.

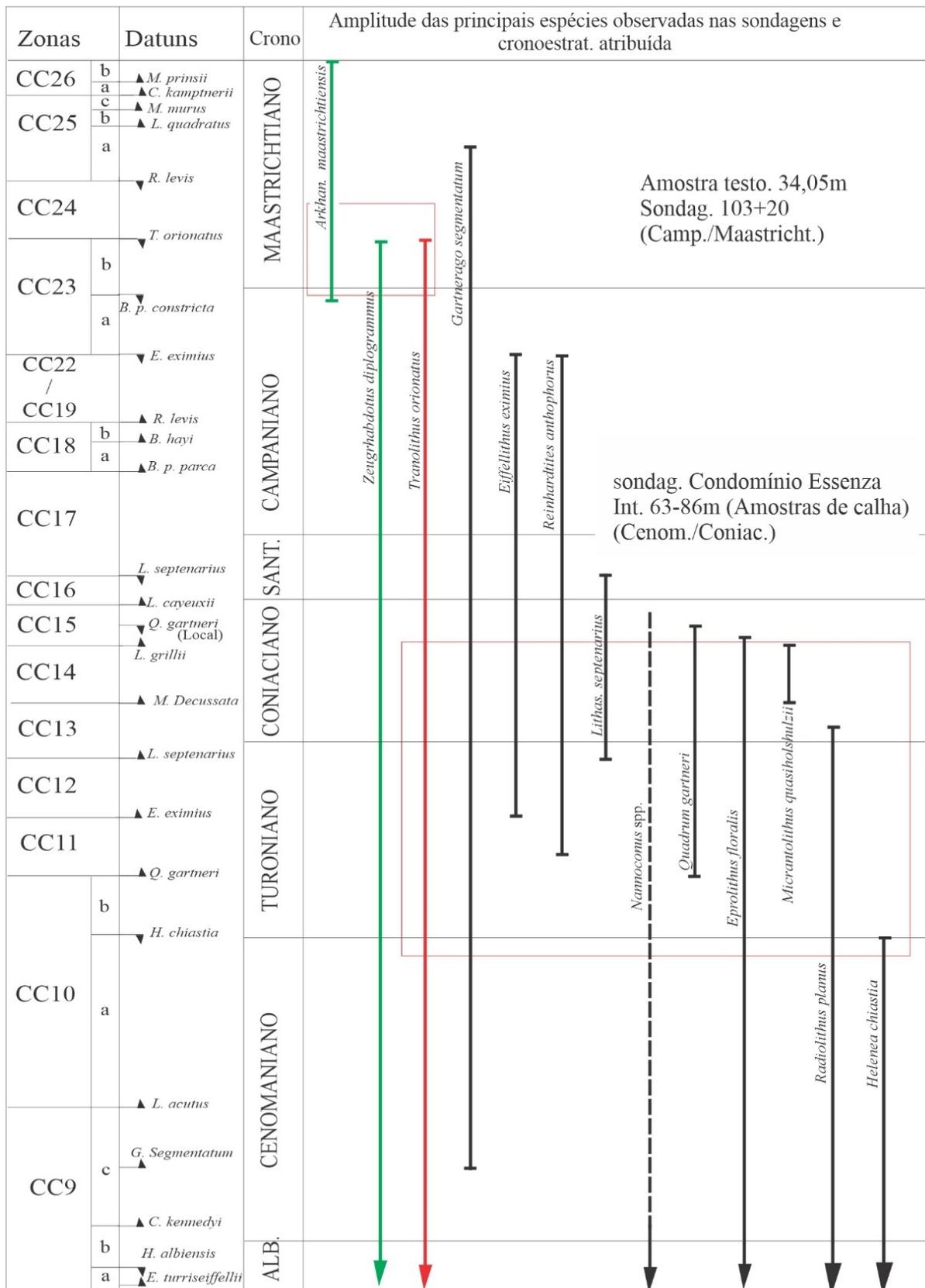
As amostras investigadas foram classificadas como arenitos com cimento carbonático e calciarenitos, desfavoráveis para ocorrência e preservação dos nanofósseis.

Estas litologias podem explicar os baixos valores para os índices AB5CV e RE observados. Ajuda a explicar, também, a preservação Regular/ruim. Foram identificados 49 táxons, o que tornou possível algumas estimativas biocronoestratigráficas. Para a amostra SR-103+020, a observação conjunta das espécies *Arkhangelskiella maastrichtiensis* (Figura 11 - 11 e 12), *Tranolithus orionatus* (Figura 11 - 4a-b) e *Zeugrhabdotus diplogrammus* (Figura 11 - 5a-b) permite estimar a associação biozonal CC23/CC24, indicativa de parte superior do Campaniano/parte inferior do Maastrichtiano (Figura 10). Deve ser observado que a última ocorrência estratigráfica de *T. orionatus* caracteriza o topo da unidade CC23.

Nas descrições das associações da sondagem Condomínio Essenza também foram inferidas associações biozonais para cada amostra. Assim, prefere-se interpretar de modo mais abrangente que o intervalo 63-86 m, portador de nanofósseis (Tabela 3), pertence ao Cenomaniano/Coniaciano, que engloba a associação biozonal CC10a-CC14 (Tabela 3 e Figura 10). Deve ser notado na figura que nem todas as espécies registradas possuem co-ocorrência cronoestratigráfica. .

Tabela 3 - Distribuição estratigráfica dos nanofósseis nas amostras da sondagem SR-103+020 e do Poço Condomínio Essenza.

Sondagem/Poço	SR-103+020	Condomínio Essenza							
		54-57	57-60	63-66	78-80	84-86	93-95		
Amostra / Profundidade (M)	34,05								
Idade	Maas/Camp	?		Cenom./Coniac			?		
Biozona	CC23/CC24	?		CC10A/CC14			?		
Riqueza Específica (Re)	21			19	29	6			
Preservação	R/r			R/r	R/r	R/r			
Ab5cv	1			1	1	0			
<i>Ahmuelerella regularis</i>	1	SEM RECUPERAÇÃO DE NANOFÓSSEIS	SEM RECUPERAÇÃO DE NANOFÓSSEIS				SEM RECUPERAÇÃO DE NANOFÓSSEIS		
<i>Arkhangelskiella maastrichtiensis</i>	3								
<i>Cribrosphaerella ehrenbergii</i>	1								
<i>Cylidralithus sp</i>	1					1			
<i>Discorhabdus hannibalis</i>	1								
<i>Eiffelithus spp.</i>	2					2		1	
<i>Helicolithus trabeculatus</i>	1					1		1	
<i>Loxolithus armilla</i>	1								
<i>Microrhabdulus decoratus</i>	1								
<i>Micula swastica</i>	1								
<i>Placozygus fibuliformis</i>	1								
<i>Prediscosphaera spp.</i>	1							3	1
<i>Retecapsa crenulata</i>	2							1	
<i>Rhagodiscus angustus</i>	3							1	
<i>Rhagodiscus splendens</i>	1								
<i>Staurolithites crux</i>	1								
<i>Tetrapodorhabdus decorus</i>	1								
<i>Tranolithus orionatus</i>	1					3		10	2
<i>Tranolithus gabaus</i>	1					1		1	
<i>Watznaueria barnesiae</i>	13					27		39	9
<i>Zeugrhabdotus spp.</i>	2					1		3	
<i>Zeugrhabdotus diplogrammus</i>	1								
<i>Zeugrhabdotus embergeri</i>	1							1	
<i>Eiffelithus gorkae</i>	1							5	
<i>Eiffelithus eximius</i>						2		2	2
<i>Prediscosphaera cretacea</i>						1		1	
<i>Reinhardtites anthophorus</i>						1		1	
<i>Lithastrinus septenarius</i>						1			
<i>Broinsonia enormis</i>						1		1	1
<i>Eprolithus cf. Eprolithus floralis</i>						1			
<i>Micrantholithus quasihoschulzii</i>						1			
<i>Micrantholithus quasihoschulzii</i>						1			
<i>Quadrum gartneri</i>						1			
<i>Radiolithus planus</i>						1			
<i>Radiolithus cf. R. planus</i>					1				
<i>Manivitella pemmatoidea</i>					1				
<i>Staurolithithes spp.</i>					1				
<i>Gartnerago segmentatum</i>					1				
<i>Eprolithus floralis</i>					1				
<i>Biscutum constans</i>					2				
<i>Eiffelithus collis</i>					1				
<i>Watznaueris fossassinera</i>					1				
<i>Thoracosphaera sp.</i>					1				
<i>Corolithion signum</i>					2				
<i>Nannoconus spp. (topo)</i>					2				
<i>Prediscosphaera stoveri</i>					2				
<i>Prediscosphaera spinosa</i>					2				
<i>Helenea chiastia</i>						1			



Limites das unidades bioestratigráficas (zonas e subzonas)

▲ Primeira ocorrência estratigráfica

▼ Última ocorrência estratigráfica

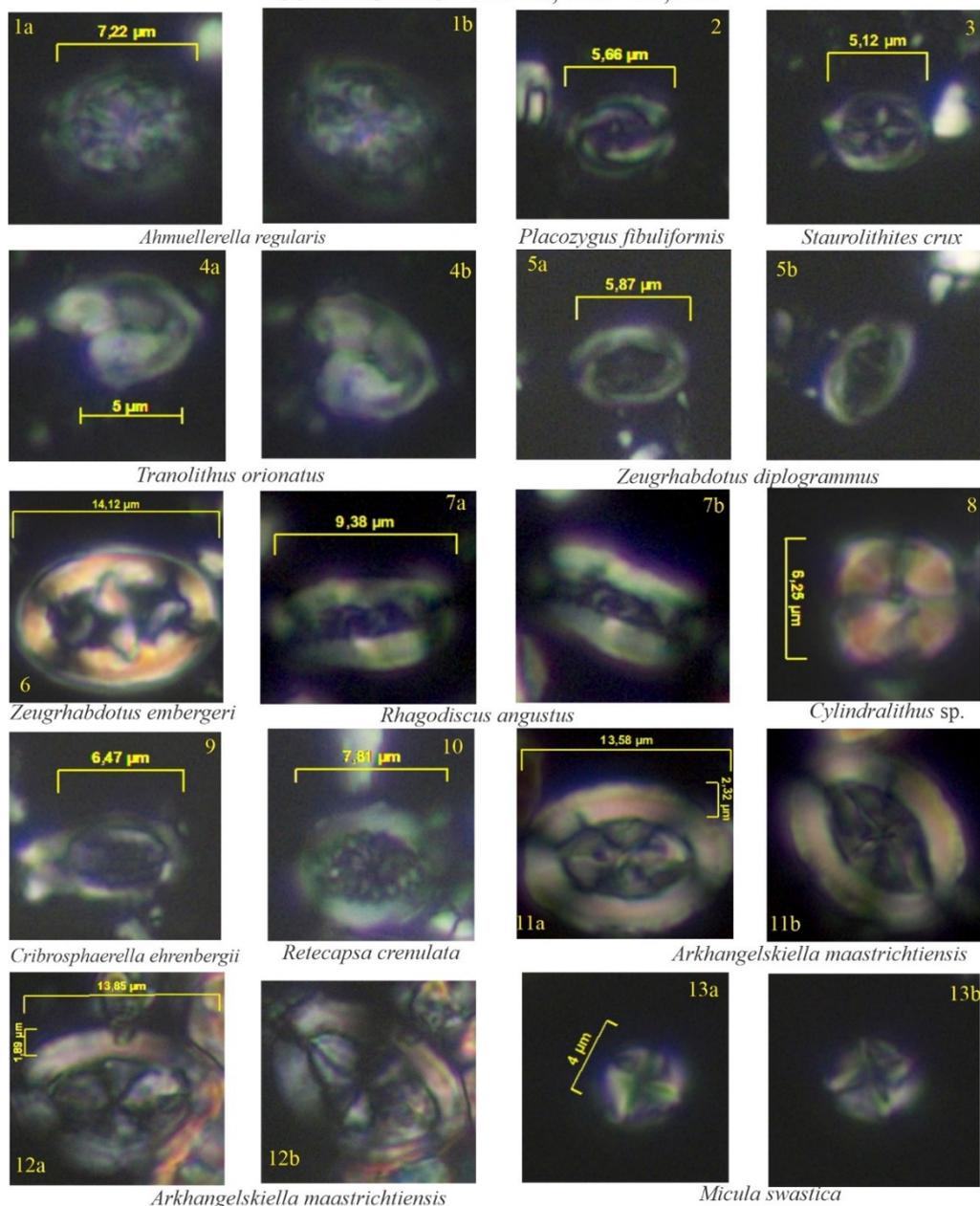
Ocorrência dos táxons nas amostras das sondagens

█ SR-103+020 █ Essenza █ Essenza e SR-103+020

▭ Co-ocorrência dos táxons

Figura 10 – Arcabouço biocronoestratigráfico de Sissingh (1977), revisado por Perch-Nielsen (1985) e atribuição cronoe stratigráfica para as amostras investigadas (sondagens SR-103+020 e Poço Essenza. Mais detalhes a respeito do arcabouço podem ser vistos em Perch-Nielsen (op. cit.).

SONDAGEM SR-103+20, Am - 34,05m



Fotos com fundo em negro - nicóis cruzados
Fotos com fundo em cinza - contraste de fase

Ordem Eiffelithales
Família Chiastozigaceae
Gêneros: *Ahmuellerella*, *Placozygus*,
Staurolithites, *Tranolithus*, *Zeugrhabdotus*
Família Rhagodiscaceae
Gênero: *Rhagodiscus*

Ordem Stephanolithales
Família Stephanolithiscesae
Gênero: *Cylindralithus*

Ordem Podorhabdadales
Família Axopodorhabdadaeae
Gênero: *Cribrosphaerella*
Família Cretarhabdadaeae
Gênero: *Retecapsa*

Ordem Arkhangelskiales
Família Arkhangelskiellaceae
Gênero: *Arkhangelskiella*

Nanolitos
Família Polycyclolithaceae
Gênero: *Micula*

Figura 11 – Espécies fotografadas na amostra 34,05m do testemunho de sondagem SR-103+020.

As principais espécies que justificam esta atribuição cronoestratigráfica são: *Micrantonolithus quasiholshulzii* (am. 63-66 m, Figura 12 - 11), *Lithastrinus septenarius* (am. 63-66 m, Figura 12 - 15), *Quadrum garnteri* (am. 63-66 m, Figura 12 - 16) e *Helenea chiastia* (am. 84-86 m, registrada sem fotografia). Os táxons *Eproolithus floralis* e *E. cf. E. floralis* (ams. 63-66 m e 78-80 m, Figura 12 - 14), *Nannoconus spp.* (am. 78-80 m, Figura 12 - 13) e *Radiolithus planus*, *R. cf. R.*

planus (ams. 63-66 m e 78-80 m, Figura 12 - 17 e 18), na associação, são indicativos do intervalo Cenomaniano/Coniaciano. Finalmente, as espécies *Eiffellithus eximius* (ams. 63-66 m, 78-80 m e 84-86 m, Figura 12 - 4) e *Reinhardtites anthophorus* (ams. 63-66 m e 78-80 m, Figura 12 - 1) corroboram o intervalo Turoniano/Coniaciano. *G. segmentatum* (am. 78-80 m, Figura 12 - 10), de ocorrência mais ampla segundo o catálogo Nannotax, na associação, seria coadju-

vante na indicação do Cenomaniano/ Coniaciano

A espécie *Micrantolithus quasiholshulzii* (am. 63-66 m, Figura 12 - 11) não é citada com frequência na literatura especializada e se acredita que esta seja primeira vez que é observada em estratos marinhos cretáceos do Brasil. Curiosamente, foi observado também, um exemplar de *Micrantolithus holshulzii* (am. 63-66 m, Figura 12 - 12), táxon cuja última ocorrência é assinalada na porção superior do

Aptiano/base do Albiano (catálogo Nannotax). *M. holshulzii* também tem, de modo geral, citação rara na literatura. Talvez a amostra 63-66 m apresente uma evidência da relação filogenética entre as duas entidades, com *M. quasiholshulzii* sendo descendente de *M. holshulzii*. De acordo com o catálogo Nannotax, as duas espécies não possuem superposição cronoestratigráfica. Esta é uma questão acadêmica que merece ser melhor avaliada.

DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Os dados obtidos nos furos de sondagens do Metrofor, análise petrográfica, micropaleontológica e nanofossilífera, bem como a consulta ao Siagas/CPRM, permitiram postular hipóteses da sedimentação carbonática do Cretáceo Superior na área estudada.

Diante da escassez de nanofósseis não se pode inferir com segurança o sistema deposicional com base apenas neles.

Em geral, espécies de *Micrantolithus* têm frequência mais expressiva em ambientes proximais; no entanto, a expressão de *M. holshulzii* e *M. quasiholshulzii* é pequena e pouco significativa para uma inferência segura. Estranha-se, outrossim, a virtual ausência de espécie *Micula decussata* na amostra da sondagem SR-103+020. Este táxon geralmente tem ocorrência expressiva em depósitos marinhos coniacianos ou mais novos da margem continental brasileira. A literatura especializada indica que *M. decussata* é uma das mais resistentes espécies à dissolução da nanoflora marinha neocretácea. Em termos de expressão, *Waznaueria barnesiae* prevalece sobre as demais, o que é esperado em depósitos marinhos tropicais do Cretáceo Superior, especialmente aqueles pelíticos.

Como visto na figura 10, os intervalos temporais marcados pela co-ocorrência de táxons nanofossilíferos se dá em dois momentos do Cretáceo Superior: 1. Turoniano-Coniaciano, no arenito com cimento carbonático da amostra Essenza; 2. Campaniano-Maastrichtiano, no calcário da amostra SR-103+020.

Posicionada defronte ao Alto de Fortaleza, estruturação tida como limite natural entre as bacias Potiguar e do Ceará, a cidade de mesmo nome poderia conter depósitos relacionados a quaisquer das duas bacias.

Para especular sobre a origem das ocorrências dos calcários e margas em Fortaleza, Lima

(2014) mencionou trabalhos que falam de mudanças (de origem tectônica?) na Bacia do Ceará durante o Neógeno (Mizusaki et al., 2001), com implantação de uma plataforma mista (terrígeno-carbonática) devido a uma fase agradacional (Lana et al., 2001), e em consequência de níveis do mar mais elevados (fase transgressiva) (?).

Ambos, porém, remetem a intervalos temporais mais recentes que o detectado pela assembleia nanofossilífera do presente estudo; além disso, fases transgressivas pressupõem deslocamento da linha de costa favorecido por retrogradação, e não por agradação, como mencionado.

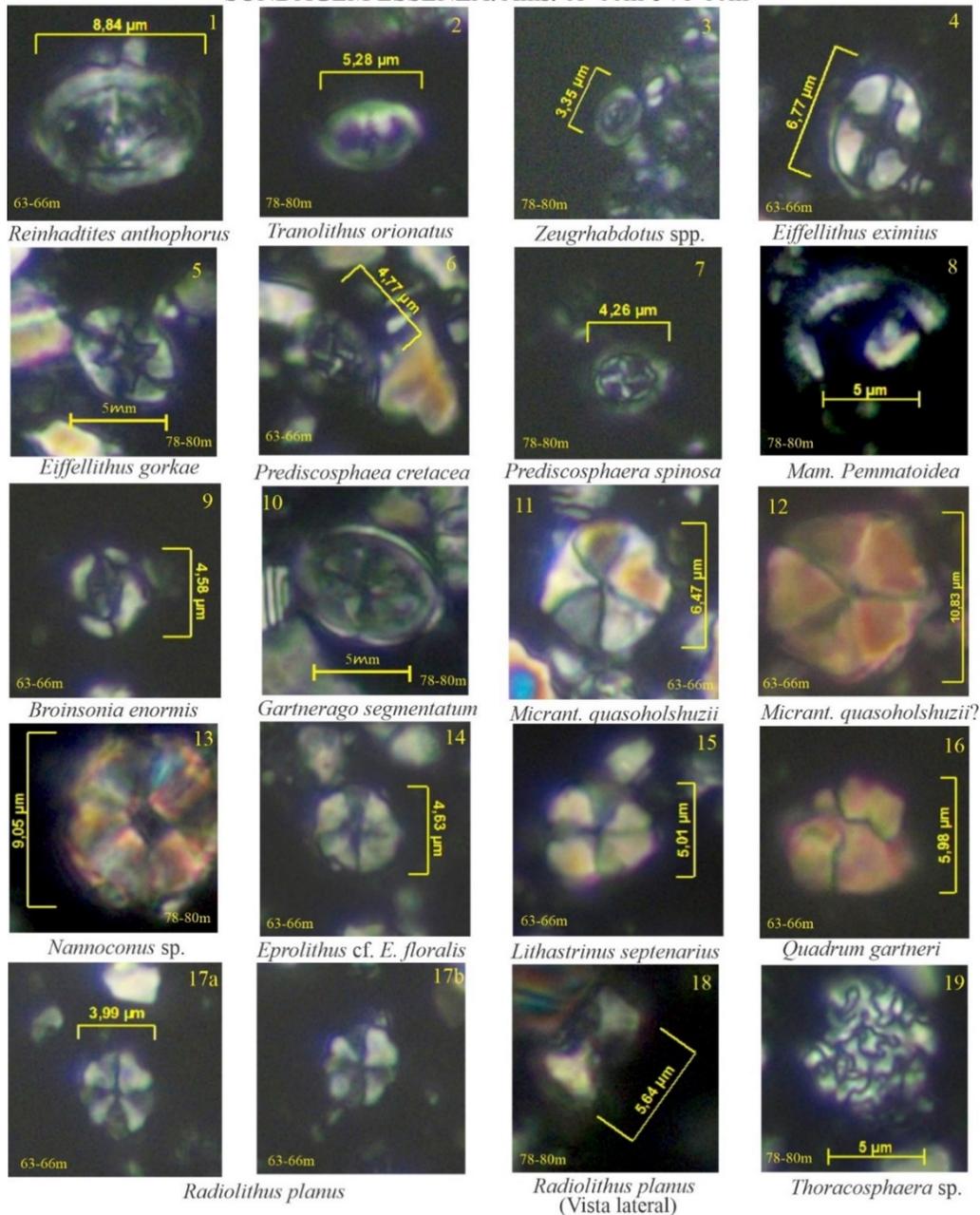
O autor também supôs uma origem marinha com influência de maré para os calcários, sem maiores argumentos para a afirmação; no entanto, o mesmo afirmou a necessidade de maiores estudos genéticos e cronológicos.

A Bacia do Ceará é dominada por depósitos de folhelhos da Formação Ubarana no Cretáceo Superior, apenas pontuado por esparsas ocorrências de arenitos. Ainda mais raros, calcários aparecem apenas entre o Coniaciano-Campaniano (Condé et al., 2007).

Naquela bacia, todo o Cretáceo Superior tem sido interpretado sob condições fortemente transgressivas da fase drifte, em paleogeografia de mar profundo a talude, favorável à preservação observada de folhelhos anóxicos radioativos e com maior continuidade do que na Bacia Potiguar (Pessoa Neto et al., 2007).

Com isso, a Bacia Potiguar, em seu intervalo do Cretáceo Superior, é o contexto mais provável para as ocorrências deste estudo, uma vez que seu desenvolvimento no início da fase drift foi muito diferente, com a implantação de uma sequência flúvio-marinha transgressiva sucedida por uma sequência carbonática regressiva (Pessoa Neto et al., 2007).

SONDAGEM ESSENZA. Ams. 63-66m e 78-80m



Direções de polarização

Fotos com fundo em negro - nicóis cruzados

Ordem Eiffelithales
 Família Chiastozigaceae
 Gêneros: *Reinhardtites*, *Tranolithus*,
Zeugrhabdotus
 Família Eiffelithaceae
 Gêneros *Eiffelithus*, *Helicolithus*

Ordem Podorhabdales
 Família Biscutaceae
 Gênero *Biscutum*
 Família Prediscosphaeraceae
 Gênero *Prediscosphaera*
 Família Tibpdoscaceae
 Gênero *Manivitella*

Ordem Arkhangelskiales
 Família Arkhangelskiellaceae
 Gênero *Broinsonia*
 Família Kamptneriaceae
 Gênero *Gartnerago*

Nanolitos
 Família Braarudospaeraceae
 Gênero *Micrantholithus*
 Família Polycyclolithaceae
 Gênero *Eprolithus*, *Lithastrinus*,
Quadrum, *Radiolithus*
 Cisto de dinoflagelado
 calcário - *Thoracosphaera* sp.

Figura 12 – Espécies fotografadas nas amostras 63-66m e 78-80m do material calha do poço do Condomínio Essenza.

Na Bacia Potiguar, a Formação Jandaíra (Turoniano-Eocampaniano) de fato possui calcários transicionais e marinhos de águas rasas, interpretados como de uma ampla plataforma dominada por marés.

Sua área aflorante é extensa, porém quase limitada ao Estado do Rio Grande do Norte, onde se encontra muito carstificada e erodida. Suas estruturas e feições são típicas de rampa interna a intermediária, com predomínio de marés

vazantes preservadas em lobos sigmoidais amalgamados (Tibana et al., 2015) de barras de marés, internamente portadoras de feixes de marés (*tidal bundles*) (Pessoa Neto et al., 2007). Para a planície de marés, Pessoa Neto et al. (2007) interpretaram um sistema estuarino e, Tibana et al. (2015), lagunar.

Para estes últimos, o modelo deposicional incluiria desde domínios de baixa energia física do meio, de planície de maré lamosa (*mudflat*)

onde predominavam *mudstones* e *wackestones*, até aqueles de alta energia, com barras de maré e predomínio de *grainstones*.

A Formação Guimarães (Campaniano-Mioceno Superior), por sua vez, faz parte de um sistema de plataforma mista, terrígena-carbonática, envolvendo ainda outras duas unidades contíguas do continente ao oceano, chamado sistema Tibau-Guimarães-Ubarana (Pessoa Neto, 1999), que teria perdurado por longo tempo em várias seqüências regressivas (Pessoa Neto et al., 2007).

Na literatura científica há pouca informação, no entanto, acerca da estratigrafia e sedimentologia da Formação Guimarães no intervalo Campaniano-Maastrichtiano (Pessoa Neto, 1999), de interesse do presente estudo.

Com base no exposto, os dois intervalos temporais obtidos, Turoniano-Coniaciano e Campaniano-Maastrichtiano, seriam respectivamente atribuíveis, do ponto de vista cronológico, às formações Jandaíra e Guimarães. Há, porém, uma ressalva a ser mencionada.

A idade Turoniano-Coniaciana obtida de amostra de calha pode ter misturado intervalos diversos, e foi descrita com base em um arenito cimentado em carbonato, e não um calcário propriamente.

Arenitos não são litologias atribuíveis à Fm. Jandaíra; no entanto, há chance de uma passagem gradacional a partir da Fm. Açú, embora esta seja uma unidade sotoposta (Pessoa Neto et al., 2007).

Outra possibilidade seria uma extensão da Fm. Tibau, ou algum equivalente desta, a intervalos mais antigos que o Campaniano, num sistema interdigitado semelhante ao conhecido em intervalos mais jovens.

O presente estudo atestou o registro de sedimentação carbonática em terra (*onshore*) subaflorante na cidade de Fortaleza, onde a presença de micro e nanofósseis do Cretáceo Superior confirmam sua correlação com calcários da Formação Guimarães e, possivelmente, da Jandaíra.

Postulam-se duas hipóteses, combinadas ou não, para esta ocorrência: 1) as bacias Potiguar e do Ceará (na Sub-Bacia Mundaú) poderiam evoluir sem conexão devido a presença de uma depressão estrutural, o Gráben de Jacuína (Matos, 1999); 2) a Sub-Bacia Mundaú seria parte da sedimentação plataformal do Atlântico Equatorial Norte, durante a fase final de abertura do Oceano Atlântico, onde teria ocorrido uma

plataforma carbonática contínua ou descontínua entre as bacias Potiguar e do Ceará (Figura 13), a qual pode ter sido parcialmente erodida mais tarde.

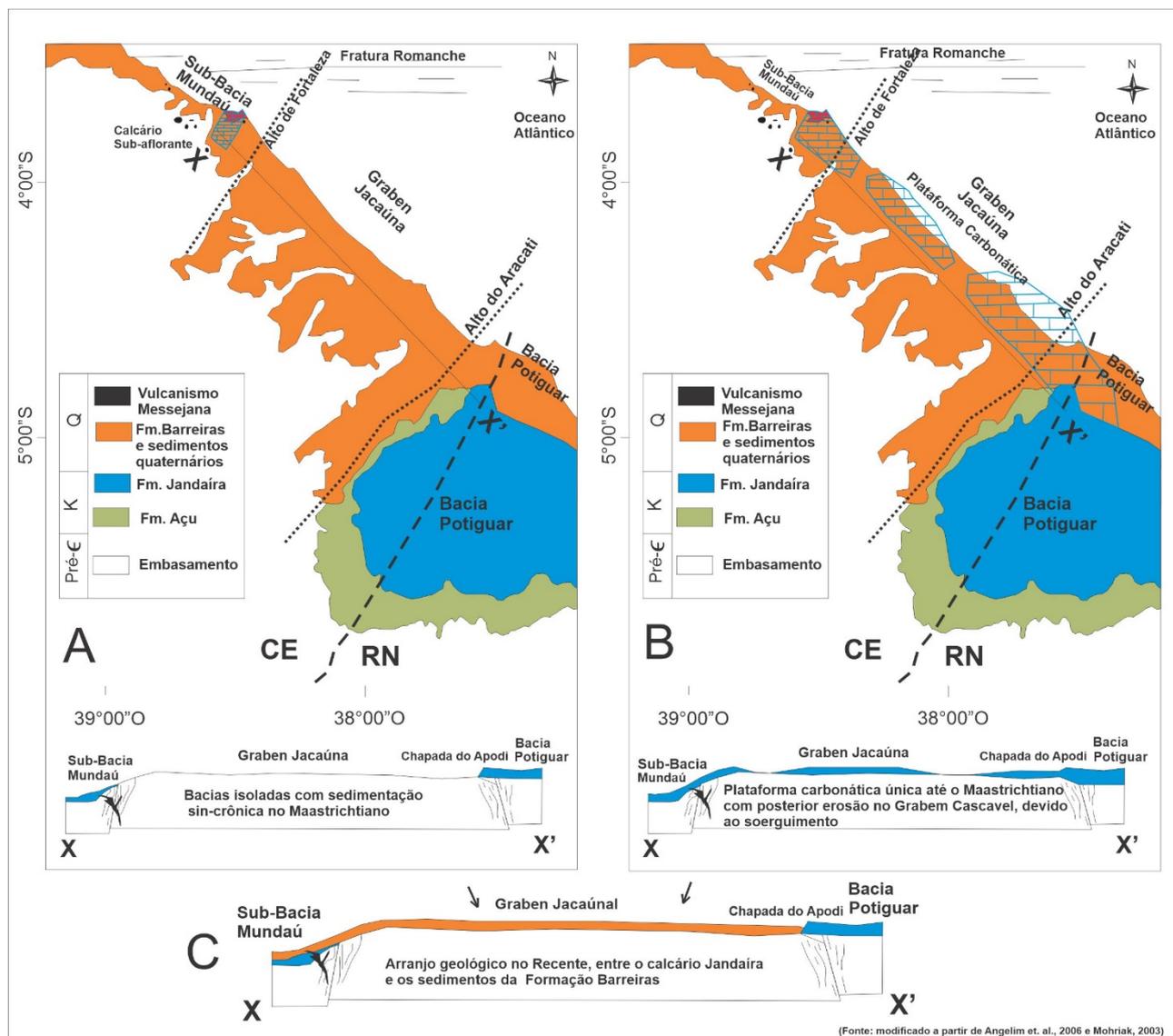
O contexto geológico recente apresenta o calcário da Formação Jandaíra exposto *onshore* na borda oeste da porção emersa da Bacia Potiguar, sendo o topo de maior altitude na Chapada do Apodi (RN).

Este arranjo estrutural atual dependeu do soerguimento da Bacia Potiguar e muito provavelmente do abatimento, ao menos relativo, de parte da Sub-Bacia Mundaú, favorecendo em Fortaleza o soterramento de calcários neocretáceos pela sedimentação terrígena miocênica da Formação Barreiras e, mais tarde, pelas coberturas quaternárias, com destaque para os depósitos eólicos.

Vale ressaltar ainda a ocorrência de atividade vulcânica cenozóica na região de Fortaleza e no mesmo trecho analisado neste estudo (Almeida et al., 1988; Mizusaki et al., 2001; Vandoros & Oliveira, 1968).

As falhas direcionais (transformes) oceânicas de Romanche e Jean Charcot interceptam o continente na altura de Fortaleza, tendo sido feições tectônicas atribuídas ao controle do magmatismo tradicionalmente descrito como “Vulcanismo Messejana”, mais recentemente denominado por Mesquita (2019) de “Província Vulcânica de Fortaleza”, em algum grau correlata ao evento magmático gerador do Arquipélago de Fernando de Noronha (Werneck & Magini, 2017).

Uma parte remanescente, não erodida desse magmatismo, teria expressão atual também no Platô do Ceará, uma elevação oceânica isolada defronte a Fortaleza que se estende por mais de 1500 km² (Antunes et al., 2008). De acordo com Condé et al. (2007), a sucessão sedimentar mais antiga, no entanto, teria sido parcialmente erodida na Bacia do Ceará durante o Eoceno Médio (~50 Ma) com a formação da chamada “Discordância do Eoceno”; nas áreas em que não foi, depósitos do Maastrichtiano ao Paleoceno ocorrem descritos como “calcilutitos, calciarenitos ou arenitos cimentados”, podendo assim, em parte, se associar aos calcários descritos neste estudo. Sobre o Alto de Fortaleza, feição de origem estrutural tida como divisor natural entre as bacias Potiguar (leste) e Ceará (oeste), uma parte desses depósitos estaria assim preservada.



(Fonte: modificado a partir de Angelim et al., 2006 e Mohriak, 2003)

Figura 13 – A) Hipótese 1: Ocorre calcário correlato a Formação Jandaíra na Sub-Bacia Mundaú, sendo a sedimentação sincrônica e as bacias separadas (sem conexão); B) Hipótese 2: Existia uma plataforma carbonática única (contínua ou descontínua) no trecho do Gráben Cascavel, posteriormente erodida devido a soerguimentos da tectônica cenozoica acompanhada de intrusões do vulcanismo Messejana. Perfil C: a plataforma sequencialmente foi sobreposta pelos sedimentos da Formação Barreiras no Quaternário. Modificado a partir de Angelim et al. 2006 e Mohriak, 2003.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Metrofor e ao Condomínio Essenza pelas amostras cedidas e ao Laboratório de Microscopia Eletrônica (LME-DEGEO-UFC) pela disponibilização dos equipamentos de microscopia. Agradecemos também ao MSc. Joel P. Sousa pelo auxílio com a preparação das amostras, análises e discussões, e ao Prof. Dr. Aristóteles Rios Netto pelo uso da infraestrutura da Escola de Geologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 (bolsa de mestrado de L.S.W.).

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). **XI Rodada de Licitações: Bacia do Ceará**. Superintendência de Definição de Blocos. Março de 2013. Fonte: www.anp.gov.br
- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). **XV Rodada de Licitações: Bacia do Ceará**. Superintendência de Definição de Blocos. Março de 2018. Fonte: www.anp.gov.br
- ALLEN, P.A. & ALLEN, J.R. **Basin analysis: principles and applications (2nd. Ed.)**. Blackwell Publishing, 562 p., 2005.
- ALMEIDA, F.F.M., CARNEIRO, C.D.R., MACHADO JÚNIOR, D.L., DEHIRA, L.K. Magmatismo pós-Paleozóico no Nordeste Oriental do Brasil. **Rev. Bras. Geoc.**, v. 18, n. 4, p. 451-462, 1988.
- ALMEIDA, F.F.M.; LEONARDOS Jr., O.H., VALENÇA, J. **Granitic Rocks of Northeast South America**. International Union of Geological Sciences, IUGS/UNESCO, 1967.
- ANGELIM, L.A. **Geologia e recursos minerais do estado do Rio Grande do Norte: texto explicativo dos mapas geológico e de recursos minerais do estado do Rio Grande do Norte**.

- (Org.). Recife: CPRM; FAPERN, Escala 1:500.000. Programa Geologia do Brasil (PGB), 2006.
- ANTUNES, A.F.; SÁ, E.F.J.; ARAÚJO, R.G.S.; LIMA NETO, F.F. Caracterização tectonoestrutural do Campo de Xaréu (Sub-Bacia de Mundaú, Bacia do Ceará – NE do Brasil): abordagem multiescala e pluriferramental. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 38, n. 1, p. 88-105, 2008.
- ANTUNES, R.L. **Introdução ao estudo dos nanofósseis calcários**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 115 p, 1997.
- ARAI, M. **Aptian/Albian (Early Cretaceous) paleogeography of the South Atlantic: a paleontological perspective. Brazilian Journal of Geology**, v. 44, n. 2, 2014.
- BELTRAMI, C.V.; ALVES, L.E.M.; FEIJÓ, F.J. Bacia do Ceará. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 117-125, 1994.
- BERTANI, R.T.; COSTA, J.G.; MATOS, R.M.D. **Evolução tectono-sedimentar, estilosedimentar, estilo estrutural e hábitat do petróleo na Bacia Potiguar**. In: RAJA GABAGLIA & MILANI, E.J. (Coord.). **Origem e evolução de bacias sedimentares**. Rio de Janeiro, Petrobrás, p. 291-310, 1990.
- BONDO, H.F.F. **Litoestratigrafia e Modelo Sedimentar da Bacia do Cuanza (NW de Angola)**. Porto, 2014, 96 p. Dissertação (Mestrado em Geologia), Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.
- BOWN, P.R. & YOUNG, J.R. Mesozoic calcareous nannoplankton classification. 1997. **Journal of Nannoplankton Research**, [S.l.], v. 19, n. 1, p. 21-47, 1997.
- CAINELLI, C & MOHRIAK, W.U. Some remarks on the evolution of sedimentary basins along the eastern Brazilian continental margin. **Episodes**, v. 22, n. 3, p. 206-216, 2000.
- CASSAB, R.C.T. **Paleontologia da Formação Jandaíra, Cretáceo Superior da Bacia Potiguar, com ênfase na paleobiologia dos gastrópodos**. Rio de Janeiro, 2003. 204 p Tese (Doutorado), Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- CAVALCANTE, J.C.; VASCONCELOS, A.M.; MEDEIROS, M.F. PAIVA, I.G. **Mapa geológico do Estado do Ceará**. Fortaleza: Secretaria das Minas e Energia: CPRM, 2003. Escala 1:500.000.
- CONDÉ, V.C.; LANA, C.C.; PESSOA NETO, O.C.; ROESNER, E.H.; MORAIS NETO, J.M.; DUTRA, D.C. Bacia do Ceará. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 347-355, 2007.
- COSTA, I.G.; BELTRAMI, C.V.; ALVES, L.E.M. A Evolução Tectono-Sedimentar e Habitat do Óleo da Bacia do Ceará. **Bol. Geoc. Petrobrás**. Rio de Janeiro. v. 4, n. 1, p. 65-74. 1990.
- CREMONINI, O.A.; GOULART, J.P.M.; SOARES, U.M. O Rifte Potiguar: novos dados e implicações tectônicas. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCEO DO BRASIL, 4, 1996, Rio Claro. **Boletim...** Rio Claro: Sociedade Brasileira de Geologia, 1996.p., 89-93.
- DUNHAM, R.G. **Classification of Carbonate Rocks According to Depositional Texture**. In: Ham, W.E., Ed., **Classification of Carbonate Rocks**, American Association of Petroleum Geologists Memoir 1, 108-121. 1962.
- THOMAS FILHO, A.T.; MIZUZAKI, A.M.P.; ANTONIOLI, L. Magmatismo nas bacias sedimentares brasileiras e sua influência na geologia do petróleo. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 38, n. 2 (suplemento), p. 128-137, 2008.
- FOLK, R.L. **Petrology of sedimentary rocks**. Austin. Hemphill's Book Store, 170 p. 1972.
- FRANÇOLIN, J.B.L. & SZATMARI, P. Mecanismo de rifting da porção oriental da margem norte brasileira. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 17, n. 2, p. 196-207, 1987.
- GEOANÁLISE. **Perfil descritivo do poço tubular profundo do Condomínio Essenza**. Relatório interno, 2017.
- KAHN, J.S. The analysis and distribution of the properties of packing in sand size sediments. **Journal Geology**, v. 64, n. 4, p. 385-395, 1956.
- LANA, C.C.; PESSOA NETO, O.C.; ROESNER, E.H.; VIVIERS, M.C.; ROSSETI, E.L.; ANTUNES, R.L.; COSTA, S.O.; MORAIS NETO, J.M. **Refinamento biocrono-estratigráfico e estratigrafia integrada da seção cretácea pós-Alagoas da sub-bacia de Mundaú, bacia do Ceará**. PETROBRAS/CENPES, Rio de Janeiro Relatório interno não publicado, 63 p. 2001.
- LIMA, L.C.; MORAIS, J.O.; SOUZA, M.J.N. **Compartimentação territorial e gestão regional do Ceará**. Editora FUNECE, Fortaleza (CE), 268 p., 2000.
- LIMA, P.R.C. **Análise da geometria dos domínios geológicos de sub-superfície a partir de perfis de poços tubulares no Município de Fortaleza – Ceará**. Fortaleza. 2014. 245p. Dissertação (Mestrado), Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará.
- MATOS, R.M.D. **History of the northeast Brazilian rift system: kinematic implications for the break-up between Brazil and West Africa**. In: CAMERON, N.R.; BATE, R.H.; CLURE, V.S. (Eds.). **The Oil and Gas Habitats of the South Atlantic**. Geological Society, London, Special Publications, v. 153, p. 55-73, 1999.
- MATOS, R.M.D. The Northeast Brazilian Rift System. **Tectonics**, v. 11, n. 4, p. 766-791, 1992.
- MESQUITA, J.A. **Província alcalina de Fortaleza, Ceará, Brasil: Petrografia, Geoquímica e potencial como remineralizador de solos**. Fortaleza. 2019. 114 p. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Universidade Federal do Ceará.
- MIZUSAKI, A.M.P.; THOMAZ FILHO, A.; MILANI, E.J.; CÉSERO, P. Mesozoic and Cenozoic igneous activity and its tectonic control in the northeastern region of Brazil, South America. **Journal of South America Earth Sciences**, v. 15, p. 183-198, 2001.
- MOHRIAK, W. U. Bacias sedimentares da margem continental Brasileira. In: BIZZI, L.A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R.M.; GONÇALVES, J.H. (Eds.) **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: textos, mapas & SIG**. Brasília, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 2003. p. 87-165. Disponível em: Acesso em: 19 nov. 2014.
- MORAIS NETO, J.M.; PESSOA NETO, O.C.; LANAS, C.C.; ZALÁN, P. V. **Bacias Sedimentares Brasileiras**. Ed. Phoenix, Ano 5, N-17, ISSN 1517-7351. 2003.
- NANNOTAX – <http://www.mikrotax.org/Nannotax3>. Acesso em 10/12/2018
- PERCH-NIELSEN, K. Mesozoic calcareous nannofossils. In: **Plankton stratigraphy** (eds BOLLI, H.M.; SAUNDERS, J.B.; PERCH-NIELSEN, K.) Cambridge University Press, Cambridge, p. 329-426, 1985.
- PESSOA NETO, O.C. **Análise estratigráfica integrada da plataforma mista (siliciclástica-carbonática) do Neógeno da Bacia Potiguar, Nordeste do Brasil**. Porto Alegre, 220 p., 1999. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul
- PESSOA NETO, O.C.; SOARES, U.M.; SILVA, J.G.F.; ROESNER, E.H.; FLORENCIO, C.P.; SOUZA, C.A.V. Bacia Potiguar. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 357-369, 2007.
- PETTIJOHN, F.J. **Rocas sedimentarias**. Harper & Row Pubs., New York, 3rd ed., 1975, 718 p.
- SCOTESE, C.R.; CAHAGAN, L.M.; LARSON, R.L. **Plate tectonic reconstructions of the Cretaceous and Cenozoic basins. Tectonophysics**, v. 155, p. 27- 48, 1988.
- SENRA, M.C.E.; SILVA, L.H.S.; BATISTA, D.S.; ASSIS, C.M. E BARREIRO, R.M. C. Tafonomia e paleoambientes do Pântano da Malhada/Reserva Tauá, planície costeira de Armação dos Búzios/Cabo Frio (Quaternário Superior), Estado do Rio de Janeiro, Brasil, In: IX CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO. **Atas...** Recife: Sociedade Brasileira de Geologia, 2003. CD-ROM.
- SIAGAS **Serviço Geológico do Brasil, Sistema de Informações de Água Subterrânea** – <http://siagasweb.cprm.gov.br>. Acesso em 20/04/2018.

- SISSINGH, W. Biostratigraphy of Cretaceous calcareous nannoplankton. **Geologie en Mijnbouw**, v. 56, p. 37–65, 1977.
- TIBANA, P.; DIAS-BRITO, D.; GRANIER, B. Calcários da Formação Jandaíra: Bacia Potiguar, Turoniano - Campaniano. In: DIAS-BRITO, D.; TIBANA, P. (Eds.). **Calcários do Cretáceo do Brasil: um atlas** (1 ed.). Rio Claro: UNESP-IGCE-UNESPetro, 2015, v. 1, p. 293-373.
- THOMAS FILHO, A.T.; MIZUZAKI, A.M.P.; ANTONIOLI, L. Magmatismo nas bacias sedimentares brasileiras e sua influência na geologia do petróleo. **Revista Brasileira Geociências**, v. 38, n. 2 (suplemento), p. 128-137, 2008.
- VANDOROS P., OLIVEIRA M.A.F. **Sobre o fonólito de Mecejana, Ceará. An. Acad. Brasil. Ciênc.**, v. 40, n. 2, p. 203-206, 1968.
- WERNECK, L.S. & MAGINI, C. **Avaliação Petroológica e Geoquímica do Basanito Subaflorante no Município de Fortaleza (CE) e sua Correlação com o Vulcanismo de Fernando de Noronha, Brasil. Revista de Geologia**, v. 30 n. 2, p. 149-173, 2017.
- ZALÁN, P.V. Re-interpretation of an ultra-deep seismic section in the Pará-Maranhão Basin - implications for the petroleum potential of the ultra-deep waters. In: OFFSHORE TECHNOLOGY CONFERENCE, Rio de Janeiro, p.1-11, 2015. **Actas...**Rio janeiro: Petrobras, 2015.

Submetido em 14 de abril de 2020

Aceito para publicação em 24 de maio de 2021