

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS**  
**UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**  
**NÍVEL MESTRADO**

**RODRIGO DO MONTE GUERRA**

**NANOFÓSSEIS CALCÁRIOS DO CRETÁCEO NA BACIA DE PELOTAS, RS:  
INFERÊNCIAS BIOESTRATIGRÁFICAS E PALEOECOLÓGICAS**

**SÃO LEOPOLDO**

**2011**

**Rodrigo do Monte Guerra**

**NANOFÓSSEIS CALCÁRIOS DO CRETÁCEO NA BACIA DE PELOTAS, RS:  
INFERÊNCIAS BIOESTRATIGRÁFICAS E PALEOECOLÓGICAS**

Dissertação apresentada como requisito parcial  
para a obtenção do título de Mestre, pelo  
Programa de Pós-Graduação em Geologia da  
Universidade do Vale do Rio dos Sinos -  
UNISINOS

**Orientador: Dr. Gerson Fauth**

**Co-Orientador: Msc. Lucio Riogi Tokutake**

**São Leopoldo**

**2011**

G934n Guerra, Rodrigo do Monte.  
Nanofósseis calcários do cretáceo na Bacia de Pelotas, RS :  
inferências bioestratigráficas e paleoecológicas / Rodrigo do  
Monte Guerra. – 2011.  
95 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos  
Sinos, Programa de Pós-Graduação em Geologia, 2011.

"Orientador: Dr. Gerson Fauth; co-Orientador: Msc. Lucio  
Riogi Tokutake."

1. Nanofósseis calcários – Bacia de Pelotas. 2. Cretáceo.  
3. Bioestratigrafia. 4. Paleoecologia. I. Título.

CDD 551  
CDU 55

Catálogo na publicação: Bibliotecário Flávio Nunes - CRB 10/1298

**ATESTADO DE APROVAÇÃO**

Atestamos que a dissertação de Mestrado

**"Nanofósseis Calcários do Cretáceo na Bacia de Pelotas, RS: inferências bioestratigráficas e paleoecológicas"**

apresentada por **Rodrigo do Monte Guerra**

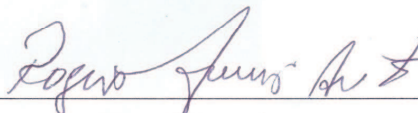
foi aceita e aprovada como atendimento parcial aos requisitos para a obtenção do grau de

**MESTRE EM GEOLOGIA.**

Banca Examinadora:

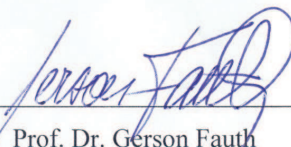


Prof.ª Dr.ª Andrea Concheyro  
Universidad de Buenos Aires



Dr. Rogério Loureiro Antunes  
Petróleo Brasileiro S.A.

Presidente da Banca Examinadora:



Prof. Dr. Gerson Fauth  
Universidade do Vale do Rio dos Sinos

São Leopoldo, 08 de agosto de 2011.



## AGRADECIMENTOS

A meu orientador Dr. Gerson Fauth pelas oportunidades oferecidas e pela parceria nos estudos e projetos desde a minha graduação.

A meu co-orientador Ms. Lucio Riogi Tokutake por comparecer sempre que possível para dividir o conhecimento sobre os nanofósseis calcários.

Aos amigos do Laboratório de Sedimentologia da UNISINOS, pelo auxílio na catalogação e preparação das amostras.

Aos colegas do Laboratório de Micropaleontologia pelo auxílio e pelas dicas, em especial aos geólogos Karlos Guilherme Diemmer Kochhann, Lilian Maia Leandro, Msc. Gislaine Bertoglio Rodrigues e Msc. Eduardo da Silva Aguiar; aos biólogos Dr. Cristianini Trescastro Bergue, Dra. Simone Baecker Fauth, Msc. Daiane Ceolin, Msc. Demétrio Dias Nicolaidis e Carina Paier; à Química Msc. Marlone Heliara Hunning Bom e aos futuros geólogos Leonardo Santos Florisbal, Antonio Henrique Bender Antiqueira, Fernando Marcanth Lopes, Guilherme Lemos Oliveira Marques e Gabriel Hennemann Klaser.

Aos Nanoplânctistas Dra. Andrea Concheyro (Universidade de Buenos Aires - UBA), Dra. Jackie Lees (University College London - UCL), Dr. Rogério Loureiro Antunes (PETROBRAS) e Dr. Francisco Henrique Oliveira Lima (PETROBRAS), pelas discussões durante a elaboração deste estudo.

Ao biólogo Dr. João Carlos Coimbra (Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS) por ceder as amostras para este estudo.

A todos os amigos de Carlos Barbosa, que de uma forma ou outra sempre me incentivaram.

A minha noiva Kaila pelo companheirismo, amizade, amor e apoio incondicional.

A meu pai Celso e minha mãe Neusa por todo o amor, incentivo e confiança que depositaram em mim durante toda a minha vida. Espero realmente ser merecedor dessa vida maravilhosa que vocês me proporcionaram.

*"Pedras no caminho?"*

*Guardo todas, um dia vou construir um castelo..."*

(Fernando Pessoa)

## RESUMO

Este estudo apresenta inferências bioestratigráficas e paleoecológicas baseadas na distribuição de nanofósseis calcários em três poços perfurados na plataforma continental da Bacia de Pelotas, sul do Brasil. Estudos bioestratigráficos na bacia foram realizados no final da década de 1980, porém nos últimos trinta anos o arcabouço bioestratigráfico com nanofósseis calcários para as bacias marginais brasileiras obteve um refinamento significativo, justificando a elaboração de um novo estudo. A sucessão é composta principalmente por rochas siliciclásticas provenientes de amostras de calha com pequenos intervalos de testemunhos. Foram reconhecidas onze biozonas atingindo a seção Albiano superior/Maastrichtiano, o resultado das análises bioestratigráficas produziram uma melhor resolução principalmente para o Turoniano e o Campaniano da bacia. Abundâncias relativas e absolutas de espécies do Cretáceo foram utilizadas para a determinação de inferências paleoecológicas, as primeiras com base em nanofósseis calcários para a Bacia de Pelotas. Estes dados sugerem o predomínio de condições de águas quentes com alguns eventos de esfriamento da água durante o Turoniano superior, Turoniano superior/Coniaciano inferior, Coniaciano superior e Santoniano superior/Campaniano inferior.

Palavras-chave: Nanofósseis calcários; Cretáceo; Bacia de Pelotas; Bioestratigrafia; Paleoecologia;

## **ABSTRACT**

This study reports biostratigraphic and paleoecologic inferences based on the distribution of calcareous nannofossils in three wells drilled in Pelotas Basin continental shelf, southern Brazil. The first biostratigraphic study in the basin comes from late 1980's, however the Brazilian nannoplankton biostratigraphic framework reached a higher resolution in the last thirty years, justifying the development of a new study. The successions are composed mainly by siliciclastic rocks coming from cutting samples and short intervals of cored samples. Eleven biozones were recognized, within the upper Albian and Maastrichtian interval, the biostratigraphic analyses provided a higher resolution mainly for Turonian and Campanian strata in the basin. Absolute and relative abundances of some Cretaceous calcareous nannofossils species provided paleoecological proxies, pioneer in Pelotas Basin using this fossil group. The results suggest a prevalence of warm-water condition, with cooling events during the upper Turonian, upper Turonian/lower Coniacian, upper Coniacian and upper Santonian/lower Campanian.

Keywords: Calcareous nannofossils; Cretaceous; Pelotas Basin; Biostratigraphy; Paleoecology;

## SUMÁRIO

<b>1 APRESENTAÇÃO .....</b>	<b>9</b>
<b>2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>14</b>
<b>3 ARTIGOS .....</b>	<b>18</b>
3.1 ARTIGO I .....	18
3.1.1 Documentação referente a aceitação do ARTIGO I .....	39
3.2 ARTIGO II .....	40
3.2.1 Documentação referente a submissão do ARTIGO II .....	94
<b>4 RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>95</b>

## 1 APRESENTAÇÃO

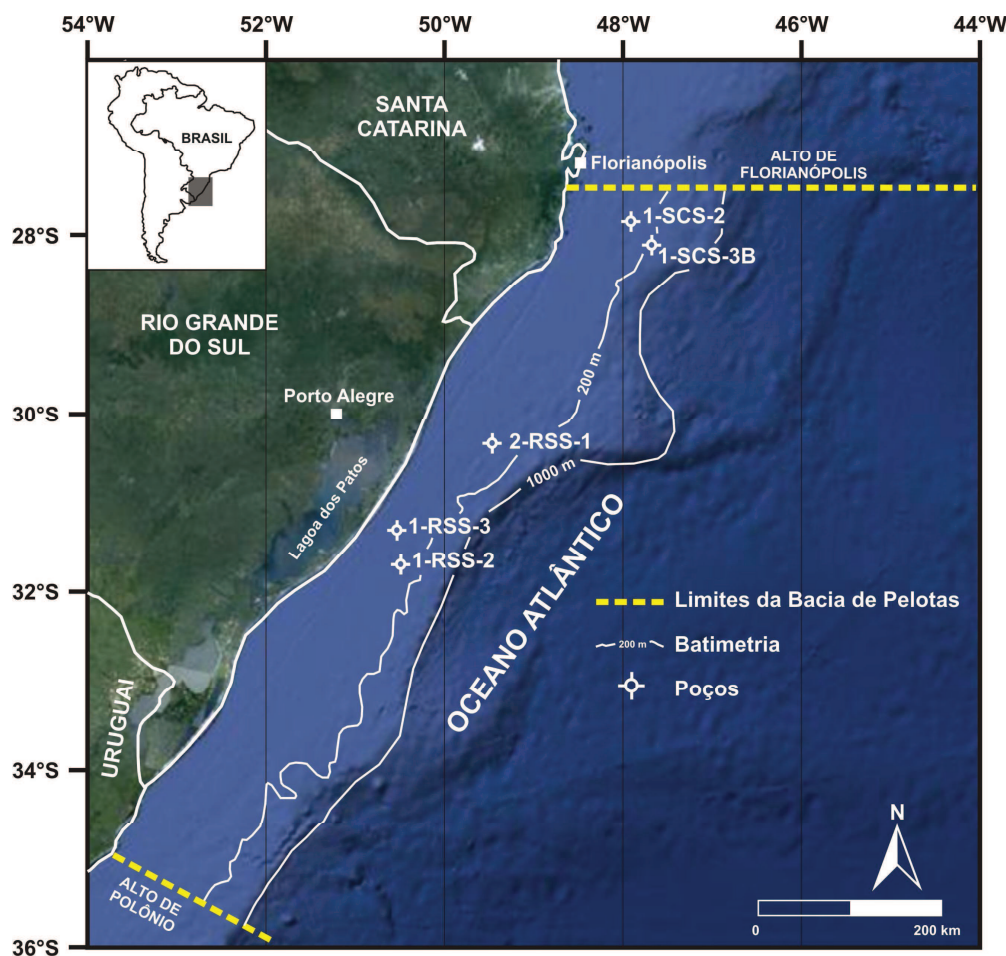
O uso da bioestratigrafia e da micropaleontologia como ferramentas padrão na indústria do petróleo propiciou um grande avanço na resolução de problemas estratigráficos, possibilitando a correlação dos estratos rochosos com base na análise dos microfósseis.

Dentre os grupos de microfósseis mais utilizados estão os nanofósseis calcários, que compreendem partículas de composição carbonática menores de 30  $\mu\text{m}$ , pertencentes ao grupo de algas unicelulares conhecidas como cocolitoforídeos ou provenientes de outros organismos como os dinoflagelados calcários (Bown & Young, 1998). A importância dos nanofósseis calcários na bioestratigrafia é relacionada principalmente a rápida especiação, assim como a rapidez na preparação e análise das amostras, a abundância com que ocorrem nas rochas e a ampla distribuição geográfica. No Brasil, os nanofósseis calcários possuem registro nas seções marinhas de todas as bacias da margem continental, da Bacia de Pelotas até a da Foz do Amazonas.

A Bacia de Pelotas localiza-se no extremo sul do Brasil, entre o Alto de Polônio, Uruguaí e o Alto de Florianópolis, em Santa Catarina (Bueno et al., 2007) (Figura 1). Os poços perfurados em sua plataforma continental apresentam rara oportunidade de estudo de rochas que registram a separação Gonduânica, assim como a evolução do Oceano Atlântico Sul.

Segundo Conceição *et al.* (1988), o primeiro ciclo de rifteamento no Gondwana teria se propagado de sul (Argentina) para norte, do Platô das Malvinas até a Bacia de Pelotas. Desta forma, a Bacia de Pelotas é considerada a precursora das bacias brasileiras de margem passiva, tendo uma evolução geológica totalmente distinta das demais bacias. Dentre as diferenças mais marcantes está a falta de rochas evaporíticas, importantes nos estudos atuais de prospecção de hidrocarbonetos.

Além do importante registro geológico, a bacia vem sendo alvo de pesquisas que indicam potencial para a acumulação de hidratos de gás (Fontana, 1996; Deckelman *et al.*, 2006; Rosa, 2007).



**Figura 1:** Mapa simplificado da Bacia de Pelotas mostrando seus limites e os cinco poços perfurados pela PETROBRAS entre 1974 e 1985. Modificado de Google Earth®.

Diversos estudos bioestratigráficos foram publicados na Bacia de Pelotas, porém a grande maioria são relacionados ao intervalo Paleógeno-Neógeno (Closs, 1970; Fernandes, 1975; Thiesen, 1977; Sanguinetti, 1980; Ornellas, 1981; Koutsoukos, 1982; Carreño *et al.*, 1997; Carreño *et al.*, 1999; Anjos, 2004; Fischer *et al.*, 2007; Zeffass, 2009; Coimbra *et al.*, 2009). Poucos são os estudos relacionados ao período Cretáceo da bacia (Gomide, 1989; Arai *et al.*, 2006; Rodrigues & Fauth, 2007; Premaor *et al.*, 2010; Guerra *et al.*, 2010; Ceolin *et al.*, 2011), destes somente dois relatam nanofósseis calcários (Gomide, 1989, Guerra *et al.*, 2010).

Investigações paleoecológicas utilizando nanofósseis calcários do Cretáceo são raras nas bacias marginais brasileiras (Cunha & Koutsoukos, 1998; Cunha, 2001) e inexistentes na Bacia de Pelotas.

Gomide (1989) realizou um importante e pioneiro estudo bioestratigráfico com nanofósseis calcários do intervalo Cretáceo-Quaternário na Bacia de Pelotas. O zoneamento proposto pelo autor vem sendo utilizado como base para todas as pesquisas posteriores na bacia, porém nos últimos vinte anos a distribuição bioestratigráfica dos nanofósseis calcários nas bacias marginais brasileiras vem sendo constantemente aprimorada (Cunha, 1990; Antunes, 1996; Oliveira & Costa, 1997; Antunes, 1998; Antunes *et al.*, 2004).

Tendo em vista os aspectos mencionados anteriormente, o presente estudo propõe:

I) Detalhar a bioestratigrafia do Cretáceo da Bacia de Pelotas com base em nanofósseis calcários.

II) Realizar análises paleoecológicas, as primeiras com nanofósseis calcários para a Bacia de Pelotas.

Para o desenvolvimento deste estudo, primeiramente foi desenvolvido um histórico dos principais arcabouços bioestratigráficos com base em nanofósseis calcários para as bacias marginais brasileiras. Este histórico compõe o ARTIGO I, intitulado "**Evolução do conhecimento biocronoestratigráfico do Cretáceo nas bacias marginais brasileiras baseado em nanofósseis calcários**" submetido à revista *Terrae didactica*. O manuscrito possui caráter totalmente didático e apresenta dois objetivos principais: I) Divulgar no meio acadêmico a evolução no conhecimento bioestratigráfico dos nanofósseis calcários nas bacias marginais brasileiras, mostrando o refinamento alcançado desde o trabalho pioneiro de Troelsen e Quadros (1971) até o último zoneamento disponível para consulta em Antunes *et al.* (2004); e II) Tornar o zoneamento de Antunes *et al.* (2004) aplicável ao estudo da Bacia de Pelotas, visto que a publicação original só possuía os códigos das biozonas (sem identificar as espécies que denominam cada biozona), devido a restrições confidenciais. Estudos anteriores divulgavam estes dados e tendo em vista que os códigos das biozonas não mudam, o resgate histórico da evolução no arcabouço bioestratigráfico foi importante para o conhecimentos das espécies que denominam cada biozona.

O uso do arcabouço bioestratigráfico de Antunes *et al.* (2004) proporciona uma resolução superior a que Gomide (1989) dispunha na época do seu estudo. No final da década de 1980 somente oito biozonas eram conhecidas para o Cretáceo nas bacias marginais brasileiras, o arcabouço atual propõem vinte biozonas, evidenciando a importância de um



novo estudo na Bacia de Pelotas. Desta forma, os dados disponíveis no ARTIGO I são indispensáveis para a elaboração do estudo proposto.

Os dados, o desenvolvimento e as conclusões obtidas nos dois anos da pós-graduação compõem o ARTIGO II, intitulado "**Cretaceous calcareous nannofossils from Pelotas Basin, Brazil: biostratigraphic and paleoecological inferences**" submetido à revista *Journal of South American Earth Sciences*. Neste estudo foram analisados três dos cinco poços perfurados pela PETROBRAS na plataforma continental da Bacia de Pelotas (1-RSS-2, 2-RSS-1 e 1SCS-3B). Ao todo foram examinadas 419 amostras compostas principalmente por rochas siliciclásticas, provenientes de amostragem de calha e cinco pequenos intervalos de testemunhos (Tabela 1).

Poços	Amostras de Calha		Amostras de testemunho		TOTAL
	Intervalo (m)	Quantidade	Intervalo (m)	Quantidade	
1-RSS-2	3.105-5.190	127	Test.1: 3.786,05-3.794,70 Test.2: 5.034,05-5.045,87	40	167
2-RSS-1	3.402-4.650	43	Test.3: 3.787,05-3.795,50 Test.4: 4.480,35-4.488,70	33	76
1-SCS-3B	2.490-4.725	139	Test.5: 4269,37- 4286,95	37	176
TOTAL DE AMOSTRAS ANALISADAS					419

**Tabela 1:** Quantidades de amostras para cada poço e os respectivos intervalos de amostragem.

Durante a descrição bioestratigráfica das amostras, os testemunhos 1 (poço 1-RSS-2) e 3 (poço 2-RSS-1) foram excluídos do estudo. O testemunho 1 (18 amostras), não recuperou nenhum exemplar de nanofóssil calcário e o testemunho 3 (10 amostras), indicou sedimentos de idade paleógena, que não faz parte dos objetivos do trabalho.

Com base na descrição das amostras restantes, foram reconhecidas onze biozonas atingindo a seção Albiano superior/Maastrichtiano, com algumas desconformidades demarcadas. Os resultados das análises bioestratigráficas produziram uma melhor resolução principalmente para o Turoniano e o Campaniano da bacia. Este estudo também é importante

por ser um dos pioneiros na utilização de nanofósseis calcários do Cretáceo para análises paleoecológicas nas bacias marginais brasileiras. Os dados obtidos sugerem o predomínio de condições de águas quentes com alguns eventos de esfriamento da água durante o neoturoniano, neoturoniano/eoconiaciano, neoconiaciano e neosantoniano/eocampaniano.

## 2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANJOS, Geise de Santana dos. *Bioestratigrafia (Foraminiferida) do Mioceno-Plioceno da Plataforma de Florianópolis, porção setentrional da Bacia de Pelotas*. 2004. 80 f. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS. 2004.
- ANTUNES, Rogério Loureiro. 1996. Biozonas de nanofósseis do Cretáceo da margem continental brasileira: problemas e possíveis soluções. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, **10**(1/4): 19-42.
- ANTUNES, Rogério Loureiro. 1998. *Nanofósseis calcários e sua bioestratigrafia no Cretáceo da Margem Continental Brasileira - Bacias do Ceará e Potiguar*. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Tese de Doutorado, 193 p.
- ANTUNES, Rogério Loureiro; SHIMABUKURO, Seirin; OLIVEIRA, Luiz Carlos Viera; ROSA, Ana Lúcia Zucatti da; COSTA, Simone de Oliveira; CUNHA, Armando Antonio Scarparo & LIMA, Francisco Henrique de Oliveira. 2004. Em busca da bioestratigrafia de alta resolução - a performance do zoneamento de nanofósseis calcários da Petrobrás. *Boletim de Geociências da Petrobras*, **12**(2): 421-427.
- ARAI, Mitsuru; MASURE, Edwige & LEMOS, Valesca Brasil. 2006. Occurrence of a high-diversity Aptian microphytoplanktonic assemblage in Pelotas Basin (Southern Brazil): Its implication for the Early Cretaceous history of the South Atlantic. *In: VII SIMPÓSIO DO CRETÁCEO DO BRASIL, 7 e SIMPÓSIO DO TERCIÁRIO DO BRASIL, 1*, *Boletim*, p. 12.
- ASMUS, Haroldo Edwin & PONTE, Francisco Celso. 1973. The Brazilian marginal basins. *In: Nairn, A.E.M. & Stehli, F.G. (eds.). The ocean basins and margins: the South Atlantic*. New York: Plenum Press, 1:87-132.
- BOWN, Paul & YOUNG, Jeremy. 1998. Introduction. *In: Bown, P.R. (ed.). Calcareous Nannofossil Biostratigraphy*. British Micropalaeontological Society Series. Chapman and Hall/Kluwer Academic Publishers, London, 1-15.

- BUENO, Gilmar Vital; ZACHARIAS, Angélica Alida; OREIRO, Sergio Goulart; CUPERTINO, José Antonio; FALKENHEIN, Frank & MARTINS NETO, Marcelo. 2007. Bacia de Pelotas. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, **15**(2): 551-559.
- CARREÑO, Ana Luisa; COIMBRA, João Carlos & CARMO, Dermeval Aparecido do. 1997. Biostratigraphy of the Late Neogene and Quaternary ostracods in the Pelotas Basin, Southern Brazil. *Gaia*, **14**: 33-43.
- CARREÑO, Ana Luisa; COIMBRA, João Carlos & CARMO, Dermeval Aparecido do. 1999. Late Cenozoic sea level changes evidenced by ostracodes in the Pelotas basin, southernmost Brazil. *Marine Micropaleontology*, **37**: 117-129.
- CEOLIN, Daiane, FAUTH, Gerson & COIMBRA, João Carlos. 2011. Cretaceous-Lower Paleogene Ostracods from the Pelotas Basin, Brazil. *Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments*, **91**(2), 111-128.
- CLOSS, Darcy. 1970. Estratigrafia da Bacia de Pelotas, Rio Grande do Sul. *Iheringia*, **3**: 3-37.
- COIMBRA, João Carlos; CARREÑO, Ana Luisa & ZERFASS, Geise de Santana dos Anjos. 2009. Biostratigraphy and paleoceanographical significance of the Neogene planktonic foraminifera from the Pelotas Basin, southernmost Brazil. *Revue de Micropaléontologie*, **52**: 1-14.
- CONCEIÇÃO, João Cláudio de Jesus; ZALÁN, Pedro Victor & WOLFF, Sven. 1988. Mecanismo, Evolução e Cronologia do Rife Sul-Atlântico. *Boletim de Geociências da Petrobras*, **2**(2): 255-265.
- CUNHA, Armando Antonio Scarparo. 1990. *Bioestratigrafia de nanofósseis calcários da sub-bacia Mundaú (bacia do Ceará)*. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Dissertação de Mestrado, 151 p.
- CUNHA, Armando Antonio Scarparo. 2001. *Cicloestratigrafia no Cenomaniano Superior e Turoniano do Oceano Atlântico Sul*. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Tese de Doutorado, 209 p.
- CUNHA, Armando Antonio Scarparo & KOUTSOUKOS, Eduardo Apostolos Machado. 1998. Calcareous nannofossils and planktic foraminifers in the Upper Aptian of the

- Sergipe Basin, Northeastern Brazil: palaeoecological inferences. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **142**: 175-184.
- DECKELMAN, James; LOU, Samuel; D'ONFRO, Peter & LAHANN, Richard. 2006. Quantitative assessment of regional siliciclastic top-seal potencial: A new application of proven technology in the Pelotas Basin, offshore Brazil. *Journal of Petroleum Geology*, **29**(1): 83-96.
- FERNANDES, Jane Maria Garrafielo. 1975. *O gênero Uvigerina (Foraminiferida) do Cenozóico superior na Bacia de Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil*. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Dissertação de Mestrado, 121 p.
- FISCHER, Tiago Vier; PREMAOR Eduardo; ARAI Mitsuru & SOUZA, Paulo Alves de. 2007. Palinologia da Bacia de Pelotas: Dados preliminares sobre a seção paleocênica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 20, Búzios, 2007, *Anais*, p. 232.
- FONTANA, Rogério Luiz. 1996. *Geotectônica e sismoestratigrafia da Bacia de Pelotas e Plataforma de Florianópolis*. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Tese de Doutorado, 214 p.
- GOMIDE, José. 1989. Bacia de Pelotas - Biocronoestratigrafia baseada em nanofósseis calcários. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 11, Curitiba, 1989, *Resumos expandidos*, p. 338-351.
- GUERRA, Rodrigo do Monte; TOKUTAKE, Lucio Riogi & FAUTH, Gerson. 2010. Upper Campanian calcareous nannofossils from a core of well 2-RSS-1, Pelotas Basin, Brazil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, **13**(3): 181-188.
- KOUTSOUKOS, Eduardo Apostolos Machado. 1982. Geohistória e paleoecologia das bacias marginais de Florianópolis e Santos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32, Salvador, 1982, *Resumos expandidos*, p. 2369-2382.
- OLIVEIRA, Luiz Carlos Veiga de & COSTA, Simone de Oliveira. 1997. Proposal of new biostratigraphic units based on calcareous nannofossils for the Maastrichtian of the Santos Basin (Brazil). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **69**(1): 37-58.

- ORNELLAS, Lilia Pinto de. 1981. *Os ostracodes e seu significado na interpretação dos eventos cenozóicos na Bacia de Pelotas, RS: transgressões, regressões, paleoecologia e bioestratigrafia*. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Tese de Doutorado, 217 p.
- PREMAOR, Eduardo; SOUZA, Paulo Alves de; ARAI, Mitsuru & HELENES, Javier. 2010. Palinomorfos do Campaniano (Cretáceo Superior) da Bacia de Pelotas, Rio Grande do Sul: implicações bioestratigráficas e paleoambientais. *Pesquisas em Geociências*, **37**(1): 63-79.
- RODRIGUES, Gislaíne Bertoglio & FAUTH, Gerson. 2007. Ostracodes Albiano-Cenomaniano do poço 1-RSS-2, Bacia de Pelotas, RS, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 20, Búzios, 2007, *Anais*, p. 216.
- ROSA, Anabela Porto. 2007. *Interpretação sísmo-estratigráfica da porção da Bacia de Pelotas que engloba o cone do Rio Grande e a avaliação do seu potencial petrolífero*. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Reservatório e de Exploração, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Tese de Doutorado, 252 p.
- SANGUINETTI, Yvonne Therezinha. 1980. Miocene Ostracodes of the Pelotas Basin, State of Rio Grande do Sul. *Pesquisas*, **13**: 7-34.
- THIESEN, Zoah Valladao. 1977. Bolivinitidae e Caucasinidae (Foraminiferida) do Cenozóico superior da Bacia de Pelotas, Rio Grande do Sul. *Acta Geológica Leopoldesina*, **2**(3): 8-32.
- TROELSEN, Johannes & QUADROS, Luiz Padilha de. 1971. Distribuição bioestratigráfica dos nanofósseis em sedimentos marinhos (Aptiano-Mioceno) do Brasil. *Anais da Academia brasileira de Geociências*, **43**(suplemento):577-609.
- ZERFASS, Geise de Santana dos Anjos. 2009. *Estudos paleoambientais com base em isótopos de carbono, oxigênio e estrôncio em foraminíferos do Terciário da Bacia de Pelotas*. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Tese de Doutorado, 217 p.

### 3 ARTIGOS

#### 3.1 ARTIGO I

Guerra, R.M. & Tokutake, L.R. Evolução do conhecimento biocronoestratigráfico do Cretáceo nas bacias marginais brasileiras baseado em nanofósseis calcários. *Terrae didatica*. (Aceito para a publicação).

**Evolução do conhecimento biocronoestratigráfico do Cretáceo nas bacias marginais brasileiras baseado em nanofósseis calcários**

**<sup>a</sup>Rodrigo do Monte Guerra**

<sup>a</sup>Laboratório de Micropaleontologia, UNISINOS. Av. Unisinos, Bairro Cristo Rei, 950, 93022-000, São Leopoldo, RS, Brasil.

*rmguerra@unisinos.br*

**<sup>b</sup>Lucio Riogi Tokutake**

<sup>b</sup>Departamento de Exploração, Setor de Sedimentologia e Estratigrafia, PETROBRAS, UN-ES, Av. Fernando Ferrari, 1000, 29075-973 - Vitória, ES, Brasil.

*tokutake@petrobras.com.br*

**RESUMO** O advento da bioestratigrafia contribuiu em grande parte para a resolução de problemas estratigráficos, possibilitando a correlação dos estratos rochosos com base na análise dos fósseis. A utilização como ferramenta padrão na indústria do petróleo propiciou um grande avanço nos conceitos da bioestratigrafia e no conhecimento geológico. Devido a dificuldade de recuperação de macrofósseis na amostragem em perfurações petrolíferas, os microfósseis transformaram-se em ótima alternativa para correlações, estudos paleoecológicos e posicionamento cronoestratigráfico de poços. Dentre os grupos mais utilizados estão os nanofósseis calcários, devido à abundância com que ocorrem nas rochas aliada à ampla distribuição geográfica, rápida especiação e ao fato de serem facilmente recuperados da matriz sedimentar e preparados em laboratório. Este trabalho busca apresentar a importância



da bioestratigrafia e a evolução do conhecimento cronoestratigráfico do Cretáceo nas bacias marginais brasileiras, por meio dos principais biozoneamentos propostos com nanofósseis calcários.

**PALAVRAS-CHAVE** microfósseis, nanofósseis calcários, bioestratigrafia, Cretáceo.

*ABSTRACT BIOCHRONOSTRATIGRAPHIC KNOWLEDGE EVOLUTION IN THE BRAZILIAN CRETACEOUS MARGINAL BASINS BASED ON CALCAREOUS NANNOFOSSILS.* The use of the biostratigraphy effective contributes to the resolution of stratigraphic problems, allowing the strata correlation based on the use of fossils. Its use as a standard tool in the oil exploration, provided advances in the biostratigraphic concepts and the geological knowledge. Due to the difficulty in recover microfossils in drilled samples, microfossils are the best alternative for correlations, paleoecological studies and chronostratigraphic placement of wells. Calcareous nannofossils is one of the most important groups, because of their abundance in rocks, the wide geographic distribution, rapid speciation and the laboratory procedure. This study aims to present the importance of the biostratigraphy and the evolution of the biochronostratigraphic knowledge of the Cretaceous in the Brazilian marginal basins, by means of the main biostratigraphic frameworks based on calcareous nannofossils.

**KEY-WORDS** microfossils, calcareous nannofossils, biostratigraphy, Cretaceous.

## **1. Introdução**

O estudo dos nanofósseis calcários somado aos conceitos da bioestratigrafia, propiciou a criação de uma ferramenta indispensável para ampliar o conhecimento sobre a idade dos estratos depositados nas bacias sedimentares marginais brasileiras.

O primeiro registro de nanofósseis calcários foi relatado por Ehrenberg (1836) (apud Siesser, 1994), em amostras cretácicas e eocênicas da ilha Rügen no mar Báltico, Alemanha. O autor descreve objetos elípticos, discóides e achatados apresentando um ou poucos anéis concêntricos em sua superfície, classificando-os como de origem inorgânica, produto de concreções formadas por crescimento radial de cristais de carbonato de cálcio em torno de um núcleo. Após o estudo de Ehrenberg, diversas interpretações sobre a origem dos nanofósseis foram publicadas. Alguns autores relacionaram os nanofósseis calcários à foraminíferos (Sorby 1861, Wallich 1861) (apud Siesser, 1994). Somente no final do século XIX, foi proposta a primeira classificação moderna segundo a qual os nanofósseis calcários correspondem ao envoltório externo de diminutas algas unicelulares (Tizard et al. 1885, Murray & Renard, 1891) (apud Siesser, 1994).

A utilidade dos nanofósseis calcários em estudos de bioestratigrafia foi divulgada por Bramlette & Riedel (1954), porém somente no final da década de 1960, com o advento de projetos de perfuração oceânica como o *Deep Sea Drilling Project* (DSDP), pode-se perceber a importância estratigráfica deste grupo.

## **2. Nanofósseis calcários**

De acordo com Bown & Young (1998) o termo nanofósseis calcários refere-se à elementos carbonáticos inferiores a 30 µm pertencentes a duas grandes categorias: os cocólitos e as formas associadas (Figura 1).

Os cocólitos, geralmente circulares a elipsoidais, são provenientes da desagregação do esqueleto externo de algas unicelulares conhecidas como cocolitoforídeos. Já as formas associadas, de conformação mais variada, referem-se a partículas orgânicas taxonomicamente indefinidas (*incertae sedis*) ou provenientes de outros organismos não relacionados aos cocolitoforídeos, como dinoflagelados calcários (Antunes 1997).

Os nanofósseis calcários surgiram no Neotriássico e são encontrados em grande quantidade em vasas e sedimentos marinhos de granulometria fina, como folhelhos, siltitos argilosos e margas. No Brasil, ocorrem nas seções marinhas de todas as bacias da margem continental, da Bacia de Pelotas até a da Foz do Amazonas.

### **3. Bioestratigrafia**

O estudo da bioestratigrafia objetiva a divisão de uma seção rochosa em unidades bioestratigráficas, baseado no seu conteúdo fossilífero (Antunes & Melo 2001). Os fundamentos da bioestratigrafia foram criados pelo inglês William Smith, que em 1815 utilizou pela primeira vez o conteúdo fossilífero como ferramenta para mapear as rochas (Winchester 2004), enfatizando a sua posição estratigráfica. Smith foi o primeiro a reconhecer a importância dos fósseis no estudo de rochas sedimentares, que podem ser caracterizadas e correlacionadas com base no seu conteúdo fossilífero. A aplicação da bioestratigrafia teve início com a análise de macrofósseis, entretanto com o aprimoramento dos estudos micropaleontológicos, esta ferramenta adquiriu uma grande importância para estudos cronoestratigráficos e paleoecológicos.

A unidade fundamental na bioestratigrafia é a biozona, pacote rochoso caracterizado pelo seu conteúdo fossilífero, que permite diferenciá-lo dos estratos sobre e subjacentes. Os principais tipos de biozona são definidos por combinação de primeira ocorrência e extinção

global de um determinado táxon (zona de amplitude), primeira ocorrência ou extinção de dois taxa distintos (zona de intervalo) e abundância de um determinado táxon (zona de abundância) (Figura 2).

Na indústria do petróleo a zona de intervalo com a extinção de dois taxa distintos (Figura 2b) é a mais utilizada, isso porque as amostras de calha geralmente mostram-se muito contaminadas. Essa contaminação nada mais é do que o registro concomitante de fósseis mais novos (elementos contaminantes) desabados em meio a associações de fósseis mais antigos (supostamente *in situ*) sendo assim, perde-se o controle do nível de surgimento das entidades taxonômicas, o que inviabiliza o reconhecimento de unidades baseadas em primeiras ocorrências (Antunes & Melo 2001).

#### **4. Nanofósseis calcários e a bioestratigrafia**

Os nanofósseis calcários são empregados em estudos bioestratigráficos de depósitos marinhos, devido à abundância com que ocorrem nas rochas aliada à ampla distribuição geográfica, rápida especiação e ao fato de serem facilmente recuperados da matriz sedimentar e preparados em laboratório, o que agiliza a interpretação das análises tornando-os excelentes ferramentas para a bioestratigrafia (Antunes 1997).

A busca por uma bioestratigrafia com maior detalhe utilizando nanofósseis calcários teve início entre as décadas de 1960 e 1970, após o desenvolvimento de projetos internacionais como o *Deep Sea Drilling Project* (DSDP) e *Ocean Drilling Program* (ODP), além do investimento de empresas petrolíferas.

O primeiro biozoneamento utilizando nanofósseis calcários para o período Cretáceo foi criado por Stradner (1963), com amostras de países do leste europeu. O autor reconheceu

sete associações de espécies. Após o trabalho de Stradner, diversos autores propuseram novos biozoneamentos destacando-se Cepek & Hay (1969, 1970) com amostras do Kansas e Alabama, Manivit (1971) com amostras da França, e Roth (1973) com amostras do Pacífico central.

#### **4.1. Em busca de um biozoneamento internacional**

A idéia de criar um arcabouço bioestratigráfico que pudesse ser utilizado globalmente surgiu no início da década de 1970, com a análise de importantes seções cretáceas distribuídas principalmente nos continentes europeu, africano e americano. As amostras analisadas pertencem, em sua maioria, ao *Deep Sea Drilling Project (DSDP)*, importante projeto de perfuração oceânica iniciado no final da década de 1960. Grande parte dos trabalhos citados a seguir só foram possíveis devido às amostragens recuperadas pelo projeto.

Thierstein (1976) produziu a primeira tentativa de um arcabouço bioestratigráfico visando aplicabilidade global. O autor utilizou amostras do DSDP, mas o biozoneamento não atingiu grande resolução, sendo imediatamente substituído.

Sissingh (1977) estabeleceu o primeiro arcabouço bioestratigráfico internacional utilizando diversas seções e alguns estratotipos principalmente continentais do oeste europeu (França, Alemanha, Inglaterra e Holanda), Tunísia, Turquia e Omã. Foram propostas 26 zonas de intervalo codificadas de CC1 (Berriasiano) a CC26 (Maastrichtiano).

Roth (1978) apresentou um novo biozoneamento com amostras de poços do DSDP próximos a costa da Flórida, no Atlântico norte. O autor utilizou bioeventos semelhantes aos de Sissingh (1977), provando assim a correlação bioestratigráfica de nanofósseis em

seqüências continentais e oceânicas. Foram propostas 23 zonas de intervalo codificadas de NC1 (Berriasiano) a NC23 (Maastrichtiano).

Perch-Nielsen (1985) reeditou o arcabouço de Sissingh (1977) apresentando um detalhamento relativamente elevado principalmente para o Campaniano e Maastrichtiano.

Burnett (1998) sugeriu um novo biozoneamento para o Cretáceo, justificando que os bioeventos deveriam ser analisados separadamente para cada região. Foram utilizadas amostras principalmente do DSDP e ODP de diversas partes do globo, particularmente dos oceanos Índico e Atlântico, países europeus (Dinamarca, Alemanha, Inglaterra, Polônia, França, Holanda e Espanha), Estados Unidos e África do Sul. Foram propostas 48 zonas de intervalo codificadas em NJ18 (Neojurássico/Eocretáceo), BC1 a BC27 (Eocretáceo) e UC1 a UC20 (Neocretáceo).

Apesar de todo o refinamento obtido nos últimos anos, o trabalho de Sissingh (1977) ainda é o mais utilizado para correlações globais, sendo o escolhido neste estudo.

#### **4.2. Biozoneamento nas bacias marginais brasileiras**

As pesquisas com nanofósseis calcários nas bacias marginais brasileiras tiveram início no final da década de 1960 devido aos avanços na exploração petrolífera. Os trabalhos de bioestratigrafia mais importantes para a elaboração do biozoneamento foram gerados com amostras de praticamente todas as bacias, conforme a Figura 3.

Troelsen & Quadros (1971), publicaram o primeiro arcabouço bioestratigráfico baseado em nanofósseis calcários na margem continental brasileira, atingindo a seção Aptiano-Mioceno. Estes autores descreveram amostras de 36 poços (23 em plataforma continental e 13 no continente) localizados nos estados do Alagoas, Amapá, Bahia, Espírito

Santo, Maranhão, Pará, Rio Grande do Sul e Sergipe. Para o período Cretáceo, foram individualizadas cinco zonas de amplitude: *Nannoconus truitti* (neoaptiano/eoalbiano), *Lithastrinus grillii* (Turoniano/Santoniano), *Broinsonia parca* posteriormente chamada de *Aspidolithus parvus* (Campaniano), *Tetralithus nitidus trifidus* posteriormente chamada de *Uniplanarius trifidus* (Campaniano/Maastrichtiano) e *Arkhangelskiella cymbiformis* (Maastrichtiano).

Entre as décadas de 1980 e 1990, diversos estudos foram realizados em praticamente todas as bacias marginais brasileiras, tendo como resultado o aprimoramento do arcabouço estratigráfico proposto por Troelsen & Quadros (1971). Os trabalhos mais importantes para este refinamento são apresentados a seguir.

Gomide (1982) emendou a descrição da Zona *Lithastrinus grillii* de Troelsen & Quadros (1971), com base em estudo de 76 poços na Bacia de Campos,

Freitas (1984) descreveu mais de 60 poços na Bacia de Sergipe-Alagoas, sugerindo a formalização da Zona *Eiffellithus eximius* (Campaniano) de Bukry & Bramlette (1970) para a margem continental brasileira.

Antunes (1987), em estudo de 40 poços na Bacia do Espírito Santo, emendou a descrição da Zona *Broinsonia parca* de Troelsen & Quadros (1971). No mesmo ano Beurlen et al. (1987) (apud Antunes, 1998), baseados em nanofósseis calcários, palinórfos e ostracodes da Bacia de Sergipe-Alagoas, propuseram a Zona *Nannoconus quadriangulus apertus* (neoaptiano/eoalbiano).

Richter et al. (1987) analisaram poços na Bacia Potiguar, propondo a formalização das zonas *Axopodorhabdus albianus* (Cenomaniano/Turoniano) e *Corollithion achylosum* posteriormente chamada de *Stoverius achylosus* (Turoniano).

Cunha (1990), em estudo de 20 poços na Bacia do Ceará, propôs a inclusão das zonas *Nannoconus fragilis* (Albiano), *Braarudosphaera africana* (Albiano/Cenomaniano), além de formalizar a Zona *Marthasterites furcatus* (Coniaciano/Santoniano) de Cepek & Hay (1969) para a margem continental brasileira e emendar a descrição da Zona *Axopodorhabdus albianus* de Richter et al. (1987).

Antunes (1996) apresentou um estudo com todas as biozonas propostas até o momento, com seus aspectos positivos e negativos. Em função desses aspectos idealizou um arcabouço bioestratigráfico hipotético para a margem continental brasileira. As modificações propostas pelo autor foram as seguintes: a exclusão das Zonas *Nannoconus quadriangulus apertus* de Beurlen et al. (1987) (apud Antunes, 1998) e *Stoverius achylosus* de Richter et al. (1987); emenda da descrição das Zonas *Nannoconus fragilis* e *Braarudosphaera africana*, que passou a ser denominada Zona *Braarudosphaera* ex. gr. *B. africana*, ambas de Cunha (1990); e inclusão da Zona *Lithastrinus* spp. (Albiano/Campaniano), dividida em cinco subzonas: *Axopodorhabdus albianus* (neolbiano/eocenomaniano), *Radiolithus planus* (neocenomaniano/eoturoniano), *Eprolithus floralis* (neconiaciano/eosantoniano), *Lithastrinus moratus* (Santoniano) e *Lithastrinus grillii* (emenda da descrição de Troelsen & Quadros (1971)).

Oliveira (1997) reconheceu as biozonas de Antunes (1996) na Bacia de Campos e incluiu na Zona *Lithastrinus* spp. a subzona *Eprolithus eptapelatus* (neoturoniano/eoconiaciano), além de emendar a descrição da subzona *Eprolithus floralis* de Antunes (1996).

Oliveira & Costa (1997) propuseram um detalhamento da seção maastrichtiana com base em estudo na Bacia de Santos. Duas subzonas foram propostas para dividir a Zona



*Arkhangelskiella cymbiformis* de Troelsen & Quadros (1971), são as subzonas *Reinhardtites levis* e *Arkhangelskiella* spp. (Maastrichtiano).

Antunes (1998) em estudo nas bacias do Ceará e Potiguar testou o arcabouço bioestratigráfico hipotético criado por Antunes (1996) e emendado por Oliveira (1997) e Oliveira & Costa (1997). Neste estudo, o mais completo arcabouço bioestratigráfico com nanofósseis calcários das bacias marginais brasileiras disponível no meio acadêmico, o autor refina a zona *Arkhangelskiella* spp. de Oliveira & Costa (1997), dividindo-a em três subzonas: *Glaukolithus compactus*, *Gartnerago obliquum* e *Cribrosphaerella ehrenbergii* (todas do Maastrichtiano).

Antunes et al. (2004) discutiram as biozonas com nanofósseis calcários do Cretáceo indicando a existência de mais quatro biozonas. Por se tratar de um biozoneamento padrão utilizado pela PETROBRAS, as biozonas aparecem somente pelos códigos, sem o nome dos fósseis-guia (Figura 4).

## 5. Discussões

Conforme o histórico de estudos bioestratigráficos nas bacias marginais brasileiras, citados anteriormente, pôde-se perceber como os conceitos básicos da bioestratigrafia auxiliaram na evolução do arcabouço bioestratigráfico para a margem continental brasileira. O desenvolvimento de novos estudos aliados a uma melhor compreensão da distribuição estratigráfica dos fósseis-guia, conduziram a um aprimoramento do biozoneamento inicial. Uma comparação entre o biozoneamento proposto por Troelsen & Quadros (1971) e o de Antunes et al. (2004) mostra um refinamento para o Maastrichtiano e para a seção Turoniano-Santoniano.

O aprimoramento de estudos com nanofósseis calcários nas bacias marginais brasileiras, pode auxiliar num refinamento bioestratigráfico para o Albiano, Cenomaniano e Campaniano, idades que ainda possuem uma pequena resolução estratigráfica.

## 6. Agradecimentos

Os autores agradecem aos doutores Gerson Fauth, Rogério Loureiro Antunes e Andrea Concheyro, pelo auxílio e leitura crítica do manuscrito, aos doutores Luiz Carlos Veiga de Oliveira e Ismar de Souza Carvalho, pela revisão do manuscrito, bem como aos colegas do Laboratório de Micropaleontologia da UNISINOS.

## 7. Referências

Antunes R.L. 1987. Bioestratigrafia dos nanofósseis calcários Meso e Neocretáceo da porção emersa da Bacia do Espírito Santo. *B. Geoc. Petrobras*, **1**(1):2-11.

Antunes R.L. 1996. Biozonas de nanofósseis do Cretáceo da margem continental brasileira: problemas e possíveis soluções. *B. Geoc. Petrobras*, **10**(1/4):19-42.

Antunes R.L. 1997. *Introdução ao estudo dos nanofósseis calcários*. Rio de Janeiro: Inst. Geoc. UFRJ. 115 p.

Antunes R.L. 1998. *Nanofósseis calcários e sua bioestratigrafia no Cretáceo da Margem Continental Brasileira - Bacias do Ceará e Potiguar*. Rio de Janeiro: Progr. Pós-Grad.Geoc. UFRJ. 193 p. (Tese Dout.).

- Antunes R.L., Melo J.H.G. 2001. Micropaleontologia e estratigrafia de seqüências. In: Ribeiro H.J.P.S. ed. *Estratigrafia de Seqüências - fundamentos e aplicações*. São Leopoldo: Editora Unisinos. p. 137-218.
- Antunes R.L., Shimabukuro S., Oliveira L.C.V., Rosa A.L.Z., Costa S.O., Cunha A.A.S., Lima F.H.O. 2004. Em busca da bioestratigrafia de alta resolução - a performance do zoneamento de nanofósseis calcários da Petrobras. *B. Geoc. Petrobras*, **12**(2):421-427.
- Beurlen G., Freitas L.C.S, Uesugui N. Koutsoukos E.A.M. 1987. *Paleoecologia do baixo de São Francisco I - Área de Brejo Grande-Carapitanga*. Rio de Janeiro: Petrobrás/Cenpes/Divex/Sebipe. (Relat. Interno, Cenpes 789).
- Bown P.R., Young J.R. 1998. Introduction. In: Bown P.R. ed. 1998. *Calcareous Nannofossil Biostratigraphy*. London: British Microp. Soc. Series. Chapman and Hall/Kluwer Acad. Publ. p. 1-15.
- Bramlette M.N, Riel W.R. 1954. Stratigraphic value of discoasters and some other microfossils related to Recent coccolithophores. *Journal of Paleontology*, **28**:385-403.
- Bukry D., Bramlette M.N. 1970. Coccolith age determinations LEG 3, Deep Sea Drilling Project. *Initial Reports of the DSDP*, **3**:589-611.
- Burnett J.A. 1998. Upper Cretaceous. In: Bown P.R. ed. 1998. *Calcareous Nannofossil Biostratigraphy*. London: British Microp. Soc. Series. Chapman and Hall/Kluwer Acad. Publ. p. 132-199.
- Cepek P., Hay W.W. 1969. Calcareous nannoplankton and biostratigraphic subdivision of Upper Cretaceous. *Trans. Gulf Coast Assoc. Geol. Soc.*, **19**(1):323-336.

Cepek P., Hay W.W. 1970. Zonation of the Upper Cretaceous using calcareous nanoplankton. *Paläobotanik*, **3**:333-340.

Cunha A.A.S. 1990. *Bioestratigrafia de nanofósseis calcários da sub-bacia Mundaú (Bacia do Ceará)*. Rio Grande do Sul: Progr. Pós-Grad. Geoc. UFRGS. 151 p. (Dissert. Mestrado).

Ehrenberg C.G. 1836. Bemerkungen über feste mikroskopische anorganische Formen in den erdigen und derben Mineralien. *Berichte der Königlichen Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin*, **1836**: 84-85.

Freitas L.C.S. 1984. *Nanofósseis calcários e sua distribuição (Aptiano-Mioceno) na Bacia Sergipe-Alagoas*. Rio de Janeiro: Progr. Pós-Grad. Geoc. UFRJ, 247 p. (Dissert. Mestrado).

Gomide J. 1982. Bioestratigrafia do nanoplâncton calcário da Bacia de Campos. *B. Técn. Petrobras*, **25**(3):129-137.

Manivit H. 1971. *Nannofossiles calcaires du Crétacé français (Aptien-Maestrichtien). Essai de Biozonation appuyée sur les stratotypes*. Faculté des Sciences d'Orsay. 187 p. (Thèse Doctorate d'Etat).

Murray J., Renard A.F. 1891. Report on deep-sea deposits based on the specimens collected during the voyage of HMS Challenger in the years 1872 to 1876. In: *Report on the Scientific Results of the Voyage of HMS Challenger during the years 1873-1876*. London, **3**:1-525.

Oliveira L.C.V. 1997. *Arcabouço estratigráfico Albo-Maastrichtiano da Bacia de Campos: um estudo com base em nanofósseis calcários e suas correlações com marcos elétricos e a estratigrafia química*. Rio Grande do Sul: Progr. Pós-Grad. Geoc., UFRGS. 180 p. (Dissert. Mestrado).

- Oliveira L.C.V., Costa S.O. 1997. Proposal of new biostratigraphic units based on calcareous nannofossils for the Maastrichtian of the Santos Basin (Brazil). *An. Acad. brasil. Ciênc.*, **69**(1):37-58.
- Perch-Nielsen K. 1985. Mesozoic calcareous nannofossils. In: Bolli H.M., Saunders J.B., Perch-Nielsen K. eds. 1985. *Plankton Stratigraphy*. Cambridge: Cambridge Univ. Press. p. 329-426.
- Richter A.J., Freitas L.C.S., Wanderley M.D. 1987. Nanofósseis calcários: duas novas biozonas do Cretáceo médio da plataforma continental brasileira. *B. Técn. Petrobras*, **1**(2):225-233.
- Roth P.H. 1973. Calcareous nannofossils - Leg 17, Deep Sea Drilling Project. *Initial Reports of the DSDP*, **17**:695-795.
- Roth P.H. 1978. Cretaceous nannoplankton biostratigraphy and oceanography of the northwestern Atlantic Ocean. *Initial Reports of the DSDP*, **44**:731-760.
- Siesser W.G. 1994. Historical background of coccolithophore studies. In: Winter, A., Siesser, W.G. eds. 1994. *Coccolithophores*. Cambridge: Cambridge Univ. Press, p. 1-11.
- Sissingh W. 1977. Biostratigraphy of Cretaceous calcareous nannoplankton. *Geologie en Mijnbouw*, **56**: 37-65.
- Sorby H.C. 1861. On the organic origin of the so-called "crystalloids" of the chalk. *Annals and Magazine of Natural History, serie 3*, **8**:193-200.
- Stradner H. 1963. New contributions to Mesozoic stratigraphy by means of nannofossils. In: *PROCEEDINGS OF THE SIXTH WORLD PETROLEUM CONGRESS. Section 1*, Paper 4: 167-183.

Thierstein H.R. 1976. Mesozoic calcareous nannoplankton biostratigraphy of marine sediments. *Marine Micropaleontology*, **1**:325-362.

Tizard T.H., Moseley H.N., Buchahan J.V., Murray J. 1885. Narrative of the Cruise of HMS Challenger. In: *Report of the Scientific Results of the Voyage of the HMS Challenger during the years 1873-1876*. Edinburg, **1**:511-1110.

Troelsen J.C., Quadros L.P. 1971. Distribuição bioestratigráfica dos nanofósseis em sedimentos marinhos (Aptiano-Mioceno) do Brasil. *An. Acad. brasil. Geoc.*, **43**(suplemento):577-609.

Wallich G.C. 1861. Remarks on some novel phases of organic life, and on the boring powers of minute annelids, at great depths in the sea. *Annals and Magazine of Natural History, Series 3*, **8**:52-58.

Winchester S. 2004. *O mapa que mudou o mundo*. Rio de Janeiro: Editora Record. 412 p.

Zerfass G.S.A., Andrade E.J. 2008. Foraminíferos e Bioestratigrafia: uma abordagem didática. *Terræ Didática*, **3**(1):18-35.

## LISTA DE FIGURAS

**Figura 1** - Quatro gêneros distintos exemplificando os dois grandes grupos de nanofósseis calcários, os cocólitos (a e b) e as formas associadas (c e d). a) *Prediscosphaera*, b) *Eiffellithus*, c) *Braarudosphaera* e d) *Microrhabdulus*. Modificado de Perch-Nielsen (1985)

**Figura 2** - Principais tipos de biozona. a) Zona de amplitude indicada pela primeira e última ocorrência do táxon A; b) Zona de intervalo indicada pela extinção dos taxa A e B; e c) Zona de abundância do táxon B. Modificado de Zeffass & Andrade (2008)

**Figura 3** - Mapa com a localização das bacias sedimentares marginais brasileiras. Os símbolos da legenda indicam as bacias sedimentares onde foram realizados estudos de bioestratigrafia dos nanofósseis calcários do Cretáceo.

**Figura 4** - Evolução do estudo com nanofósseis calcários nas bacias marginais brasileiras, de Troelsen & Quadros (1971) a Antunes et al. (2004), correlacionada com o biozoneamento internacional de Sissingh (1977).

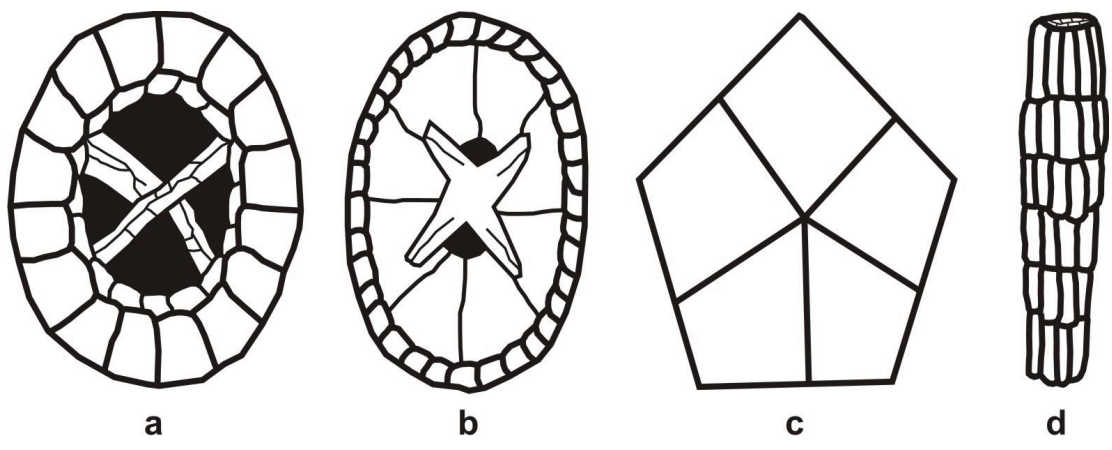


Figura 1



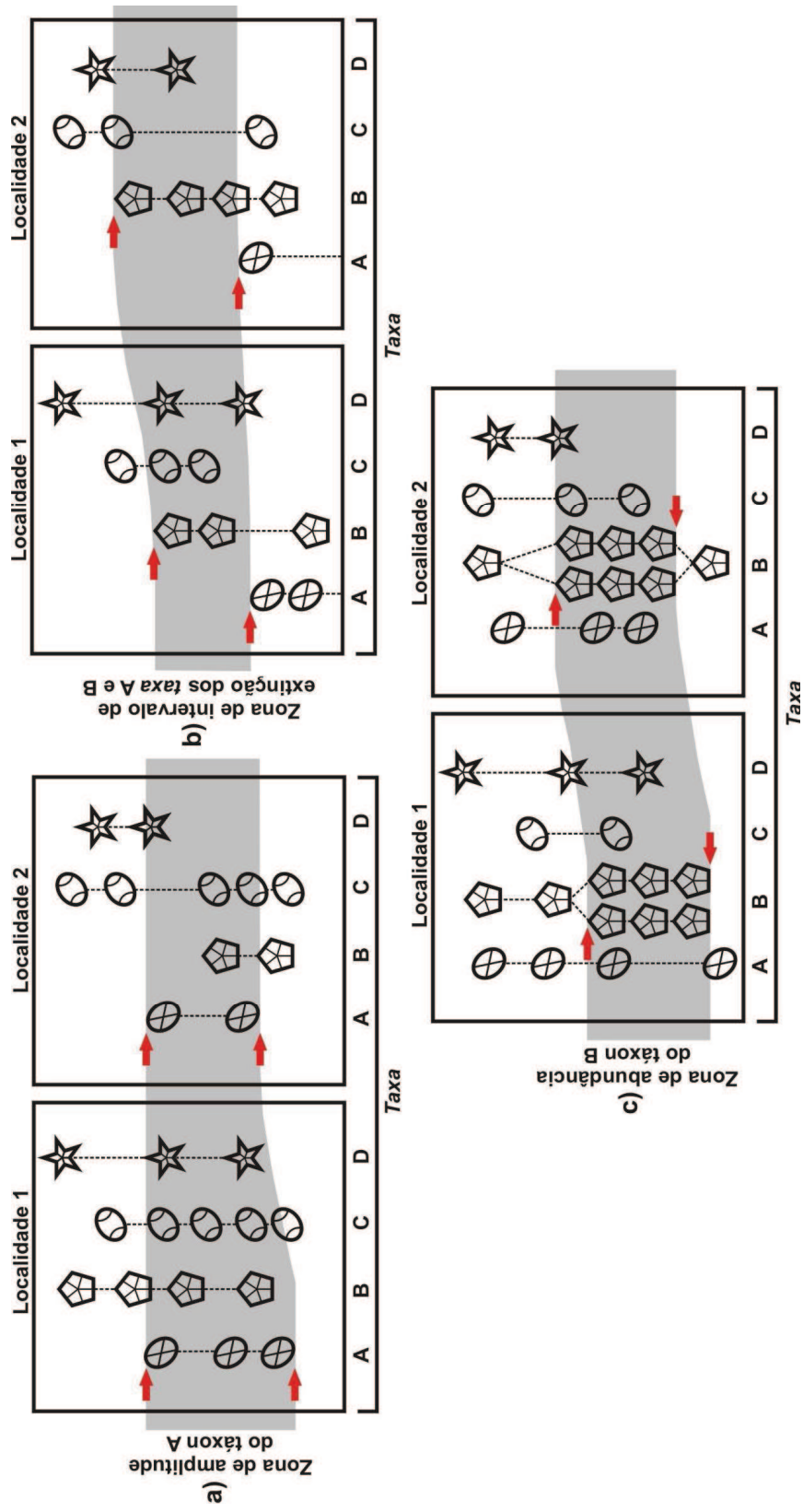


Figura 2

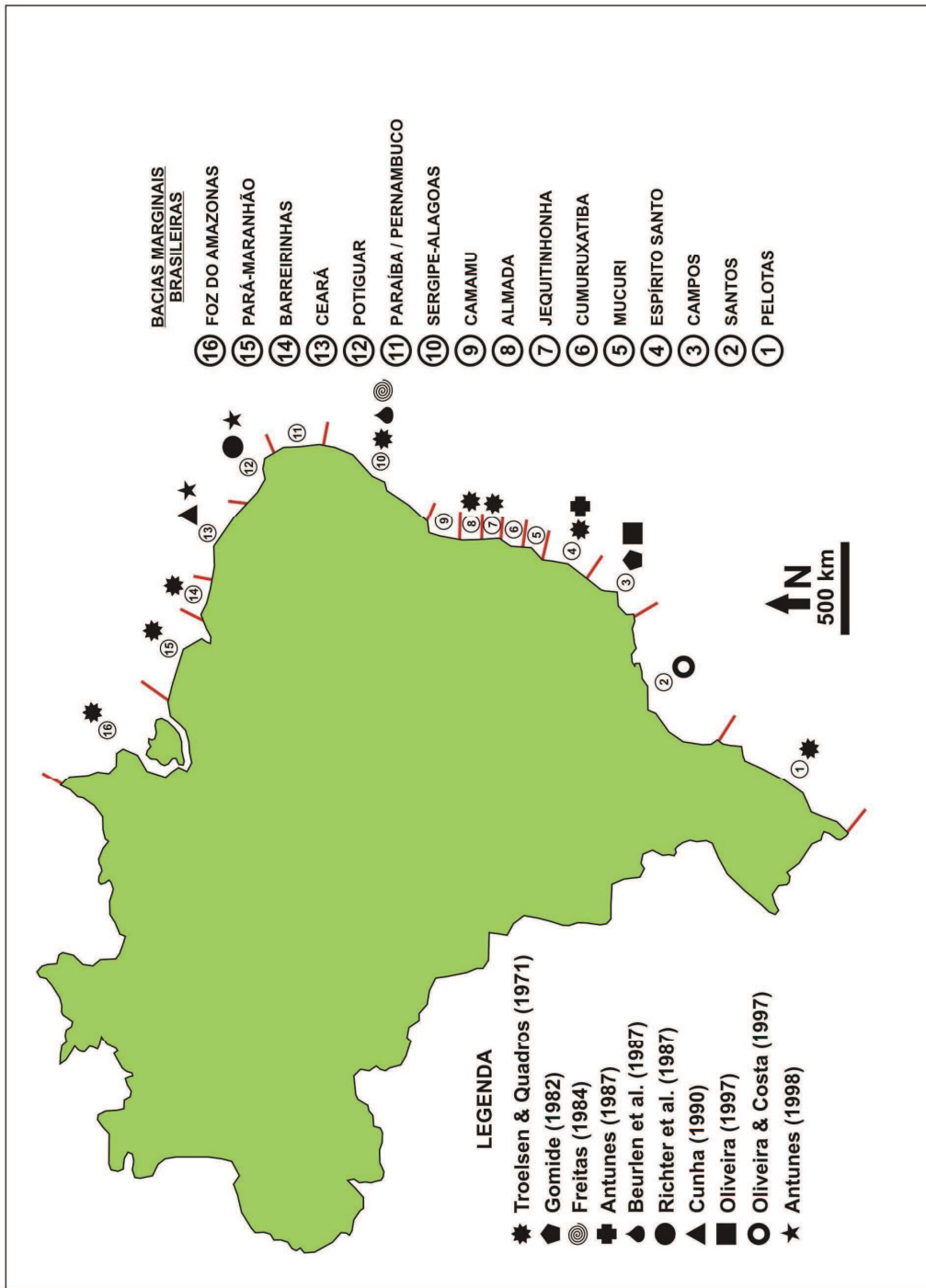


Figura 3

IDADE	Sisalgh 1977	Troelsen & Quadros 1971	Freitas 1984	Beurden et al. 1987	Richter et al. 1987	Cunha 1990	Antunes 1996 MAREM Equatorial Suldeste	Oliveira & Costa 1997	Antunes 1998	Antunes et al. 2004
MASTRICHTIANO	CC 26 c CC 25 b a CC 24	A. cymbiformis N-290	A. cymbiformis N-290	A. cymbiformis N-290		A. cymbiformis N-290	A. cymbiformis N-290	A. cymbiformis N-290	A. cymb. N-290	Arkhangelskella spp. N-290.3 N-290.31* N-290.3a* N-290.3b* C. ehrenbergii N-290.3c C. ehrenbergii N-290.3d G. compactus N-290.3a G. obliquum N-290.3b G. compactus N-290.3a R. levis N-290.1 Q. trifidum N-290
CAMPANIANO	CC 23 a / b b CC 22 a c CC 21 b b a CC 20 b CC 19 a b CC 18 b a CC 17	T. n. trifidus N-280 B. parca N-270	T. n. trifidus N-280 E. eximius N-265	Q. trifidum N-280 A. parcus N-270 E. eximius N-265		Q. trifidum N-280 E. eximius N-265	Q. trifidum N-280 A. parcus N-270 E. eximius N-265	Q. trifidum N-280 A. parcus N-270 E. eximius N-265	E. eximius N-265	A. parcus N-270 E. eximius N-265
SANT.	CC 16 CC 15 CC 14 CC 13 CC 12 CC 11	L. grillii N-260	L. grillii N-260	L. grillii N-260		M. furcatus N-260	L. grillii ou M. furcatus N-260.9 L. moratus N-260.7 E. floralis N-260.5	Lithastrus spp. N-260	L. grillii N-260.9 L. moratus N-260.7 E. floralis N-260.5 E. epipetalus N-260.4 R. planus N-260.3	L. grillii N-260.9 L. moratus N-260.7 E. floralis N-260.5 E. epipetalus N-260.4 R. planus N-260.3 N-260.2*
CON.	CC 10 CC 9	N. truttii N-250	N. truttii N-250	N. truttii N-250		S. achyosus N-255.2 A. albianus N-255.1 B. afficina N-252	R. planus N-260.3 A. albianus N-260.1 B. ex gr. B. afficina N-252	R. planus N-260.3 A. albianus N-260.1	A. albianus N-260.1	A. albianus N-260.1 N. truttii N-250
TUR.										
GENOMAN.										
ALB.										

Intervalo com ausência de formas diagnósticas    Intervalo não estudado    \* Ausência de informação sobre os fósseis-guia.

Figura 4

## 3.1.1 Documentação referente a aceitação do ARTIGO I



**Instituto de Geociências,**  
 Universidade Estadual de Campinas (Unicamp)  
 Caixa Postal 6152, CEP 13083-970, Campinas – SP – Brasil  
 Telefones: +55 19 3521-4564 e 3521-4568 – Fax +55 19 3289-1562  
 E-mail: [terraedidatica@ige.unicamp.br](mailto:terraedidatica@ige.unicamp.br)  
<http://www.ige.unicamp.br/terraedidatica>

Campinas, Cidade Universitária “Zeferino Vaz”, 7 de dezembro de 2010

Ilmo. Sr.  
 Rodrigo M. Guerra <[rodrigomguerra1@gmail.com](mailto:rodrigomguerra1@gmail.com)>  
 Laboratório de Micropaleontologia  
 UNISINOS, (51)3037.1000 - Ramal 1667

Ref. Aceitação de artigo e programação editorial  
 TD063-2010 *Evolução do conhecimento biocronoestratigráfico do Cretáceo nas bacias marginais brasileiras baseado em nanofósseis calcários*  
 Autor: Rodrigo M. Guerra e Lucio Riogi Tokutake  
 Revista *Terraæ Didática*

Prezado Senhor:

Por intermédio desta, temos a honra de informar que o artigo em epígrafe foi aceito, devendo ser publicado no volume 7, número 1, de 2011, da Revista *Terraæ Didática*, programado para sair até meados do próximo ano. Em breve, V. Sa. receberá as provas do trabalho, devidamente diagramado, para conferência e aprovação.

Na oportunidade, apresentamos a V.Sa. nossos votos do mais elevado apreço.

Atenciosamente,

Prof. Dr. Celso Dal Ré Carneiro  
 Revista *Terraæ Didática*  
 Editor-Chefe  
 Departamento de Geociências Aplicadas ao Ensino - IG-Unicamp  
 E-mails: [cedrec@ige.unicamp.br](mailto:cedrec@ige.unicamp.br)  
[terraedidatica@ige.unicamp.br](mailto:terraedidatica@ige.unicamp.br)

### 3.2 ARTIGO II

Guerra, R.M.; Fauth, G. & Tokutake, L.R. Cretaceous calcareous nannofossils from Pelotas Basin, Brazil: biostratigraphic and paleoecological inferences. *Journal of South American Earth Sciences*. (Submetido).

**Cretaceous calcareous nanofossils from Pelotas Basin, Brazil:  
biostratigraphic and paleoecological inferences**

Rodrigo do Monte Guerra<sup>a</sup>; Gerson Fauth<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Laboratório de Micropaleontologia, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS) -  
Av. UNISINOS, 950 - B. Cristo Rei/CEP: 93.022-000 - São Leopoldo, RS, Brazil. E-mail:  
*rmguerra@unisinis.br, gersonf@unisinis.br*

Lucio Riogi Tokutake<sup>b</sup>

<sup>b</sup>Departamento de Exploração, Setor de Sedimentologia e Estratigrafia, PETROBRAS,  
UNES, Av. Fernando Ferrari, 1000/CEP: 29.075-973, Vitória, ES, Brazil. E-mail:  
*tokutake@petrobras.com.br*

**Abstract** - Biostratigraphic and paleoecological inferences are made on the distribution of calcareous nanofossils in three wells drilled in the Pelotas Basin, southern Brazil. The succession is composed mainly of siliciclastic rocks sampled by cutting and short cored intervals. Eleven biozones were recognized, between the late Albian and Maastrichtian. Absolute and relative abundances of some Cretaceous calcareous nanofossils species suggest a prevalence of warm-water conditions, with cooling events during the late Turonian, late Turonian/early Coniacian, late Coniacian and late Santonian/early Campanian.

*Keywords:* Calcareous nanofossils, Biostratigraphy, Paleoecology, Cretaceous, Pelotas Basin, Brazil.

## **1. Introduction**

Deep wells drilled in the offshore portion of Pelotas Basin, provide an important geologic record linked to the Gondwana breakup and the evolution of the South Atlantic Ocean. Several micropaleontological studies have been carried out in the Pelotas Basin, however the majority are related to the Paleogene-Neogene interval (e.g. Closs, 1970; Fernandes, 1975; Thiesen, 1977; Sanguinetti, 1980; Ornellas, 1981; Koutsoukos, 1982; Carreño et al., 1997; Carreño et al., 1999; Anjos, 2004; Fischer et al., 2007; Anjos-Zerfass, 2009; Coimbra et al., 2009). The Cretaceous has been studied in few works (Gomide, 1989; Arai et al., 2006; Rodrigues and Fauth, 2007; Guerra et al., 2010; Premaor et al., 2010; Ceolin et al., 2011).

Paleoecological studies via Cretaceous calcareous nannofossils are rare in the Brazilian marginal basins (Cunha and Koutsoukos, 1998; Cunha, 2001) and absent in Pelotas Basin. Gomide (1989), however, provided an important and pioneering biostratigraphic study via calcareous nannofossils of the Early Cretaceous to Quaternary interval of the Pelotas Basin. Subsequently, several studies provided more details of Cretaceous calcareous nannofossils in Brazilian marginal basins (Cunha, 1990; Antunes, 1996; Oliveira and Costa, 1997; Antunes, 1998; Antunes et al., 2004). The present study aims to provide a detailed Cretaceous biostratigraphic framework for the Pelotas Basin and uses statistical data to support paleoecological inferences.

## **2. Geological settings**



The Pelotas Basin comprises an area of approximately 210,000 km<sup>2</sup> located between the Polônio High, in Uruguay and the Florianópolis High in the southern Brazil (Bueno et al., 2007) (Figure 1). The geological background is based on five wells drilled by PETROBRAS in the offshore portion, from 1974 to 1985.

**Figure 1** - Simplified map showing the limits of the Pelotas Basin and the locations of the wells analyzed in this study (Modified from Google Earth®)

The Pelotas Basin is considered the precursor Brazilian marginal basin and its geological evolution is related to the Gondwana breakup and the South Atlantic Ocean opening. Several authors have contributed to the geological knowledge of the Pelotas Basin (e.g. Kowsmann et al., 1974; Gonçalves et al., 1979; Conceição et al., 1988; Dias et al., 1994; Milani et al., 1994; Fontana, 1996; Bueno et al., 2007).

### **3. Material and methods**

This study is based, mainly, on siliciclastic rock samples from three offshore wells drilled in the Pelotas Basin (Wells 1-RSS-2, 2-RSS-1 and 1-SCS-3B in the Figure 1). A total of 301 microscope slides were analyzed, from cutting samples and an additional cored intervals in each of the three well (Table 1).

**Table 1** - Sample number for each well and the sampled intervals.



The slides were prepared at the Laboratório de Micropaleontologia, Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS according to the methodology of Antunes (1997) and examined in a petrographic binocular microscope (Olympus BH-2) at 1000x magnification.

Relative (defined as the individuals number of a species) and absolute (total specimens per sample) abundances were estimated over seven longitudinal transverses of each slide, corresponding to about 1,450 fields of view. Four categories were used to denote relative abundances, defined as: rare, 1-5 specimens per sample; frequent, 6-19 specimens per sample; common, 20-50 specimens per sample; and abundant, > 50 specimens per sample. Similarly, four categories of absolute abundances: barren (B), total absence of calcareous nannofossils; rare (R), 1-49 specimens per sample; common (C), 50-150 specimens per sample; and abundant (A), > 150 specimens per sample.

The results of absolute and relative abundances for each sample were processed in the software Past (version 2.07) to calculate the species richness, the Shannon index, and to correlate the species richness with two of the most dissolution-resistant species, in order to assess sample preservation. High values of positive correlation ( $>0.5$ ) imply similar affinities, whereas high values of negative correlation ( $>-0.5$ ) suggest opposing affinities. Samples with low species richness were excluded from the paleoecological inferences as those could indicate incorrect patterns.

#### **4. Biostratigraphy**

Nannoplankton biostratigraphic data from other areas along the Brazilian continental margin delimited eight biozones (Troelsen and Quadros, 1971; Freitas, 1984; Beurlen et al., 1987; Richter et al., 1987). Based on data from those studies Gomide (1989) proposed a comprehensive nannoplankton zonal scheme for the Cretaceous of the Pelotas Basin. In the last twenty years the biostratigraphic framework for the Brazilian marginal basins has been continuously improved, most recently one consist of twenty biozones (Cunha, 1990; Antunes, 1996; Oliveira and Costa, 1997; Antunes, 1998; Antunes et al., 2004).

This study follows the last biostratigraphic framework, as proposed by Antunes et al. (2004) where the authors published only biozone codes without the biostratigraphic marker names, due to confidentiality restrictions. Biozones not reported in any available study are N-260.2, N-290.3d, N-290.3e and N-290.3f (Figure 2).

**Figure 2** - The biostratigraphic framework for Brazilian marginal basins (Antunes et al., 2004) correlated with the nannoplankton zonation of Sissingh (1977). The biozones that are not reported in any available study are marked by asterisks.

The species identified herein are reported in the Appendix 1 and the significant taxa are illustrated in Figures 3 and 4. The taxonomy follows the classification and organization of Bown and Young (1997). Bibliographic references are provided by Perch-Nielsen (1985) and Burnett (1998).

**Figure 3** - **A**, *Ahmuellerella octoradiata*, Well 1-SCS-3B/cutting sample 3,390-3,405 m. **B/C**, *Reinhardtites levis*, Well 2-RSS-1/cored sample 4,483.50 m. **D/E**, *Tranolithus orionatus*,

Well 1-SCS-3B/cutting sample 3,855-3,870 m. **F/G**, *Zeugrhabdotus bicrescenticus* (= *Glaukolithus compactus*), Well 1-SCS-3B/cutting sample 3,855-3,870 m. **H/I**, *Eiffellithus eximius*, Well 1-SCS-3B/cutting sample 3,360-3,375 m. **J/K**, *Eiffellithus turriseiffelii*, Well 1-RSS-2/cutting sample 4,635-4,650 m. **L/M**, *Rhagodiscus asper*, Well 1-RSS-2/cutting sample 5,160-5,175 m. **N**, *Watznaueria barnesiae*, Well 2-RSS-1/cored sample 4,483.50 m. **O/P**, *Arkhangelskiella cymbiformis*, Well 2-RSS-1/cored sample 4,486.10 m

**Figure 4** - **A/B**, *Broinsonia parca*, Well 2-RSS-1/cored sample 4,487.70 m. **C/D**, *Gartnerago segmentatum*, Well 1-SCS-3B/cutting sample 3,390-3,405 m. **E**, *Nannoconus truitti*, Well 1-RSS-2/cored sample 5,043.25 m. **F**, *Eprolithus moratus* (= *Eprolithus eptapetalus*), Well 1-RSS-2/cutting sample 4,755-4,770 m. **G**, *Eprolithus floralis*, Well 1-SCS-3B/cutting sample 3,840-3,855 m. **H**, *Lithastrinus grillii*, Well 1-SCS-3B/cutting sample 3,240-3,255 m. **I**, *Micula decussata*, Well 2-RSS-1/cored sample 4,482.50 m. **J**, *Radiolithus planus*, Well 1-SCS-3B/cutting sample 4,140-4,155 m. **K**, *Uniplanarius trifidus* (= *Quadrum trifidum*), Well 2-RSS-1/cored sample 4,482.50 m.

Due to the use of mostly cutting samples, eleven bioevents between the late Albian and Maastrichtian, were defined by the last occurrence of particular taxa. Details of the biostratigraphic analyses of each well are given below and in Figures 5-7 for cuttings and Figure 8 for core samples.

#### 4.1. Well 1-RSS-2

Fifteen of the cutting samples were barren (20%) but the remainder yielded 44 species and five last occurrence (LO) events. The stratigraphic distribution and abundances of the nanoplankton are shown in Figure 5.

The well 1-RSS-2 ranges from the late Albian to Maastrichtian. The upper Albian/lower Cenomanian (Biozone N-250) is delimited by *Nannoconus truitti* that ranges up to 4,935 m, where a disconformity marks the loss of the middle/upper Cenomanian - lower Turonian interval. The upper Turonian (Biozone N-260.3) ranges from 4,935 m to the LO of *Radiolithus planus* at 4,770 m, from there the upper Turonian/lower Coniacian (Biozone N-260.4) extends to the LO of *Eprolithus moratus* (= *Eprolithus eptapetalus*) at 4,335 m, whereas the upper Coniacian (Biozone N-260.5) can only be traced to 4,305 where its top marked *Eprolithus floralis* and another nannofossils disappear due to poor preservation. The barren interval extends through the Santonian - Campanian, but Maastrichtian (Biozone N-290.3) could be traced between 4,110-4,035 m to the LO of *Arkhangelskiella cymbiformis*.

The presence of *Nannoconus truitti* in the upper Albian/lower Cenomanian interval, however, is confirmed in the core samples (see Figure 8a).

**Figure 5** - Stratigraphic distribution of the species and biologic events in the cutting samples from the Well 1-RSS-2.

#### 4.2. Well 2-RSS-1

Three of the cutting samples were barren (10.71%), but elsewhere they yielded 21 species and two LOs. The stratigraphic distribution and abundances of these nanoplankton are shown in Figure 6.

The Well 2-RSS-1 spans only the Maastrichtian section. The top of the lower Maastrichtian (Biozone N-290.3a) was placed at 3,870 m on the LO of *Zeugrhabdotus bicrescenticus* (= *Glaukolithus compactus*). The top of the Maastrichtian (Biozone N-290.3) was delimited at 3,840 m based on the LO *Arkhangelskiella cymbiformis*.

The cored samples revealed a biozone that was not described in the cutting sample analysis. The lower Maastrichtian (Biozone N-280) was recognized between 4,485-4,650 meters by the occurrence of *Uniplanarius trifidus* (= *Quadrum trifidum*) (see Fig. 8b).

**Figure 6** - Stratigraphic distribution of the species and biologic events in the cutting samples from the well 2-RSS-1.

### 4.3. Well 1-SCS-3B

This well provided the best biostratigraphic resolution. The cutting sample analyses revealed that 31 samples (26.72%) were barren, but elsewhere 45 species and nine LOs were recognized. The stratigraphic distribution and abundances of the nannoplankton are shown in Figure 7.

The well 1-SCS-3B ranges from the late Albian to early Maastrichtian. The upper Albian/lower Cenomanian (Biozone N-250) was traced up to 4,095 m by the presence of *Nannoconus truitti*, where an apparent disconformity marked the absence of middle/upper Cenomanian - lower Turonian strata. The upper Turonian (Biozone N-260.3) was placed at 3,795 m on the LO of *Radiolithus planus*, and the upper Turonian/lower Coniacian (Biozone N-260.4) was traced from there to 3,555 m at the LO *Eprolithus moratus* (= *Eprolithus eptapetalus*). The upper Coniacian (Biozone N-260.5) was traced up section on the presence

of *Eprolithus floralis* to 3,390 m, where another disconformity marked the loss of the rest of the upper Coniacian - lower/middle Santonian interval. The upper Santonian/lower Campanian (Biozone N-260.9) was placed on the LO of *Lithastrinus grillii* at 3,225 m, whereas the middle Campanian (Biozone N-265) was marked at 3,165 m on the LO of *Eiffelithus eximius*. The upper Campanian/lower Maastrichtian (Biozone N-270) was traced to 3,150 m based on the LO of *Broinsonia parca*, and the lower Maastrichtian (Biozone N-280) was placed at 2,955 m by the LO of *Uniplanarius trifidus* (= *Quadrum trifidum*). The top of the lower Maastrichtian (Biozone N-290.1) was put at 2,910 m on the LO of *Reinhardtites levis*, but the biozones for the upper Maastrichtian could not be determined, because the LO's for the markers-taxa were found lower than expected.

The presence of *Nannoconus truitti* in the upper Albian/lower Cenomanian interval, however, is confirmed in the core samples (see Fig. 8c).

**Figure 7** - Stratigraphic distribution of the species and biologic events in the cutting samples of the well 1-SCS-3B.

**Figure 8** - Stratigraphic distribution of the species in the cored samples: **a)** Well 1-RSS-2; **b)** Well 2-RSS-1; and **c)** Well 1-SCS-3B.

The A-A' section (Figure 9), composed from the data obtained in the biostratigraphic analyses, reveals a low correlation between the Well 2-RSS-1 with the other wells studied. This could be related to geological faults occurred in the basin. However, our biostratigraphic results have allowed refinement in the previous biostratigraphic framework proposed by

Gomide (1989), mainly due to the identification of Turonian biozones in Well 1-RSS-2 and higher resolution for the Coniacian and Campanian in Well 1-SCS-3B (Figure 10).

**Figure 9** - Section A-A' showing the correlation between the three wells analyzed in this study.

**Figure 10** - Correlation between the biostratigraphic framework of Gomide (1989) and that in this study, which provide a higher resolution and indicate the presence of the disconformities.

## 5. Paleoecology

Paleoecological inferences have been made via quantitative calcareous nannofossils analyses. The taxa distribution may reflect paleoecological and paleoenvironmental factors, such as sea-surface temperature and nutrient supply. However, diagenetic processes (e.g. dissolution) should also be taking into account, as they can strongly affect the original assemblage.

To test the impact of preservation on the composition of the assemblages, we applied a correlation between the species richness and the abundances of the most dissolution-resistant species, *Watznaueria barnesiae* and *Micula decussata*, by mean of the statistical software Past (version 2.07) (Hill, 1975; Thierstein, 1980; Roth and Krumbach, 1986). When diagenetic processes profoundly alter the original assemblage, a drop in nannofossil abundance and

species richness is expected, whereas the relative abundance of *W. barnesiae* and *M. decussata* increases.

The results show a positive correlation between species richness with *W. barnesiae* (1-RSS-2:  $r = 0.686$  / 2-RSS-1:  $r = 0.582$  / 1-SCS-3B:  $r = 0.722$ ) and *M. decussata* (1-RSS-2:  $r = 0.203$  / 2-RSS-1:  $r = 0.451$  / 1-SCS-3B:  $r = 0.471$ ), that excludes a strong influence of diagenetic processes on the assemblage. When preservation is not influential on calcareous nannofossils abundance, the latter may provide important paleoenvironmental information.

Selected species of calcareous nannofossils were used to make paleoecological inferences. Most of them have been used widely, as shown in Table 2.

**Table 2** - Paleoecological preferences of selected calcareous nannofossils species, with supporting references. Abbreviations: **IB.** Interior Basin; **S.** South; **E.** Equatorial; **N.** North. References: **1.** Wind, 1979; **2.** Thierstein, 1981; **3.** Erba, 1987; **4.** Mutterlose, 1991; **5.** Erba et al., 1992; **6.** Eshet et al, 1992; **7.** Lamolda et al, 1994; **8.** Cunha and Koutsoukos, 1998; **9.** Premoli Silva et al, 1999; **10.** Mutterlose and Kessels, 2000; **11.** Street and Bown, 2000; **12.** Lees, 2002; **13.** Tantawy, 2003; **14.** Elson and Bralower, 2005; **15.** Watkins and Self-Trail, 2005; **16.** Thibald and Gardin, 2006; **17.** Hardas and Mutterlose, 2007; **18.** Tantawy, 2008; **19.** Linnert and Mutterlose, 2009; **20.** Sheldon et al, 2010; **21.** Thibald and Gardin, 2010; **22.** Del Rio et al., 2011.

The species were grouped in two categories as follows: 1) cool-water taxa: *Ahmuellerella octoradiata*, *Arkhangelskiella cymbiformis*, *Eprolithus floralis*, *Gartnerago segmentatum*, *Tranolithus* spp. and *Zeugrhabdotus* spp.; and 2) warm-water taxa:



*Cretarhabdus* spp., *Eiffelithus turriseiffelii*, *Micrantolithus* spp., *Nannoconus* spp., *Rhagodiscus asper* and *Watznaueria barnesiae*. Samples with low values of species richness were not taken into account in the paleoecological inferences, since these may indicate incorrect patterns.

Analyses of the cutting samples revealed some peaks in the relative abundance of cool-water taxa coincident with to the decrease of the warm-water forms, mainly *W. barnesiae*, suggesting cooling events (Figure 11). *Watznaueria barnesiae* and *Micula decussata* are considered opportunistic species, and their abundances may be related to reproductive peaks in stressed environments (Eshet et al., 1992; Street and Bown, 2000; Lees, 2002; Tantawy, 2003; Lees et al., 2005; Lees et al., 2006; Del Rio et al., 2011).

**Figure 11** - Paleoecologic inferences for each well (cutting samples), showing the species richness, nannofossil abundance and the percentage of selected calcareous nannofossils species. The intervals marked in grey suggest cooling events, where the abundance of cool-water taxa increase simultaneously with the decrease of the warm-water forms.

In the cored samples the results show the prevalence of a warm interval in Well 1-RSS-2 (Figure 12a) as well as in Well 2-RSS-1 (Figure 12b). The cored samples of Well 1-SCS-3B show a low resolution due to the low values of species richness (Figure 12c).

**Figure 12** - Paleoecologic inferences for each well (cored samples), showing the species richness, nannofossil abundance and the percentage of selected calcareous nannofossils species. **a)** Well 1-RSS-2; **b)** Well 2-RSS-1; and **c)** Well 1-SCS-3B.

The distribution and percentages of the paleoecological indicator taxa through time in the wells studied are given below, along with the species richness and the Shannon index.

### 5.1. Late Albian/early Cenomanian (Wells 1-RSS-2 and 1-SCS-3B)

The species richnesses are 34 (Well 1-RSS-2) and 15 (Well 1-SCS-3B), and the Shannon indexes are 1.93 (Well 1-RSS-2) and 0.59 (Well 1-SCS-3B). In Well 1-RSS-2 the dominant taxon is *W. barnesiae* (36.79%), followed by *N. truitti* (5.73%), *Zeugrhabdotus* spp. (5.43%), *E. floralis* (2.88%), *R. asper* (1.88%), *Tranolithus* spp. (1.36%), *E. turriseiffelii* (0.91%), *G. segmentatum* (0.42%) and *A. cymbiformis* (0.20%). The dominance of *W. barnesiae* (81.22%) is also recorded in Well 1-SCS-3B, followed by *Tranolithus* spp. (3.03%), *E. floralis* (2.96%), *E. turriseiffelii* (1.07%), *N. truitti* (0.95%), *Zeugrhabdotus* spp. (0.62%) and *G. segmentatum* (0.23%). The percentages of warm-water taxa are 45.31% (Well 1-RSS-2) and 83.24% (Well 1-SCS-3B), while the percentages of cool-water taxa are 10.29% (Well 1-RSS-2) and 6.84% (Well 1-SCS-3B).

### 5.2. Late Turonian (Wells 1-RSS-2 and 1-SCS-3B)

The species richnesses are 31 (Well 1-RSS-2) and 25 (Well 1-SCS-3B), and the Shannon indexes are 1.65 (Well 1-RSS-2) and 1.40 (Well 1-SCS-3B). In Well 1-RSS-2 the dominant taxon is *W. barnesiae* (44.69%), followed by *E. floralis* (4.18%), *Tranolithus* spp. (3.13%), *Zeugrhabdotus* spp. (2.99%), *R. asper* (1.64%), *E. turriseiffelii* (1.33%), *G. segmentatum* (0.95%), *A. cymbiformis* (0.65%) and *M. decussata* (0.27%). In Well 1-SCS-3B *W. barnesiae* (45.21%) is also the dominant taxa, followed by *E. floralis* (17.68%),

*Tranolithus* spp. (14.48%), *Zeugrhabdotus* spp. (3.32%), *E. turriseiffelii* (3.13%), *G. segmentatum* (0.58%) and *A. octoradiata* (0.24%). The percentages of warm-water taxa are 47.66% (Well 1-RSS-2) and 48.34% (Well 1-SCS-3B), while the percentages of cool-water taxa are 11.90% (Well 1-RSS-2) and 36.30% (Well 1-SCS-3B).

### 5.3. Late Turonian/early Coniacian (Wells 1-RSS-2 and 1-SCS-3B)

The species richnesses are 34 (Well 1-RSS-2) and 26 (Well 1-SCS-3B), and the Shannon indexes are 1.55 (Well 1-RSS-2) and 1.68 (Well 1-SCS-3B). In Well 1-RSS-2 the dominant taxon is *W. barnesiae* (30.05%), followed by *Zeugrhabdotus* spp. (5%), *E. turriseiffelii* (4.35%), *Tranolithus* spp. (3.62%), *A. cymbiformis* (2.21%), *E. floralis* (1.01%), *M. decussata* (0.64%), *G. segmentatum* (0.53%) and *A. octoradiata* (0.12%). The dominance of *Watznaueria barnesiae* (42.51%) is also recorded in Well 1-SCS-3B, followed by *Tranolithus* spp. (13.28%), *E. floralis* (8.24%), *E. turriseiffelii* (4.49%), *Zeugrhabdotus* spp. (4.45%), *M. decussata* (1.29%) and *G. segmentatum* (0.14%). The percentages of warm-water taxa are 34.4% (Well 1-RSS-2) and 47% (Well 1-SCS-3B), while the percentages of cool-water taxa are 12.49% (Well 1-RSS-2) and 26.11% (Well 1-SCS-3B).

### 5.4. Late Coniacian (Wells 1-RSS-2 and 1-SCS-3B)

The species richnesses are 20 (Well 1-RSS-2) and 26 (Well 1-SCS-3B), and the Shannon indexes are 2.04 (Well 1-RSS-2) and 1.61 (Well 1-SCS-3B). In Well 1-RSS-2 the dominant taxon is *W. barnesiae* (41.51%), followed by *A. cymbiformis* (3.33%), *E. turriseiffelii* (3.33%), *M. decussata* (3.24%), *E. floralis* (1.66%), *Zeugrhabdotus* spp. (1.66%), *Tranolithus* spp. (1.66%) and *G. segmentatum* (1.14%). Well 1-SCS-3B shows the dominance

of *W. barnesiae* (51.80%), followed by *Tranolithus* spp. (9.99%), *Zeugrhabdotus* spp. (5.54%), *E. floralis* (3.05%), *M. decussata* (2.95%), *E. turriseiffelii* (2.07%) and *G. segmentatum* (1.39%). The percentages of warm-water taxa are 44.84% (Well 1-RSS-2) and 55.87% (Well 1-SCS-3B), while the percentages of cool-water taxa are 9.45% (Well 1-RSS-2) and 19.97% (Well 1-SCS-3B).

### **5.5. Late Santonian/early Campanian (Well 1-SCS-3B)**

The species richness is 28, and the Shannon index is 1.53. The dominant taxon is *W. barnesiae* (29.23%), followed by *M. decussata* (16.92%), *Tranolithus* spp. (7.68%), *Zeugrhabdotus* spp. (1.72%), *A. cymbiformis* (0.78%) and *E. turriseiffelii* (0.04%). The percentage of warm-water taxa is 29.27%, while the percentage of cool-water taxa is 10.18%.

### **5.6. Middle Campanian (Well 1-SCS-3B)**

The species richness is 15, and the Shannon index is 1.72. The dominant taxon is *W. barnesiae* (26.66%), followed by *M. decussata* (18.06%), *Tranolithus* spp. (6.90%), *A. cymbiformis* (2.80%) and *Zeugrhabdotus* spp. (2.06%). The percentage of warm-water taxa is 26.66%, while the percentage of cool-water taxa is 11.76%.

### **5.7. Late Campanian/early Maastrichtian (Well 1-SCS-3B)**

The species richness is 7, and the Shannon index is 1.77. The dominant taxon is *W. barnesiae* (39.29%), followed by *M. decussata* (21.43%) and *Tranolithus* spp. (10.71%). The percentage of warm-water taxa is 39.29%, while the percentage of cool-water taxa is 10.71%.

### 5.8. Late Maastrichtian (Wells 2-RSS-1 and 1-SCS-3B)

The species richnesses are 21 (Well 2-RSS-1) and 10 (Well 1-SCS-3B), and the Shannon indexes are 0.86 (Well 1-RSS-2) and 1.04 (Well 1-SCS-3B). In Well 2-RSS-1 the dominant taxon is *M. decussata* (22.11%), followed by *W. barnesiae* (11.72%), *Z. bicrescenticus* (4.49%), *A. cymbiformis* (0.75%), *Tranolithus* spp. (0.2%) and *E. turriseiffelii* (0.03%). Well 1-SCS-3B shows the dominance of *M. decussata* (12.47%), followed by *W. barnesiae* (9.72%) and *G. segmentatum* (1.3%). The percentages of warm-water taxa are 11.75% (Well 2-RSS-1) and 9.72% (Well 1-SCS-3B), while the percentages of cool-water taxa are 5.43% (Well 2-RSS-1) and 1.3% (Well 1-SCS-3B).

### 5.9. Maastrichtian (Wells 1-RSS-2 and 2-RSS-1)

The species richnesses are 8 (Well 1-RSS-2) and 7 (Well 2-RSS-1), and the Shannon indexes are 1.10 (Well 1-RSS-2) and 1.12 (Well 2-RSS-1). In Well 1-RSS-2 the dominant taxon is *W. barnesiae* (33.33%), followed by *A. cymbiformis* (20.83%), *Tranolithus* spp. (16.67%) and *M. decussata* (8.33%). Well 2-RSS-1 shows the dominance of *W. barnesiae* (6.25%), followed by *M. decussata* (3.13%) and *A. cymbiformis* (3.13%). The percentages of warm-water taxa are 33.33% (Well 1-RSS-2) and 6.25% (Well 2-RSS-1), while the percentages of cool-water taxa are 37.5% (Well 1-RSS-2) and 3.13% (Well 2-RSS-1).

## 6. Discussion

The high percentages of warm-water taxa combined with low percentages of cool-water taxa, could suggest warm-water conditions in the late Albian/early Cenomanian of the Pelotas Basin. Some studies in the Atlantic Ocean have confirmed this pattern (e.g. Norris and Wilson, 1998; Huber et al. 2002; Schouten et al., 2003; Forster et al., 2007; Jacobs et al., 2009). During the late Turonian it were observed in some intervals of the Wells 1-RSS-2 and 1-SCS-3B, a rise of cool-water taxa percentages (primarily *Eprolithus floralis*) while the warm-water taxa decreased (mainly *W. barnesiae*) (see Fig. 9), suggesting a cooling trend. This pattern was also reported by Lamolda et al. (1994) and Tantawy (2008) regarding calcareous nannofossils of the Cenomanian/Turonian transition from England and southern Morocco, respectively. Some studies regarding different methods have also pointed late Turonian cooling water (e.g. Voigt, 2000; Voigt and Wiese, 2000; Lees, 2002; Wiese and Voigt, 2002; Forster et al., 2007; Kosták and Wiese, 2011; Linnert et al, 2011). A few minor episodes of cooling water were recorded in the late Turonian/early Coniacian interval (Wells 1-RSS-2 and 1-SCS-3B) as well as another one in the late Coniacian (Well 1-SCS-3B), suggesting a prevalence of warm-water conditions with some cooling water events amid. The late Turonian/early Coniacian cooling water interval was also reported by Stoll and Schrag (2000) and Friedrich et al. (2008). The last interval of cooling water recorded in this study was the late Santonian/early Campanian one (Well 1-SCS-3B), which seem to be correlated to similar events that have been reported in some geochemical and paleontological studies (e.g. Pirrie and Marshall, 1990; Petrizzo, 2002; Rey et al, 2004; Forster et al, 2007; Mizintseva et al, 2009; Wendler et al, 2009). The middle Campanian (Well 1-SCS-3B), upper Campanian/lower Maastrichtian (Well 1-SCS-3B), lower Maastrichtian (Wells 2-RSS-1 and 1-SCS-3B) and Maastrichtian sections (Wells 1-RSS-2 and 2-RSS-1) shows low values of species richness, preventing the data interpretation.

## 7. Conclusion

The calcareous nannofossil zonation presented in this study improves the previous biostratigraphic framework proposed by Gomide (1989) by providing higher resolution data. Eleven biozones were recognized, from the upper Albian to Maastrichtian. The biozones recognized are N-250, N-260.3, N-260.4, N-260.5, N-260.9, N-265, N-270, N-280, N-290.1, N-290.3a and N-290, marked by the LOs of *Nannoconus truitti*, *Radiolithus planus*, *Eprolithus moratus* (= *Eprolithus eptapetalus*), *Eprolithus floralis*, *Lithastrinus grillii*, *Eiffellithus eximius*, *Broinsonia parca*, *Uniplanarius trifidus* (= *Quadrum trifidum*), *Reinhardtites levis*, *Zeugrhabdotus bicrescenticus* (= *Glaukolithus compactus*) and *Arkhangelskiella cymbiformis*, respectively. Biozones N-260.1, N-260.7, N-290.3b and N-290.3d could not be distinguished due to the absence of marker-taxa, as well as biozones N-260.2, N-290.3d, N-290.3e and N-290.3f, that have confidentiality restrictions. In addition, disconformities span the middle/upper Cenomanian - lower Turonian (Wells 1-RSS-2 and 1-SCS-3B) and upper Coniacian - lower/middle Santonian (Well 1-SCS-3B) sections. In the Well 1-RSS-2 the Santonian - Campanian section is barren on calcareous nannofossils.

The slides analysis revealed that 49 samples (16.27%) were barren. In the remaining 252 samples, 63 cretaceous calcareous nannofossil species were recorded.

A paleoecological model based on both the relative and absolute abundances of some Cretaceous calcareous nannofossil species suggests a prevalence of warm-water conditions, with cooling events indicated by an increase in cool-water taxa along with a decrease in warm-water forms. These cooling events occurred during the late Turonian, late Turonian/early Coniacian, late Coniacian and late Santonian/early Campanian.

## Acknowledgements

The authors are grateful to Dr. João Carlos Coimbra (Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS) for providing the samples for this study, as well as Dr. Rogério Loureiro Antunes, Dr. Francisco Henrique Oliveira Lima and Dra. Andrea Concheyro for discussions, and the staff of the Laboratório de Micropaleontologia (Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS) for their support.

## Appendix 1. Taxonomic list of studied species.

### Heterococcoliths

Order Eiffellithales Rood, Hay & Barnard, 1971

Family Chiastozygaceae Rood, Hay & Barnard, 1973 emend. Varol & Girgis, 1994

Genus *Ahmullerella* Reinhardt, 1964 (= *Actinozygus* Gartner, 1968)

*Ahmullerella octoradiata* (Górka, 1957) Reinhardt, 1966a

Genus *Staurolithites* Caratini, 1963

*Staurolithites crux* (Deflandre & Fert, 1954) Caratini, 1963

Genus *Placozygus* Hoffman, 1970

*Placozygus fibuliformis* (Reinhardt, 1964) Hoffman, 1970

Genus *Reinhardtites* Perch-Nielsen, 1968

*Reinhardtites anthophorus* (Deflandre, 1959) Perch-Nielsen, 1968



*Reinhardtites levis* Prins & Sissingh in Sissingh, 1977

Genus *Tranolithus* Stover, 1966

*Tranolithus gabalus* Stover, 1966

*Tranolithus orionatus* (Reinhardt, 1966a) Reinhardt, 1966b

Genus *Zeugrhabdotus* Reinhardt, 1965 (= *Glaukolithus* Reinhardt, 1964)

*Zeugrhabdotus bicrescenticus* (Stover, 1966) Burnett in Gale *et al.*, 1996

*Zeugrhabdotus diplogramus* (Deflandre in Deflandre & Fert, 1954) Burnett in Gale *et al.*, 1996

*Zeugrhabdotus embergeri* (Noël, 1958) Perch-Nielsen, 1984

*Zeugrhabdotus scutula* (Bergen, 1994) Rutledge & Bown, 1996

*Zeugrhabdotus sigmoides* (Bramlette & Sullivan, 1961) Bown & Young, 1997

*Zeugrhabdotus xenotus* (Stover, 1966) Burnett in Gale *et al.*, 1996

Genus *Chiastozygus* Gartner, 1968

*Chiastozygus* spp.

Genus *Loxolithus* Noël, 1965

*Loxolithus armilla* (Black in Black & Barnes, 1959) Noël, 1965

Family Eiffellithaceae Reinhardt, 1965

Genus *Eiffellithus* Reinhardt, 1965

*Eiffellithus eximius* (Stover, 1966) Perch-Nielsen, 1968

*Eiffellithus gorkae* Reinhardt, 1965

*Eiffellithus parallelus* Perch-Nielsen, 1973

*Eiffellithus turriseiffelii* (Deflandre in Deflandre & Fert, 1954) Reinhardt, 1965

Genus *Helicolithus* Noël, 1970

*Helicolithus* spp.

Genus *Tegumentum* Thierstein in Roth & Thierstein, 1972

*Tegumentum stradneri* Thierstein in Roth & Thierstein, 1972

Family Rhagodiscaceae Hay, 1977

Genus *Rhagodiscus* Reinhardt, 1967

*Rhagodiscus asper* (Stradner, 1963) Reinhardt, 1967

Order Stephanolithiales Bown & Young, 1997

Family Stephanolithiaceae Black, 1968

Genus *Cylindralithus* Bramlette & Martini, 1964

*Cylindralithus* spp.

Order Podorhabdales Rood, Hay & Barnard, 1971 emend. Bown, 1987

Family Axopodorhabdaceae Bown & Young, 1997

Genus *Cribrosphaerella* Deflandre in Piveteau, 1952

*Cribrosphaerella ehrenbergii* (Arkhangelsky, 1912) Deflandre in Piveteau, 1952

Genus *Tetrapodorhabdus* Black, 1971

*Tetrapodorhabdus decorus* (Deflandre in Deflandre & Fert, 1954) Wind & Wise in  
Wise & Wind, 1977

Family Biscutaceae Black, 1971

Genus *Biscutum* Black in Black & Barnes, 1959

*Biscutum magnum* Wind & Wise in Wise & Wind, 1977

Family Prediscosphaeraceae Rood, Hay & Barnard, 1971

Genus *Prediscosphaera* Vekshina, 1959

*Prediscosphaera cretacea* (Arkhangelsky, 1912) Gartner, 1968

*Prediscosphaera grandis* Perch-Nielsen, 1979

*Prediscosphaera spinosa* (Bramlette & Martini, 1964) Gartner, 1968

Family Cretarhabdaceae Thierstein, 1973

Genus *Cretarhabdus* Bramlette & Martini, 1964

*Cretarhabdus conicus* Bramlette & Martini, 1964

Genus *Retecapsa* Black, 1971

*Retecapsa crenulata* (Bramlette & Martini, 1964) Grün in Grün & Allemann, 1975

*Retecapsa ficula* (Stover, 1966) Burnett, 1998

*Retecapsa surirella* (Deflandre & Fert, 1954) Grün in Grün & Allemann, 1975

Order Watznaueriales Bown, 1987

Family Watznaueriaceae Rood, Hay & Barnard, 1971

Genus *Watznaueria* Reinhardt, 1964

*Watznaueria barnesiae* (Black, 1959) Perch-Nielsen, 1968

*Watznaueria biporta* Bukry, 1969

*Watznaueria fossacincta* (Black, 1971) Bown *in* Bown & Cooper, 1989

*Watznaueria ovata* Bukry, 1969

Order Arkhangelskiales Bown & Hapton *in* Bown & Young, 1997

Family Arkhangelskiellaceae Bukry, 1969 emend. Bown & Hapton *in* Bown & Young, 1997

Genus *Arkhangelskiella* Vekshina, 1959

*Arkhangelskiella cymbiformis* Vekshina, 1959

Genus *Broinsonia* Bukry, 1969 (= *Aspidolithus* Noël, 1969)

*Broinsonia parca* (Stradner, 1963) Bukry, 1969

*Broinsonia parca constricta* (Hattner *et al.*, 1980) Perch-Nielsen, 1984.

Family Kamptneriaceae Bown & Hapton *in* Bown & Young, 1997

Genus *Gartnerago* Bukry, 1969

*Gartnerago segmentatum* (Stover, 1966) Thierstein, 1974

### **Heterococcoliths of uncertain affinities**

Genus *Markalius* Bramlette & Martini, 1964

*Markalius inversus* (Deflandre *in* Deflandre & Fert, 1954) Bramlette & Martini, 1964

**Holococcoliths**

Family Calyptosphaeraceae Boudreaux & Hay, 1969

Genus *Calculites* Prins & Sissingh *in* Sissingh, 1977

*Calculites obscurus* (Deflandre, 1959) Prins & Sissingh *in* Sissingh, 1977

*Calculites ovalis* (Stradner, 1963) Prins & Sissingh *in* Sissingh, 1977

**Nannoliths**

Family *Braarudosphaeraceae* Deflandre, 1947

Genus *Braarudosphaera* Deflandre, 1947

*Braarudosphaera africana* Stradner, 1961

*Braarudosphaera bigelowii* (Gran & Braarud, 1935) Deflandre, 1947

*Braarudosphaera stenorhetha* Hill, 1976

Family Microrhabdulaceae Deflandre, 1963

Genus *Lithraphidites* Deflandre, 1963

*Lithraphidites carniolensis* Deflandre, 1963

Genus *Microrhabdulus* Deflandre, 1959

*Microrhabdulus decoratus* Deflandre, 1959

Family Nannoconaceae Deflandre, 1959

Genus *Nannoconus* Kamptner, 19319

*Nannoconus truitti* spp. Brönnimann, 1955

Family Polycyclolithaceae Forchheimer, 1972 emend. Varol, 1992

Genus *Eprolithus* Stover, 1966

*Eprolithus floralis* (Stradner, 1962) Stover, 1966

*Eprolithus moratus* (= eptapetalus) (Stover, 1966), Burnett, 1998

*Eprolithus octopetalus* Varol, 1992

*Eprolithus* spp.

Genus *Lithastrinus* Stradner, 1962

*Lithastrinus grillii* Stradner, 1962

Genus *Micula* Vekshina, 1959

*Micula decussata* Vekshina, 1959

Genus *Quadrum* Prins & Perch-Nielsen in Manivit *et al.*, 1977

*Quadrum gartneri* Prins & Perch-Nielsen in Manivit *et al.*, 1977

Genus *Radiolithus* Stover, 1966

*Radiolithus planus* Stover, 1966

Genus *Uniplanarius* Hattner & Wise, 1980

*Uniplanarius gothicus* (Deflandre, 1959) Hattner & Wise, 1980

*Uniplanarius sissinghii* Perch-Nielsen, 1986b

*Uniplanarius trifidus* (= *Quadrum trifidum*) (Stradner in Stradner & Papp, 1961)

Hattner & Wise, 1980

Genus *Hexalithus* Gardet, 1955

*Hexalithus gardetiae* Bukry, 1969

### **Unclassified Mesozoic nannoliths**

Genus *Marthasterites* Deflandre, 1959

*Marthasterites furcatus* (Deflandre in Deflandre & Fert, 1954) Deflandre, 1959

### **References**

Anjos, G.S., 2004. Bioestratigrafia (Foraminiferida) do Mioceno-Plioceno da Plataforma de Florianópolis, porção setentrional da Bacia de Pelotas. Unpublished master thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 80 p.

Antunes, R.L., 1996. Biozonas de nanofósseis do cretáceo da margem continental brasileira: problemas e possíveis soluções. Boletim de Geociências da Petrobras, 10(1/4), 19-42.

Antunes, R.L., 1997. Introdução ao estudo dos nanofósseis calcários. Instituto de Geociências - UFRJ, Rio de Janeiro, 115p.

Antunes, R.L., 1998. Nanofósseis calcários e sua bioestratigrafia no Cretáceo da Margem Continental Brasileira - Bacias do Ceará e Potiguar. Unpublished doctoral thesis, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 193 p.

Antunes, R.L., Shimabukuro, S., Oliveira, L.C.V., Rosa, A.L.Z., Costa, S.O., Cunha, A.A.S., Lima, F.H.O., 2004. Em busca da bioestratigrafia de alta resolução - a performance do zoneamento de nanofósseis calcários da Petrobrás. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, 12(2), 421-427.

Arai, M., Masure, E., Lemos, V.B., 2006. Occurrence of a high-diversity Aptian microphytoplanktonic assemblage in Pelotas Basin (Southern Brazil): Its implication for the Early Cretaceous history of the South Atlantic. VII Simpósio do Cretáceo do Brasil, *Boletim de resumos*, p. 12.

Asmus, H.E.; Ponte, F.C., 1973. The Brazilian Marginal Basins in The Ocean Basins and Margins. In: Naim, A.E.M., Stehili, F.G. (Eds.), *The South Atlantic*. Plenum Press, Nova York, 87-133.

Bown, P.R., Young, J.R., 1997. Proposal for a revised classification system for calcareous nannoplankton. *Journal of Nannoplankton Research*, 19, 15-47.

Bueno, G.V., Zacharias, A.A., Oreiro, S.G., Cupertino, J.A., Falkenheim, F.U.H., Martins Neto, M.A., 2007. Bacia de Pelotas. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 15(2), 551-559.

Burnett, J.A., 1998. Upper Cretaceous. In: Bown, P.R. (Ed.), *Calcareous Nannofossil Biostratigraphy*. British Micropaleontological Society Series, London, 132-199.

Carreño, A.L., Coimbra, J.C., Do Carmo, D.A., 1997. Biostratigraphy of the Late Neogene and Quaternary ostracods in the Pelotas Basin, Southern Brazil. *Gaia*, 14, 33-43.

Carreño, A.L., Coimbra, J.C., Do Carmo, D.A., 1999. Late Cenozoic sea level changes evidenced by ostracodes in the Pelotas Basin, southernmost Brazil. *Marine Micropaleontology*, 37, 117-129.



Ceolin, D., Fauth, G., Coimbra, J.C., 2011. Cretaceous-Lower Paleogene Ostracods from the Pelotas Basin, Brazil. *Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments*, 91(2), 111-128.

Closs, D., 1970. Estratigrafia da Bacia de Pelotas, Rio Grande do Sul. *Iheringia*, 3, 3-37.

Coimbra, J.C., Carreño, A.L., Anjos-Zerfass, G.S., 2009. Biostratigraphy and paleoceanographical significance of the Neogene planktonic foraminifera from the Pelotas Basin, southernmost Brazil. *Revue de Micropaléontologie*, 52, 1-14.

Conceição, J.C.J., Zalán, P.V., Wolff, S., 1988. Mecanismo, Evolução e Cronologia do Rift Sul-Atlântico. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, 2(1/4), 255-265.

Cunha, A.A.S., 1990. Bioestratigrafia de nanofósseis calcários da sub-bacia Mundaú (Bacia do Ceará). Unpublished master thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 151 p.

Cunha, A.A.S., 2001. Cicloestratigrafia no Cenomaniano superior e Turoniano do Oceano Atlântico Sul. Unpublished doctoral thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 209 p.

Cunha, A.A.S., Koutsoukos, E.A.M., 1998. Calcareous nannofossils and planktic foraminifers in the Upper Aptian of the Sergipe Basin, Northeastern Brazil: palaeoecological inferences. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 142, 175-184.

Del Río, C.J., Concheyro, A., Martínez, S.A., 2011. The Maastrichtian - Danian at General Roca (Patagonia, Argentina): a reappraisal of the chronostratigraphy and biostratigraphy of a type locality. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie - Abhandlungen*, 259(2), 129-156.

Dias, J.L., Sad, A.R.E., Fontana, R.L., Feijó, F.J., 1994. Bacia de Pelotas. Boletim de Geociências da Petrobras, 8(1), 235-245.

Eleson, J.W., Bralower, T.J., 2005. Evidence of changes in surface water temperature and productivity at the Cenomanian/Turonian Boundary. *Micropaleontology*, 51(4), 319-332.

Erba, E., 1987. Mid Cretaceous cyclic pelagic facies from the Umbian-Marchean Basin: what do calcareous nannofossils suggest? *INA Newsletter*, 9, 52-53.

Erba, E., Castradori, D., Guasti, G., Ripepe, M., 1992. Calcareous nannofossils and Milankovitch cycles: the example of the Albian Gault Clay Formation (southern England). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 93, 47-69.

Eshet, Y., Moshkovitz, S. Habib, D., Benjamini, C., Magaritz, M., 1992. Calcareous nannofossil and dinoflagellate stratigraphy across the Cretaceous/Tertiary boundary at Hor Hahar, Israel. *Marine Micropaleontology*, 18, 199-228.

Fernandes, J.M.G., 1975. O gênero *Uvigerina* (Foraminiferida) do Cenozóico superior na Bacia de Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil. Unpublished master thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 121 p.

Fischer, T.V., Premaor, E., Arai M., Souza, P.A., 2007. Palinologia da Bacia de Pelotas: Dados preliminares sobre a seção paleocênica. XX Congresso Brasileiro de Paleontologia, Búzios, Anais, p. 232.

Fontana, R.L., 1996. Geotectônica e sismoestratigrafia da Bacia de Pelotas e Plataforma de Florianópolis. Unpublished doctoral thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 214 p.

- Forster, A, Schouten, S., Baas, M., Sinninghe-Damsté, J.S., 2007. Mid-Cretaceous (Albian–Santonian) sea surface temperature record of the tropical Atlantic Ocean. *Geology*, 35(10), 919-922.
- Gomide, J., 1989. Bacia de Pelotas - Biocronoestratigrafia baseada em nanofósseis calcários. XI Congresso Brasileiro de Paleontologia, Curitiba, Resumos expandidos, 338-351.
- Gonçalves, A., Oliveira, M.A.M., Mota, S.O., 1979. Geologia da Bacia de Pelotas e da Plataforma de Florianópolis. *Boletim Técnico da Petrobrás*, 22(3), 155-226.
- Guerra, R.M., Tokutake, L.R., Fauth, G., 2010. Upper Campanian calcareous nanofossils from a core of well 2-RSS-1, Pelotas Basin, Brazil. *Revista Brasileira de Paleontologia*, 13(3), 181-188.
- Hardas, P., Mutterlose, J., 2007. Calcareous nanofossil assemblages of Oceanic Anoxic Event 2 in the equatorial Atlantic: evidence of an eutrophication event. *Marine Micropalaeontology*, 66(1), 52-69.
- Hill, M.E., 1975. Selective dissolution of mid-Cretaceous (Cenomanian) calcareous nanofossils. *Micropaleontology*, 21(2), 227-235.
- Huber, B.T., Norris, R.D., MacLeod, K.G., 2002. Deep-sea paleotemperature record of extreme warmth during the Cretaceous. *Geology*, 30(2), 123–126.
- Jacobs, L.L., Mateus, O., Polcyn, M.J., Schulp, A.S., Scotese, C.R., Goswami, A., Ferguson, K.M., 2009. Cretaceous paleogeography, paleoclimatology, and amniote biogeography of the low and mid-latitude South Atlantic Ocean. *Bulletin de la Societe Géologique de France*, 180(4), 333-341.

Koutsoukos, E.A.M., 1982. Geohistória e paleoecologia das bacias marginais de Florianópolis e Santos. XXXII Congresso Brasileiro de Geologia, Salvador, Resumos expandidos, 2369-2382.

Kowsmann, R.O., Francisconi, O., Leyden, R., 1974. Refração sísmica marinha nas bacias de Pelotas, Santos Sul e na Plataforma de Torres. XXVIII Congresso Brasileiro de Geologia, Porto Alegre, Anais, 283-295.

Lamolda, M.A., Gorostidi, A., Paul, R.C., 1994. Quantitative estimates of calcareous nanofossil changes across the Plenus Marls (latest Cenomanian), Dover, England: implications for the generation of the Cenomanian-Turonian boundary event. *Cretaceous Research*, 15, 143-164.

Lees, J.A., 2002. Calcareous nanofossil biogeography illustrates palaeoclimate change in the Late Cretaceous Indian Ocean. *Cretaceous Research*, 23, 537-634.

Lees, J.A., Bown, P.R., Mattioli, E., 2005. Problem with proxies? Cautionary tales of calcareous nanofossil paleoenvironmental indicators. *Micropaleontology*, 51(4), 333-343.

Lees, J.A., Bown, P.R., Young, J.R., 2006. Photic zone palaeoenvironments of the Kimmeridge Clay Formation (Upper Jurassic, UK) suggested by calcareous nanoplankton Palaeoecology. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 235, 110-134.

Linnert, C., Mutterlose, J., 2009. Evidence of increasing surface water oligotrophy during the Campanian-Maastrichtian boundary interval: Calcareous nanofossil from DSDP Hole 390A (Blake Nose). *Marine Micropaleontology*, 73, 26-36.

Milani, E.J., França, A.B., Schneider, R.L., 1994. Bacia do Paraná. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 8(1), 69-82.

Mutterlose, J., 1991. Das Verteilungs- und Migrations-Muster des kalkigen Nannoplanktons in der Unterkreide (Valangin–Apt) NW-Deutschlands. *Palaeontographica*, Abteilung B, 221, 27-152.

Mutterlose, J., Kessels, K., 2000. Early Cretaceous calcareous nannofossils from high latitudes: implications for palaeobiogeography and palaeoclimate. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 160, 347-372.

Norris, R.D., Wilson, P.A., 1998. Low-latitude sea-surface temperatures for the mid-Cretaceous and the evolution of planktic foraminifera. *Geology*, 26, 823-826.

Oliveira, L.C.V., Costa, S.O., 1997. Proposal of new biostratigraphic units based on calcareous nannofossils for the Maastrichtian of the Santos Basin (Brazil). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 69(1), 37-58.

Ornellas, L.P., 1981. Os ostracodes e seu significado na interpretação dos eventos cenozóicos na Bacia de Pelotas, RS: transgressões, regressões, paleoecologia e bioestratigrafia. Unpublished doctoral thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 217 p.

Perch-Nielsen, K., 1985. Mesozoic calcareous nannofossils. In: Bolli, H.M., Saunders, J.B., Perch-Nielsen, K. (Eds.), *Plankton Stratigraphy*. Cambridge University Press, Cambridge, 329-426.

Premaor, F., Souza P.A., Arai, M., Helenes, J., 2010. Palinomorfos do Campaniano (Cretáceo Superior) da Bacia de Pelotas, Rio Grande do Sul: implicações bioestratigráficas e paleoambientais. *Pesquisas em Geociências*, 37(1), 63-79.

Premoli-Silva, I., Erba, E., Salvini, G., Verga, D., Locatelli, C., 1999. Biotic

changes in Cretaceous anoxic events. *Journal of Foraminiferal Research*, 29, 352-370.

Rodrigues, G.B., Fauth G., 2007. Ostracodes Albiano-Cenomaniano do poço 1-RSS-2, Bacia de Pelotas, RS, Brasil. XX Congresso Brasileiro de Paleontologia, Búzios, Anais, p. 216.

Roth, H, Krumbach, K.R., 1986. Middle Cretaceous calcareous nannofossil biogeography and preservation in the Atlantic and Indian Oceans: implications for paleoceanography. *Marine Micropalaeontology*, 10, 235-266.

Sanguinetti, Y.T., 1980. Miocene Ostracodes of the Pelotas Basin, State of Rio Grande do Sul. *Pesquisas*, 13, 7-34.

Schouten, S., Hopmans, E.C., Kuypers, M.M.M., Van Breugel, Y., Forster, A., Sinningh-Damsté, J.S., 2003. Extremely high sea water temperatures at low latitudes during the middle Cretaceous as revealed by archaeal membrane lipids. *Geology*, 31(12), 1069-1072.

Sheldon, E., Ineson, J., Bown, P., 2010. Late Maastrichtian warming in the Boreal Realm: calcareous nannofossil evidence from Denmark. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 295, 55-75.

Street, C., Bown, P.R., 2000. Paleobiogeography of Early Cretaceous calcareous nanoplankton. *Marine Micropaleontology*, 39, 265-291.

Tantawy, A.A.A.M., 2003. Calcareous nannofossil biostratigraphy and paleoecology of the Cretaceous-Tertiary transition in the central Eastern Desert of Egypt. *Marine Micropaleontology*, 47, 323-356.

- Tantawy, A.A., 2008. Calcareous nannofossil biostratigraphy and paleoecology of the Cenomanian-Turonian transition in the Tarfaya Basin, southern Morocco. *Cretaceous Research*, 29, 995-1007.
- Thibault, N., Gardin, S., 2006. Maastrichtian calcareous nannofossil biostratigraphy and paleoecology in the equatorial Atlantic (Demerara Rise, ODP Leg 207 Hole 1258A). *Revue de Micropaleontology*, 49, 199-214.
- Thibault, N., Gardin, S., 2010. The calcareous nannofossil response to the end-Cretaceous warm event in the Tropical Pacific. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 291, 239-252.
- Thierstein, H.R., 1980. Selective dissolution of Late Cretaceous and earliest Tertiary calcareous nannofossils; experimental evidence. *Cretaceous Research*, 1, 165-176.
- Thierstein, H. R., 1981. Late Cretaceous nannoplankton and the change at the Cretaceous-Tertiary boundary. In: Warme, J.E., Douglas, R.G., Winterer, E.L. (Eds.), *The Deep Sea Drilling Project: a decade of progress*. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication, 32, 355-394.
- Thiesen, Z.V., 1977. Bolivinitidae e Caucasinidae (Foraminiferida) do Cenozóico superior da Bacia de Pelotas, Rio Grande do Sul. *Acta Geológica Leopoldesina*, 2(3), 8-32.
- Watkins, D.K., Self-Trail, J.M., 2005. Calcareous nannofossil evidence for the existence of the Gulf Stream during the late Maastrichtian. *Paleoceanography*, 20, PA3006. doi:10.1029/2004PA001121.
- Wind, F.H., 1979. Maastrichtian-Campanian nannofloral provinces of the southern Atlantic and Indian Oceans. In: Talwani, M., Hay, W.W., Ryan, W.B.F. (Eds.), *Deep drilling results in the Atlantic Ocean: continental margins and paleoenvironment*, American Geophysical Union, Washington, DC. Maurice Ewing Series, 3, 123-137.

Zerfass, G.S.A., 2009. Estudos paleoambientais com base em isótopos de carbono, oxigênio e estrôncio em foraminíferos do Terciário da Bacia de Pelotas. Unpublished doctoral thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 217 p.



## FIGURE CAPTIONS

**Figure 1** - Simplified map of the Pelotas Basin showing its limits and the location of the wells analyzed in this study. Modified from Google Earth®.

**Figure 2** - The biostratigraphic framework for Brazilian marginal basins (Antunes et al., 2004) correlated with the international nannoplankton zonation proposed by Sissingh (1977). The unknown biozones are marked by asterisks.

**Figure 3** - **A**, *Ahmuellerella octoradiata*, Well 1-SCS-3B/cutting sample 3,390-3,405 m. **B/C**, *Tranolithus orionatus*, Well 1-SCS-3B/cutting sample 3,855-3,870 m. **D/E**, *Reinhardtites levis*, Well 2-RSS-1/cored sample 4,483.50 m. **F/G**, *Zeughrabdotus bicrescenticus* (= *Glaukolithus compactus*), Well 1-SCS-3B/cutting sample 3,855-3,870 m. **H/I**, *Eiffellithus eximius*, Well 1-SCS-3B/cutting sample 3,360-3,375 m. **J/K**, *Eiffellithus turriseiffelii*, Well 1-RSS-2/cutting sample 4,635-4,650 m. **L/M**, *Rhagodiscus asper*, Well 1-RSS-2/cutting sample 5,160-5,175 m. **N**, *Watznaueria barnesiae*, Well 2-RSS-1/cored sample 4,483.50 m. **O/P**, *Arkhangelskiella cymbiformis*, Well 2-RSS-1/cored sample 4,486.10 m

**Figure 4** - **A/B**, *Broinsonia parca*, Well 2-RSS-1/cored sample 4,487.70 m. **C/D**, *Gartnerago segmentatum*, Well 1-SCS-3B/cutting sample 3,390-3,405 m. **E/F**, *Nannoconus truitti*, Well 1-RSS-2/cored sample 5,043.25 m. **G**, *Eprolithus moratus* (= *Eprolithus eptapetalus*), Well 1-RSS-2/cutting sample 4,755-4,770 m. **H**, *Eprolithus floralis*, Well 1-SCS-3B/cutting sample 3,840-3,855 m. **I**, *Lithastrinus grillii*, Well 1-SCS-3B/cutting sample 3,240-3,255 m. **J**,

*Micula decussata*, Well 2-RSS-1/cored sample 4,482.50 m. **K**, *Radiolithus planus*, Well 1-SCS-3B/cutting sample 4,140-4,155 m. **L**, *Uniplanarius trifidus* (= *Quadrum trifidum*), Well 2-RSS-1/cored sample 4,482.50 m.

**Figure 5** - Stratigraphic distribution of the species and biologic events in the cutting samples of the Well 1-RSS-2.

**Figure 6** - Stratigraphic distribution of the species and biologic events in the cutting samples of the well 2-RSS-1.

**Figure 7** - Stratigraphic distribution of the species and biologic events in the cutting samples of the well 1-SCS-3B.

**Figure 8** - Stratigraphic distribution of the species in the cored samples: **a**) Well 1-RSS-2; **b**) Well 2-RSS-1; and **c**) Well 1-SCS-3B.

**Figure 9** - Section A-A' showing the correlation between the three wells analyzed in this study.

**Figure 10** - Correlation between the biostratigraphic framework of Gomide (1989) and the proposed in this study, showing a higher resolution and the presence of some hiatuses.

**Figure 11** - Paleoecologic inferences for each well (cutting samples), showing the species richness, nannofossil abundance and the percentage of selected calcareous nannofossils species. The intervals marked in grey color suggest cooling events, where the abundance of cool-water taxa increase simultaneously to the decrease of the warm-water ones.

**Figure 12** - Paleoecologic inferences for each well (cored samples), showing the species richness, nannofossil abundance and the percentage of selected calcareous nannofossils species. **a)** Well 1-RSS-2; **b)** Well 2-RSS-1; and **c)** Well 1-SCS-3B.

**TABLE LIST**

**Table 1** - Samples quantity for each well and the sampled interval.

**Table 2** - Paleoecological preferences of selected calcareous nannofossils species, with supporting references. Abbreviations: **S.** South; **E.** Equatorial; **N.** North. References: **1.** Wind, 1979; **2.** Thierstein, 1981; **3.** Erba, 1987; **4.** Mutterlose, 1991; **5.** Erba et al., 1992; **6.** Eshet et al, 1992; **7.** Lamolda et al, 1994; **8.** Cunha and Koutsoukos, 1998; **9.** Premoli Silva et al, 1999; **10.** Mutterlose and Kessels, 2000; **11.** Street and Bown, 2000; **12.** Lees, 2002; **13.** Tantawy, 2003; **14.** Eleson and Bralower, 2005; **15.** Watkins and Self-Trail, 2005; **16.** Thibald and Gardin, 2006; **17.** Hardas and Mutterlose, 2007; **18.** Tantawy, 2008; **19.** Linnert and Mutterlose, 2009; **20.** Sheldon et al, 2010; **21.** Thibald and Gardin, 2010; **22.** Del Rio et al., 2011.

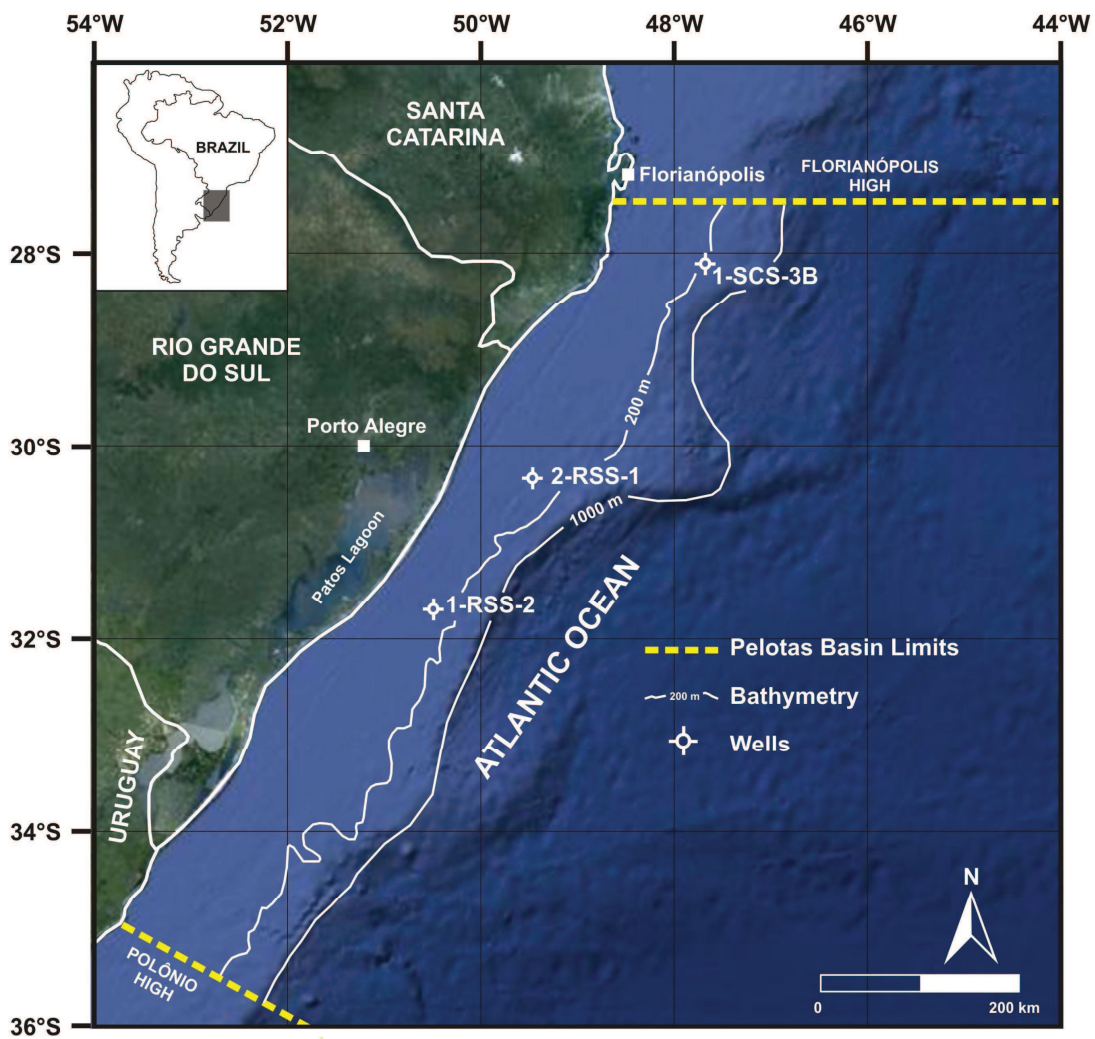


Figure 1

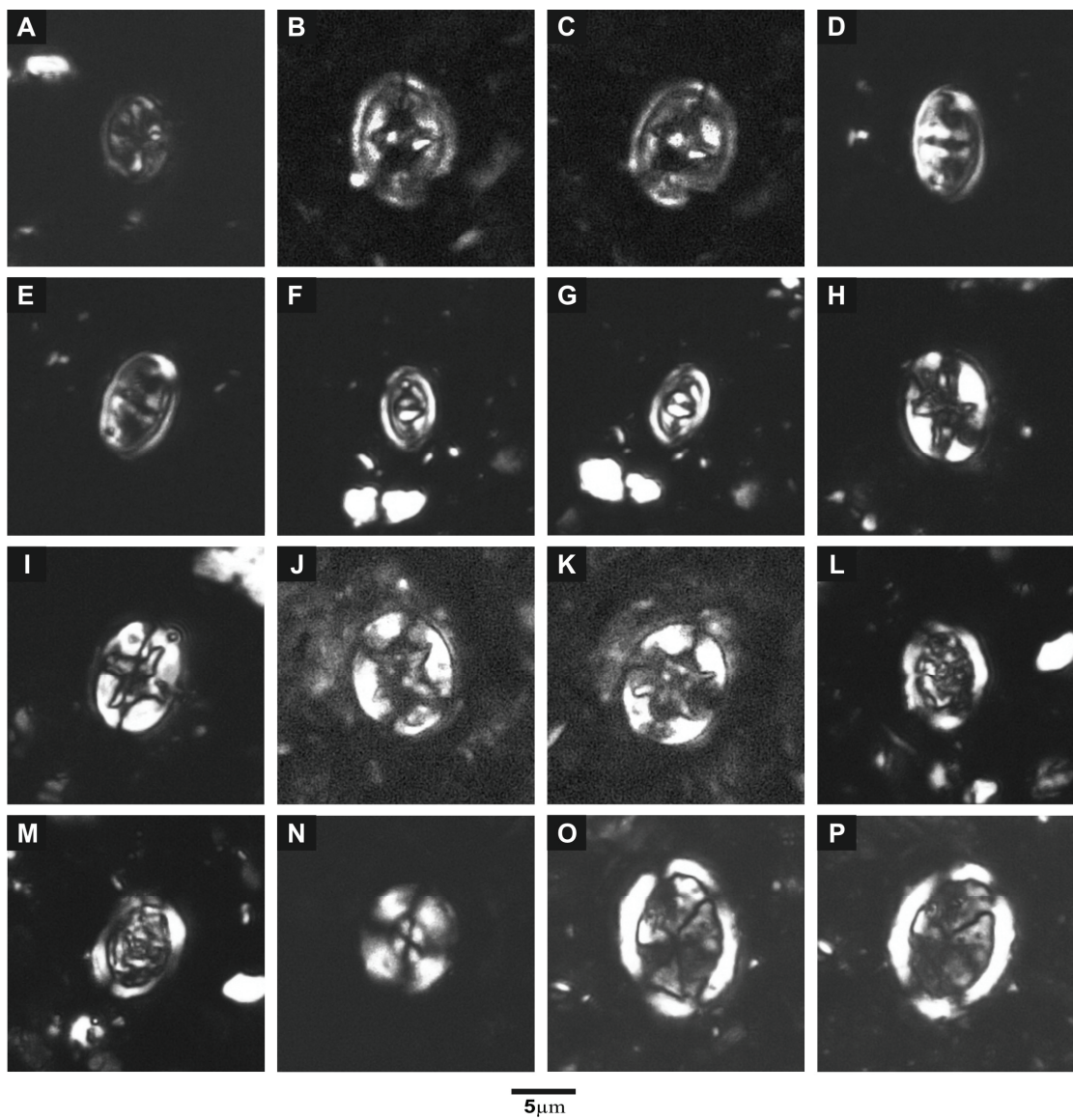


Figure 2



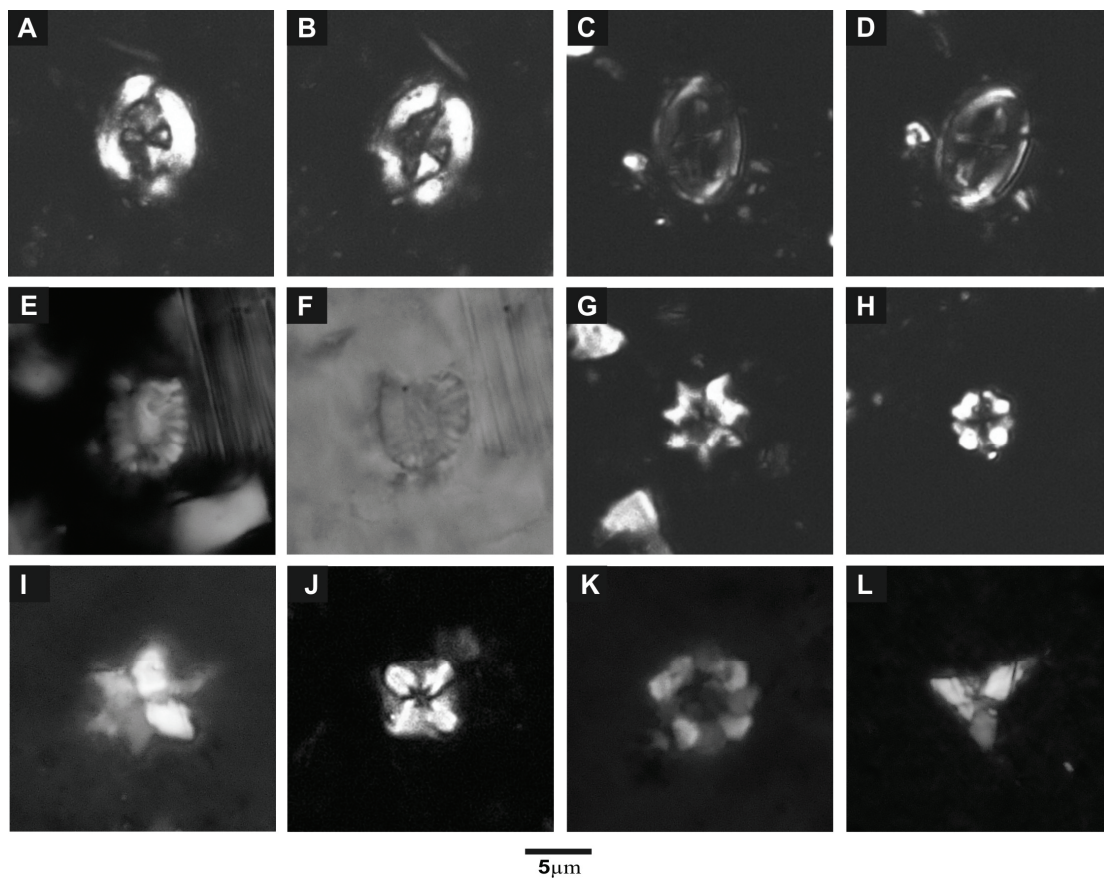


Figure 3

AGE		Sissingh 1977	Antunes <i>et al.</i> 2004
MAASTRICHTIAN	CC 26		N-290.3f *
	CC 25	c	N-290.3e *
		b	N-290.3d *
		a	<i>C. ehrenbergii</i> N-290.3c
	CC 24		<i>G. obliquum</i> N-290.3b
			<i>G. compactus</i> N-290.3a
			<i>R. levis</i> N-290.1
CC 23	a / b	<i>Q. trifidum</i> N-280	
CAMPANIAN	CC 22	b	<i>A. parvus</i> N-270
		a	
	CC 21	c	<i>E. eximius</i> N-265
		b	
		a	
	CC 20		
	CC 19	b	
		a	
CC 18	b	<i>L. grillii</i> N-260.9	
	a		
CC 17			
SANT.	CC 16		
	CC 15		<i>L. moratus</i> N-260.7
CON.	CC 14		<i>E. floralis</i> N-260.5
	CC 13		<i>E. eptapetalus</i> N-260.4
TUR.	CC 12		<i>R. planus</i> N-260.3
	CC 11		N-260.2 *
CENOMAN.	CC 10		<i>A. albianus</i> N-260.1
	CC 9		
ALB.	CC 8 CC 7		<i>N. truitti</i> N-250

Figure 4



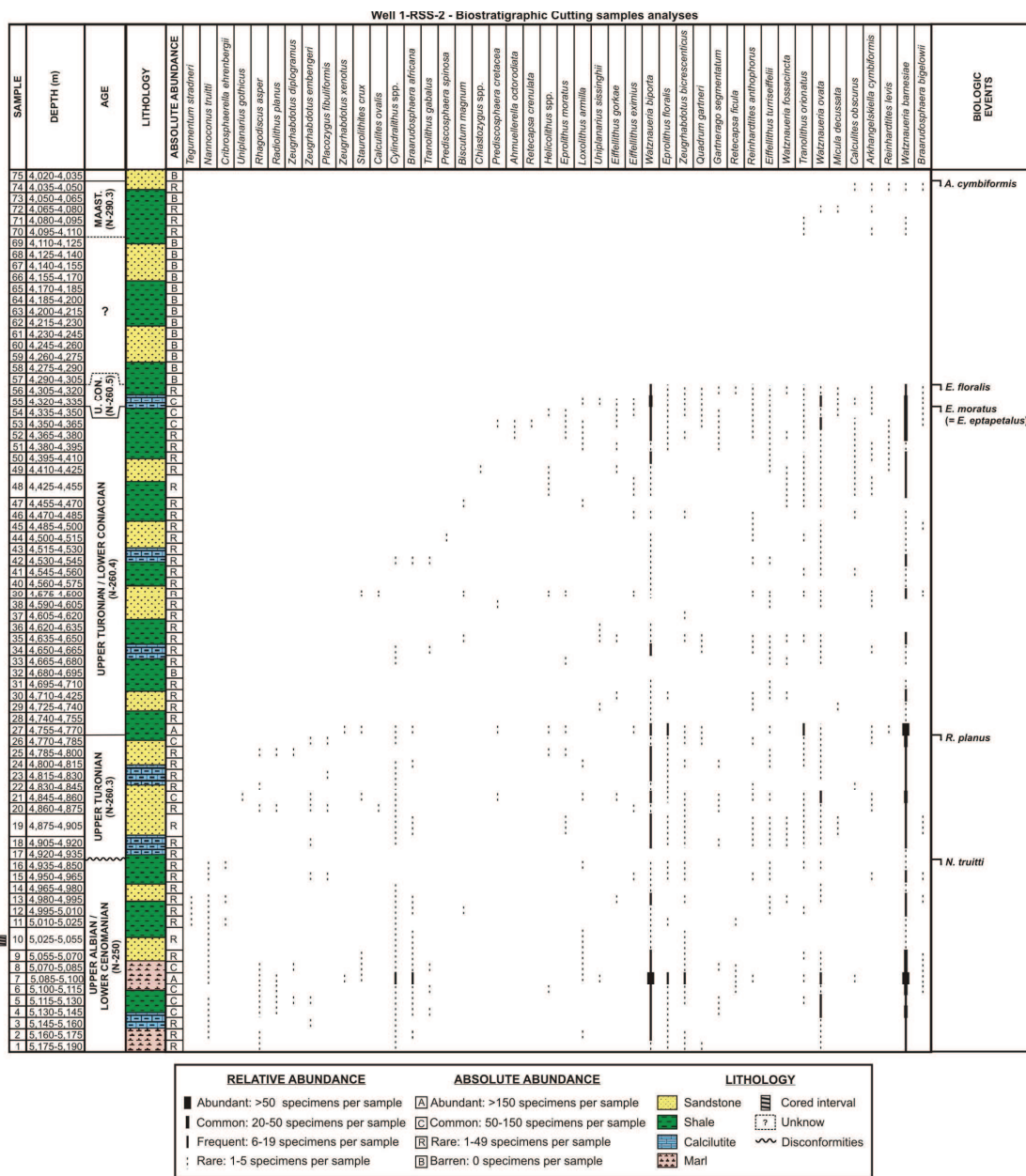
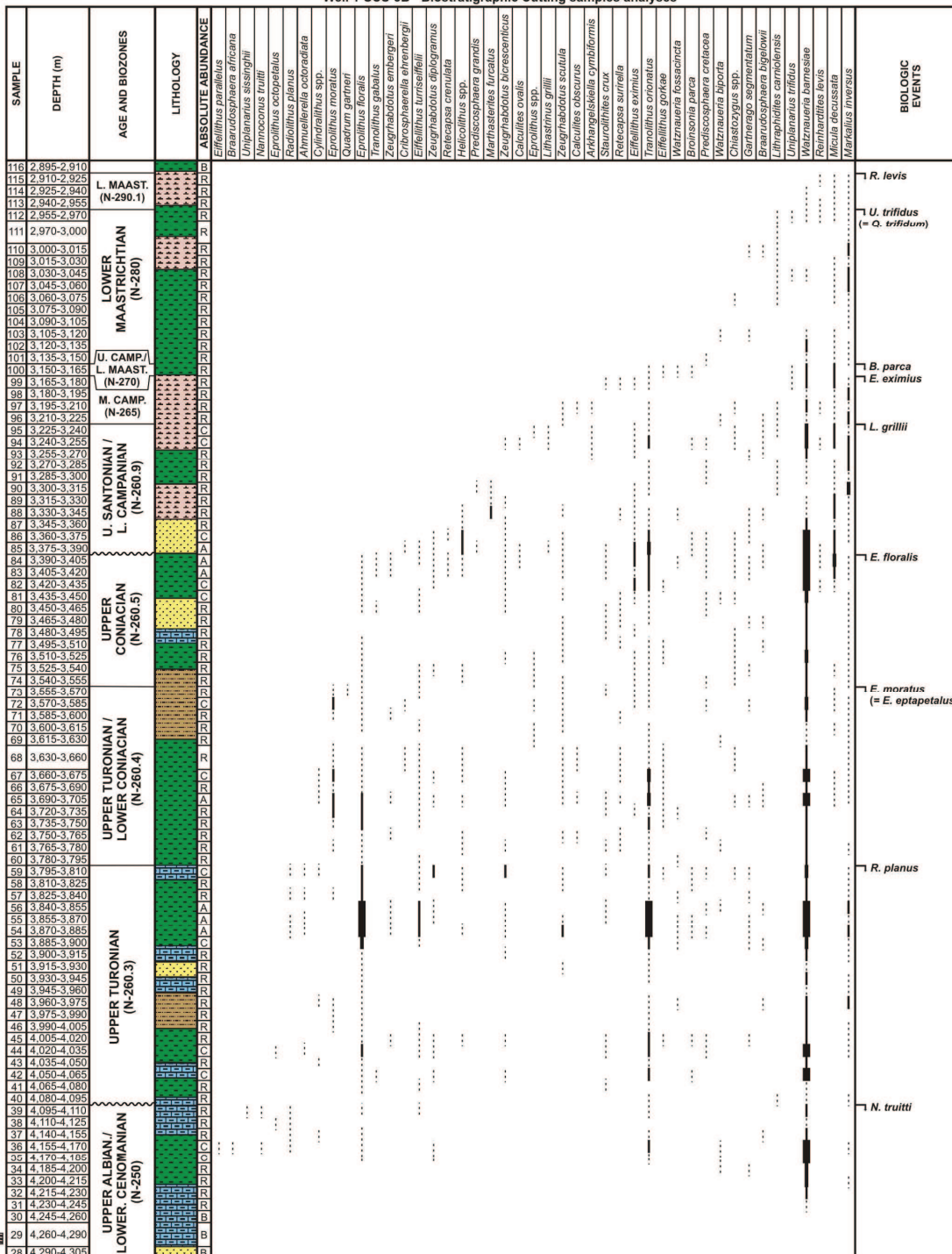


Figure 5



Well 1-SCS-3B - Biostratigraphic Cutting samples analyses



RELATIVE ABUNDANCE	ABSOLUTE ABUNDANCE	LITHOLOGY
■ Abundant: >50 specimens per sample	▲ Abundant: >150 specimens per sample	■ Sandstone
■ Common: 20-50 specimens per sample	■ Common: 50-150 specimens per sample	■ Shale
■ Frequent: 6-19 specimens per sample	■ Rare: 1-49 specimens per sample	■ Calcilitite
■ Rare: 1-5 specimens per sample	■ Barren: 0 specimens per sample	■ Marl
		■ Siltstone
		■ Cored interval
		~ Discontinuities

Figure 7



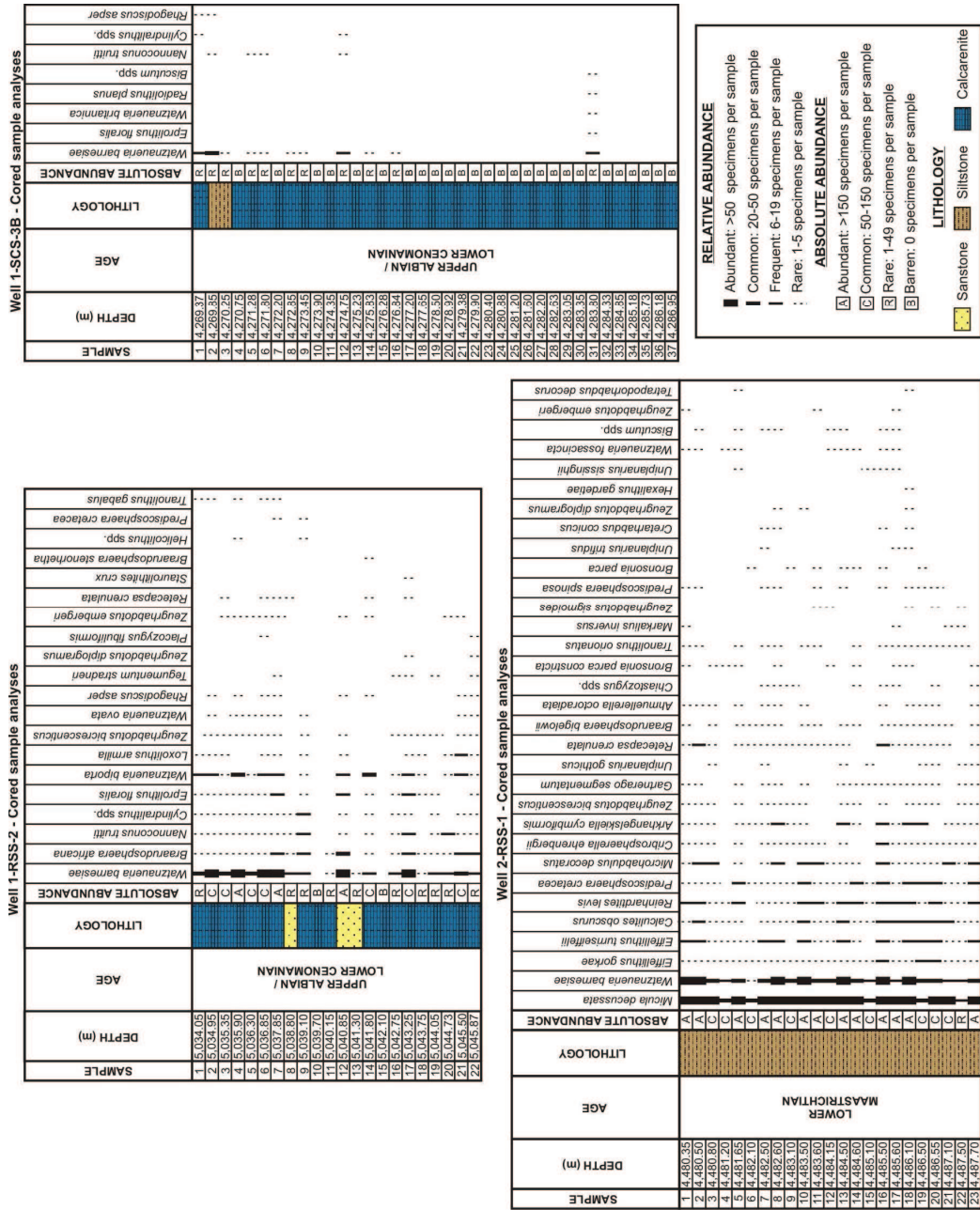


Figure 8

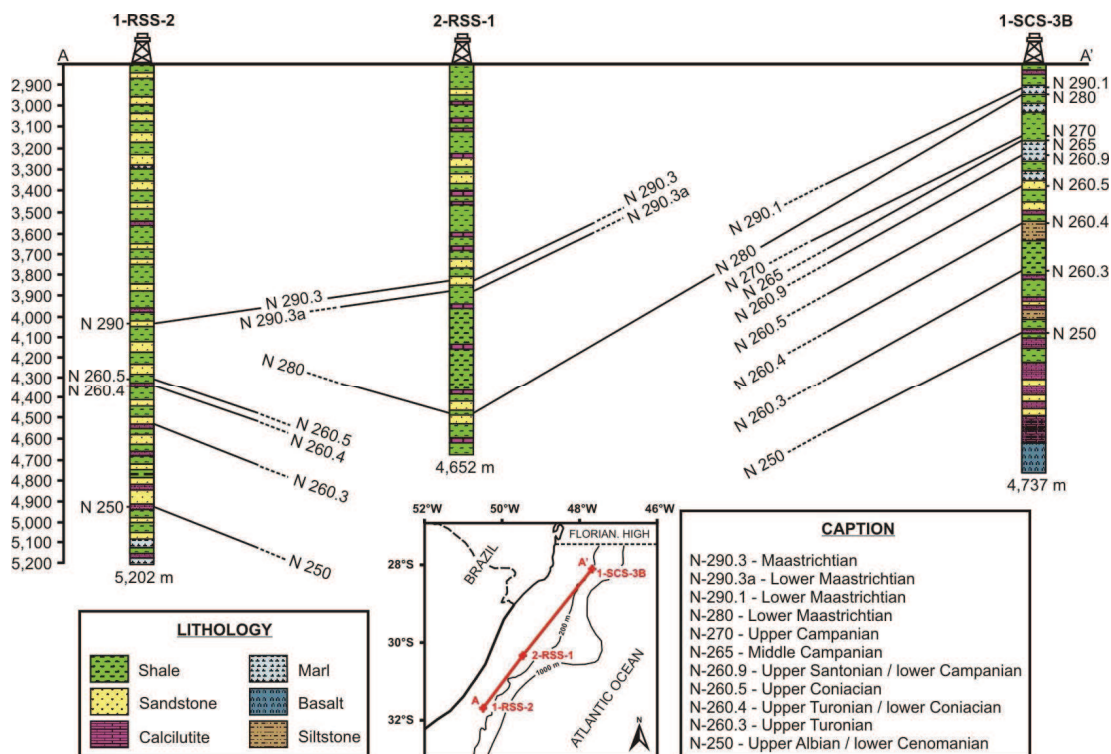


Figure 9

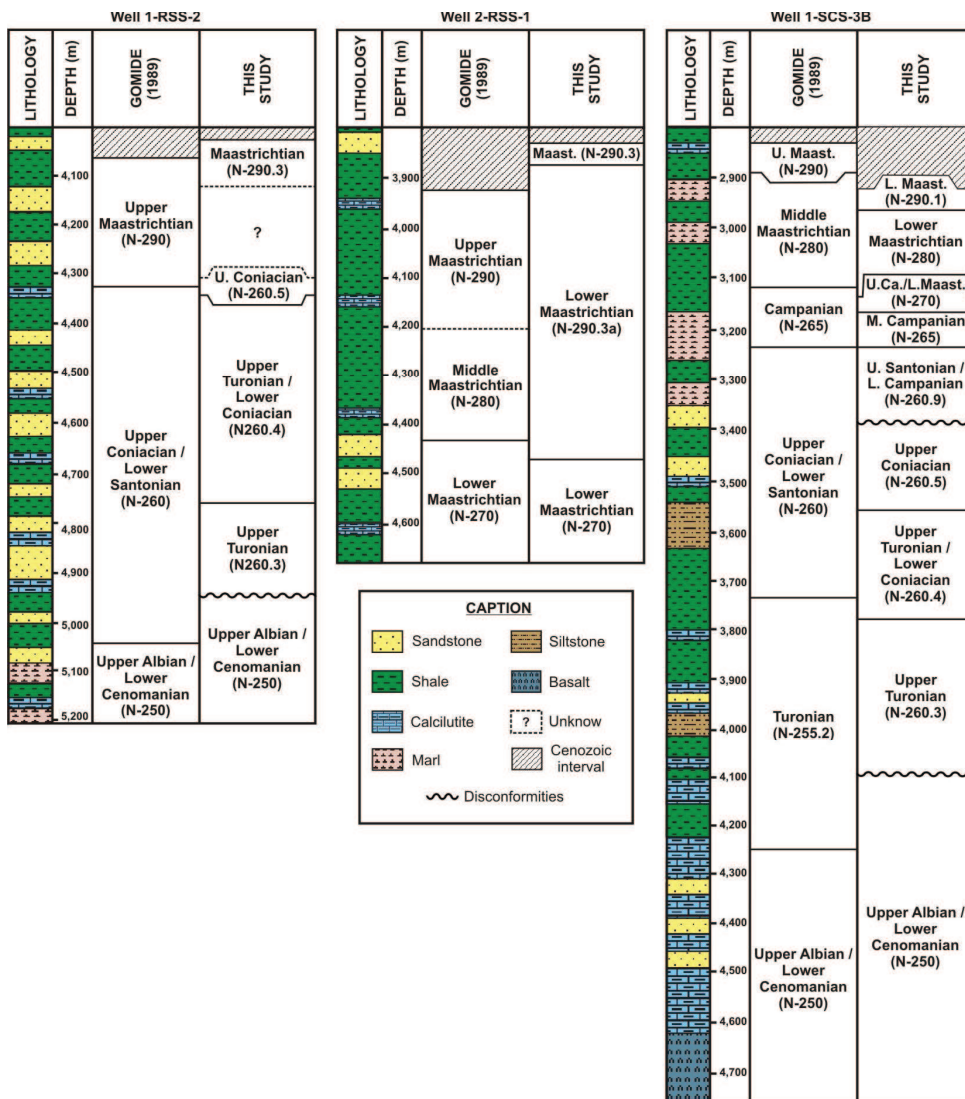


Figure 10

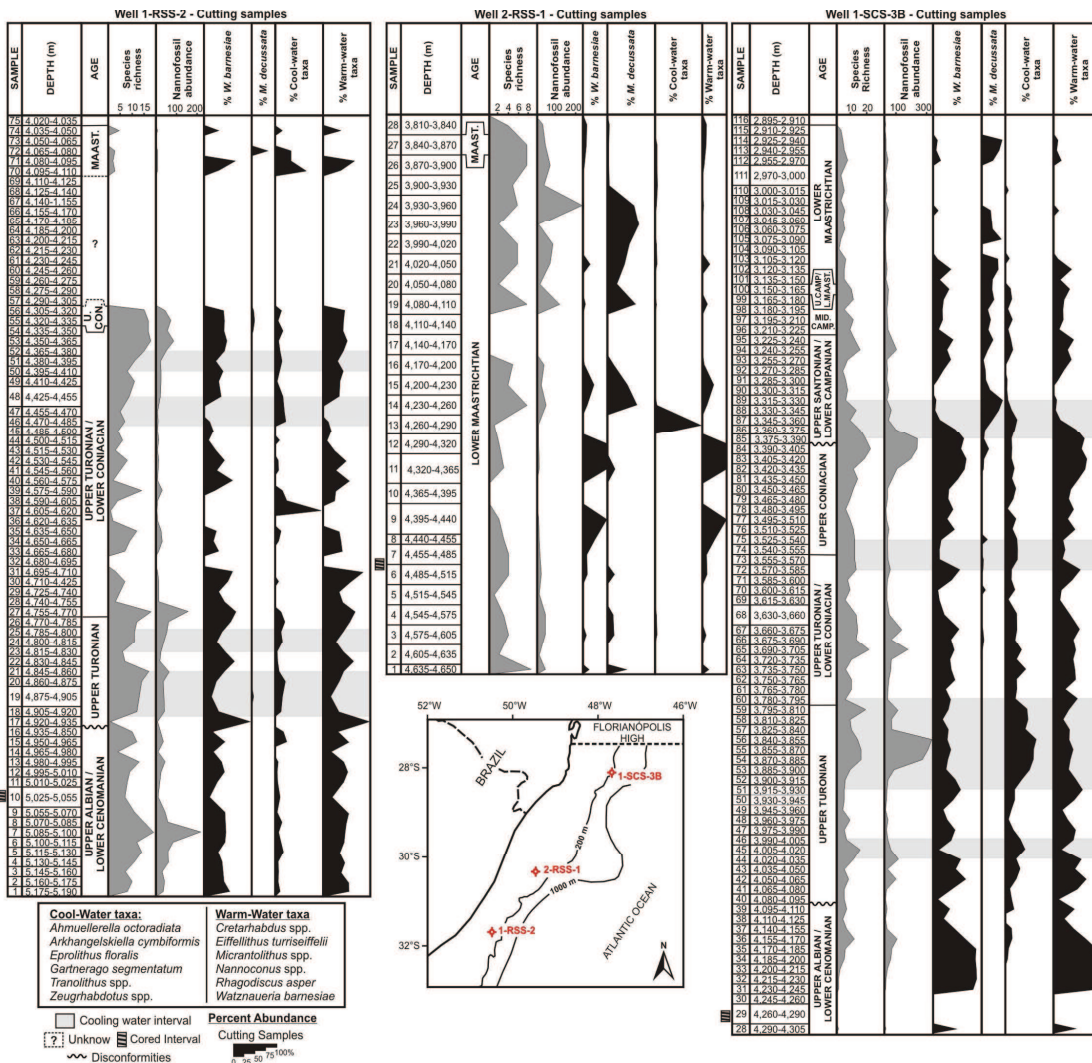


Figure 11



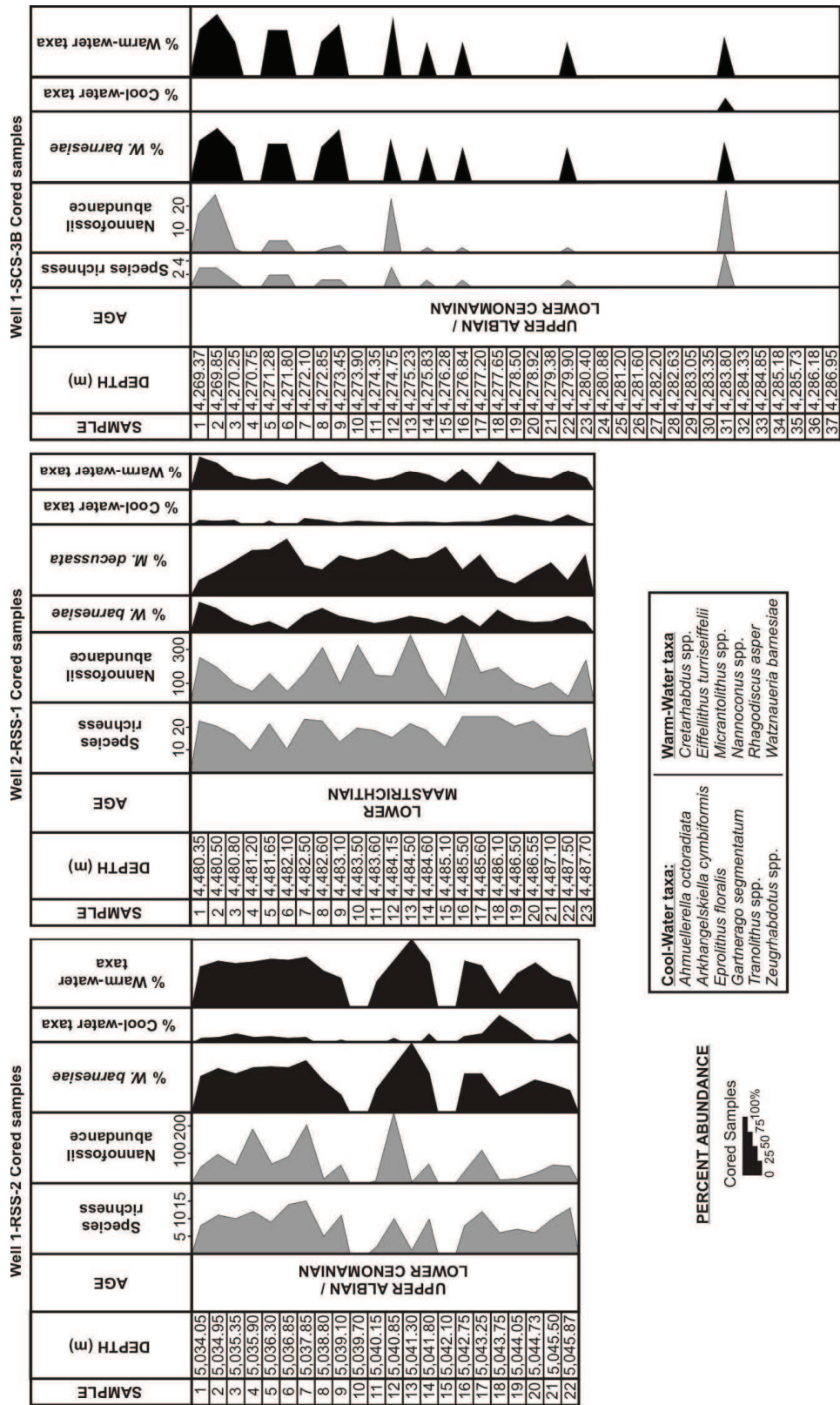


Figure 12



Wells	Cutting sample		Core sample		TOTAL
	Interval (m)	Quantity	Interval (m)	Quantity	
1-RSS-2	3.105-5.190	75	Core: 5.034,05-5.045,87	22	97
2-RSS-1	3.402-4.650	28	Core: 4.480,35-4.488,70	23	51
1-SCS-3B	2.490-4.725	116	Core: 4269,37- 4286,95	37	153
TOTAL SAMPLES ANALYZED					301

**Table 1**

Species	Cool-Water	Warm-Water	References	Localities
<i>A. octoradiata</i>	x		12, 13, 16, 19 and 20	Indian and Atlantic (E/N) Oceans, Tethys, North Sea.
<i>A. cymbiformis</i>	x		12, 13, 20 and 22	Indian and Atlantic (S) Oceans, Tethys, North Sea.
<i>E. floralis</i>	x		7, 17, and 18	Atlantic (E/N) Oceans, Tethys.
<i>G. segmentatum</i>	x		1, 2, 16, 18 and 19	Atlantic (S/E/N) Oceans.
<i>Zeughrabdotus</i> spp.	x		3, 5, 9, 10, and 18	Atlantic (N) Oceans, Tethys.
<i>Tranolithus</i> spp.	x		1, 8, 10, 11, 12, 17, and 18	Indian and Atlantic (S/E/N) Oceans.
<i>M. decussata</i>	x	x	1, 2, 6, 13, 15, 16, 20, and 21	Pacific, Indian and Atlantic (S/E/N) Oceans, Tethys, North Sea.
<i>Cretarhabdus</i> spp.		x	14	Atlantic (N) Ocean.
<i>E. turrisseiffelii</i>		x	6, 13, 14, 20 and 22	Atlantic (N/S), Tethys, North Sea.
<i>Nannoconus</i> spp.		x	3, 4, 5, and 10	Atlantic (N) Ocean, Tethys.
<i>Micrantolithus</i> spp.		x	3, 4, 5, and 10	Atlantic (N) Ocean, Tethys.
<i>R. asper</i>		x	3, 4, 5, 10, 17 and 19	Atlantic (E/N) Oceans, Tethys.
<i>W. barnesiae</i>		x	2, 5, 7, 14, 15, 16, 18 and 21	Pacific and Atlantic (S/E/N) Oceans, Tethys.

Table 2

### 3.1.1 Documentação referente a submissão do ARTIGO II

**De:** Journal of South American Earth Sciences kellogg@geol.sc.edu

**Para:** rodrigomguerra1@gmail.com

**Data:** 4 de julho de 2011 12:39

**Assunto:** Submission Confirmation

Dear Rodrigo,

We have received your article "Cretaceous calcareous nannofossils from Pelotas Basin, Brazil: biostratigraphic and paleoecological inferences" for consideration for publication in Journal of South American Earth Sciences.

Your manuscript will be given a reference number once an editor has been assigned.

Thank you for submitting your work to this journal.

Kind regards,

Elsevier Editorial System

Journal of South American Earth Sciences

#### **4 RECOMENDAÇÕES**

Apesar deste estudo ter alcançado uma resolução bioestratigráfica superior a proposta anteriormente por Gomide (1989), novos estudos envolvendo outros grupos de microfósseis, como os foraminíferos planctônicos e palinomorfs, podem auxiliar num refinamento bioestratigráfico e melhor entendimento da evolução sedimentar do Cretáceo na Bacia de Pelotas.