

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS  
CAMPUS RIO CLARO**

Programa de Pós-Graduação em Geologia Regional -  
Área de Geologia Regional

**TAFONOMIA DAS ROCHAS CARBONÁTICAS CONCHÍFERAS  
DAS FORMAÇÕES TERESINA E RIO DO RASTO (PERMIANO,  
BACIA DO PARANÁ)**

**JACQUELINE PEIXOTO NEVES**

Orientadora: Profa. Dra. Rosemarie Rohn Davies

Co-orientador: Prof. Dr. Marcello Guimarães Simões

**RIO CLARO (SP)**

**2009**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS  
CAMPUS RIO CLARO**

Programa de Pós-Graduação em Geologia Regional -  
Área de Geologia Regional

**TAFONOMIA DAS ROCHAS CARBONÁTICAS CONCHÍFERAS  
DAS FORMAÇÕES TERESINA E RIO DO RASTO (PERMIANO,  
BACIA DO PARANÁ)**

**JACQUELINE PEIXOTO NEVES**

Orientadora: Profa. Dra. Rosemarie Rohn Davies

Co-orientador: Prof. Dr. Marcello Guimarães Simões

Dissertação de Mestrado  
elaborada junto ao Programa  
de Pós-graduação em  
Geologia Regional para  
obtenção de título de mestre  
em Paleontologia.

**RIO CLARO (SP)**

**2009**

*Dedico minha dissertação de mestrado  
à minha querida família e amigos do  
coração, meus incentivadores!*

## *Agradecimentos*

*Em primeiro lugar agradeço à força maior que me conduz em tudo que faço, Deus! Obrigada pela vida, oportunidade evolutiva em minha trajetória de iluminação e crescimento. Obrigada principalmente pelos momentos difíceis, pois com eles cada dia posso me tornar uma pessoa melhor... Obrigada pelas pessoas em meu redor, que para mim são degraus que me ajudam a subir para sempre evoluir...*

*Waldemar e Zenaide, minha essência, minhas raízes firmes! Giane, Giovani, Bruno e Thiago, minhas eternas ligações... Obrigada!*

*Rosemarie Rehn Davies e Marcello Guimarães Simões, meus orientadores... Obrigada por todos os ensinamentos, orientação e exemplos a serem seguidos!*

*Suzana, pelo companheirismo no laboratório e ajuda sempre que precisei... Assim como a Juliana David e Cristiano Négois pelo auxílio no trabalho de campo... Obrigada!*

*Paulo Tibana, pela disponibilidade em auxiliar nas análises petrográficas... Obrigada!*

*Juliana e Hamilton, por todo auxílio técnico e disposição em ajudar... Obrigada!*

*Aos amigos de intensa convivência no decorrer da elaboração dessa dissertação, que ficarão em meu coração para não mais saírem, vocês são muito importantes para mim: Babalu, Bianca, Sabrina, Juliana Leme, Karina, Juliana Pomari, Negin, Cristiano (Loly) e Joana... Obrigada!*

*Ásine e Tidinha... Obrigada por estarem sempre ao meu lado!*

*À Fapesp, agência financiadora desse projeto... Muito obrigada!*

*“A mente que se abre a uma nova idéia jamais*

*voltará ao seu tamanho original”.*

*(Albert Einstein)*

## RESUMO

Bivalves fósseis são comuns em rochas siliciclásticas e carbonáticas das formações Teresina e Rio do Rasto (Permiano Médio/Superior), Bacia do Paraná. Entretanto, a gênese das camadas de conchas carbonáticas ainda é pouco conhecida. Cinco camadas de calcários do centro-sul e norte do Estado do Paraná foram selecionados para estudo tafonômico: dois *grainstones* oolíticos a bivalves (Prudentópolis) e um *grainstone* a peloídes e bivalves com intraclastos e oncoídes (Rio Preto) da Formação Teresina; um *packstone* e um *wackestone* a bivalves e oncoídes (Ribeirão Claro) da Formação Rio do Rasto. As camadas carbonáticas ( $\leq 45$  cm de espessura), estão intercaladas entre rochas pelíticas, possuem contato basal erosivo, quantidade variável de intraclastos pelíticos, valvas caoticamente distribuídas com graduação vertical descontínua e empacotamento denso a disperso. As conchas encontram-se desarticuladas, comumente fragmentadas, às vezes incrustadas por cianobactérias, e correspondem a espécies alóctonas que viviam em substratos distintos. As assembléias de bivalves representam, portanto, tanatocenoses em tempestitos proximais amalgamados, gerados em água rasa com frequentes modificações por bioturbação e baixa taxa de sedimentação. A presente pesquisa corrobora outras evidências de que acumulações de conchas paleozóicas em mares epicontinentais resultaram de história tafonômica complexa com acentuada mistura temporal e espacial dos bioclastos sob influência de tempestades.

Palavras-chave: Tafonomia, rochas carbonáticas, moluscos bivalves, Permiano, Grupo Passa Dois.

## ABSTRACT

Bivalve fossils are common in siliciclastic and carbonate rocks of the Teresina and Rio do Rasto formations (Middle to Late Permian), Paraná Basin. However, little is known about shell concentrations in carbonates. Five limestone beds in south-central and northern Paraná State were selected for a taphonomic study: two oolite-bivalve grainstones at Prudentópolis and one peloid-bivalve grainstone with intraclasts and oncoids at Rio Preto, from Teresina Formation; one packstone and one wackestone with bivalves and oncoids at Ribeirão Claro, from Rio do Rasto Formation. The limestone beds ( $\leq 45$  cm thick) are intercalated with pelitic rocks; the basal contact is sharp and erosive, with variable amount of pelitic intraclasts. Shells are randomly oriented (many nested/stacked), showing dense to disperse packing, and discontinuous grading. The shells are disarticulated, commonly fragmented, sometimes encrusted by stromatolites, and correspond to allochthonous specimens winnowed from distinct life-substrates. The bivalve concentrations were generated in shallow water settings punctuated by storms, under very low sedimentation rates, with frequent intrastratal bioturbation. Hence, the concentrations are amalgamated proximal tempestites. This work corroborates previous evidences that Paleozoic shell beds from the epeiric seas have complex taphonomic histories and result from strong temporal/spatial mixing of bioclasts under storm influence.

Keywords: Tafonomy, limestone, bivalve molluscs, Permian, Passa Dois Group.

## Índice

	<b>Página</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>01</b>
1.1. PROBLEMÁTICA ENVOLVIDA	02
1.2. OBJETIVOS DO ESTUDO	04
<b>2. MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>05</b>
2.1. LOCALIZAÇÃO DAS CAMADAS CARBONÁTICAS ESTUDADAS	05
2.2. ATIVIDADES DE CAMPO	07
2.3. ATIVIDADES DE LABORATÓRIO	07
2.3.1. Descrição macroscópica das amostras	08
2.3.2. Descrição microscópica da amostras	09
2.3.3. Classificação das rochas carbonáticas	10
2.3.4. Identificação das espécies	11
2.4. ATIVIDADES DE GABINETE	11
<b>3. CARACTERIZAÇÃO DOS CALCÁRIOS CONCHÍFEROS ESTUDADOS</b>	<b>13</b>
3.1. <i>GRAINSTONE OOLÍTICO A BIVALVES DA PEDREIRA PRU 1 DE PRUDENTÓPOLIS</i>	13
3.2. <i>GRAINSTONE OOLÍTICO A BIVALVES E PELÓIDES DA PEDREIRA PRU 2 DE PRUDENTÓPOLIS</i>	23
3.3. <i>GRAINSTONE / PACKSTONE A PELÓIDES E BIVALVES COM INTRACLASTOS, OÓIDES E ONCÓIDES DE RIO PRETO</i>	30
3.4. CAMADAS CARBONÁTICAS DE RIBEIRÃO CLARO	40
3.4.1. <i>PACKSTONE A BIVALVES E ONCÓIDES DO AFLORAMENTO 1 DE RIBEIRÃO CLARO</i>	42
3.4.2. <i>WACKESTONE A BIVALVES E ONCÓIDES DO AFLORAMENTO 2 DE RIBEIRÃO CLARO</i>	50
3.5. DESCRIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DAS ROCHAS CALCÁRIAS CONCHÍFERAS ESTUDADAS	55
<b>4. DISCUSSÃO</b>	<b>57</b>
4.1. GÊNESE E HISTÓRIA TAFONÔMICA DAS CONCENTRAÇÕES FÓSSEIS ESTUDADAS	57
4.2. IMPLICAÇÕES PALEONTOLÓGICAS:	68
<b>5. SUMÁRIO &amp; CONCLUSÕES</b>	<b>70</b>
<b>6. REFERÊNCIAS</b>	<b>72</b>

## Listra de ilustrações

### **Lista de figuras**

<u>Capítulo 1</u>	<u>Página</u>
Figura 1.1 – Coluna cronoestratigráfica da Bacia do Paraná	02
<u>Capítulo 2</u>	
Figura 2.1 - Mapa da porção leste da Bacia do Paraná	06
Figura 2.2 – Gênese de concentrações fossilíferas (Kidwell, 1991)	09
<u>Capítulo 3</u>	
Figura 3.1 – <i>Grainstone</i> oolítico a bivalves	13
Figura 3.2 – Perfil colunar da pedreira velha de Prudentópolis	14
Figura 3.3 – Estratificações cruzadas <i>hummocky</i> (Pru 1)	15
Figura 3.4 – Marcas onduladas e gretas de contração (Pru 1)	15
Figura 3.5 – Desenhos de cortes verticais (Pru 1)	17
Figura 3.6 – Amostra média inferior de Pru 1- (lâmina 1)	18
Figura 3.7 – Amostra média inferior de Pru 1- (lâmina 2)	19
Figura 3.8 – Amostra média inferior de Pru 1- (lâmina 3)	20
Figura 3.9 – Amostra superior de Pru 1- (lâmina 1)	21
Figura 3.10 – Desenhos de cortes verticais (Pru 1)	22
Figura 3.11 – Contato inferior da camada carbonática de Pru 2	23
Figura 3.12 – Perfil colunar dos afloramentos de Pru 2	24
Figura 3.13 – Contato superior da camada carbonática de Pru 2	25
Figura 3.14 – Espécimes de Prudentópolis (Pru 2)	25
Figura 3.15 – Vista superior da amostra de Pru 2	25
Figura 3.16 – Amostra de Pru 2 (lâmina 1)	27
Figura 3.17 – Amostra de Pru 2 (lâmina 2)	28
Figura 3.18 – Desenhos de cortes verticais (Pru 2)	29
Figura 3.19 – Pedreira de Rio Preto	30
Figura 3.20 – Contato basal da camada de Rio Preto	31
Figura 3.21 – Contato superior da camada de Rio Preto	31
Figura 3.22 – Perfil colunar do afloramento de Rio Preto	32
Figura 3.23 – Camada carbonática de Rio Preto	33
Figura 3.24 – Estratificações cruzadas na camada de Rio Preto	33
Figura 3.25 – Espécimes de Rio Preto	34

Figura 3.26 – Parte I da camada de Rio Preto	36
Figura 3.27 – Parte II da camada de Rio Preto	37
Figura 3.28 – Parte III da camada de Rio Preto	38
Figura 3.29 – Parte IV da camada de Rio Preto	39
Figura 3.30 – Perfil colunar dos afloramentos de Ribeirão Claro	41
Figura 3.31 – Camada do afloramento 1 de Ribeirão Claro-Carlópolis (PR)	44
Figura 3.32 – Parte 1 da camada de Ribeirão Claro (afloramento 1)	45
Figura 3.33 – Parte 2 da camada de Ribeirão Claro (afloramento 1, lâmina 1)	46
Figura 3.34 – Parte 2 da camada de Ribeirão Claro (afloramento 1, lâmina 2)	47
Figura 3.35 – Parte 3 da camada de Ribeirão Claro (afloramento 1)	48
Figura 3.36 – Desenhos de cortes verticais de Ribeirão claro (afloramento 1)	49
Figura 3.37 – Vista geral do Afloramento 2 de Ribeirão Claro	50
Figura 3.38 – Camada A do afloramento 2 de Ribeirão Claro	51
Figura 3.39 – Detalhe da camada A	52
Figura 3.40 – Amostra da Camada A (lâmina 1)	53
Figura 3.41 – Amostra da Camada A (lâmina 2)	54
<b><u>Capítulo 4</u></b>	
Figura 4.1 – Eventos responsáveis pela gênese das rochas estudadas	58
Figura 4.2 – Esquema do registro preservado	59

### **Listar de quadros**

Quadro 1 - Ficha de descrição microscópica das amostras	10
---	----

### **Listar de tabelas**

Tabela 1 – Classificações das concentrações estudadas	56
---	----

## 1. INTRODUÇÃO

O registro estratigráfico da Bacia do Paraná documenta uma progressiva tendência à continentalização dos sistemas deposicionais, assumindo, a partir do Permiano, a fisiografia de mar interior (Beurlen, 1957; Runnegar & Newell, 1971; Simões *et al.*, 1998; Milani, 2004). Conchas de moluscos bivalves se destacam como os principais elementos do registro fóssil de macro-invertebrados da sucessão permo-carbonífera da Bacia do Paraná (Simões *et al.*, 1998), tendo sido depositadas sob distintas condições de sedimentação. Conforme longamente destacado na literatura (vide Mendes, 1952; Runnegar & Newell, 1971; Simões *et al.*, 1998; Wesselingh, 2007), no Grupo Passa Dois (Cisuraliano Superior a Lopingiano Inferior, Fig. 1.1), as assembléias de bivalves são pouco diversificadas e dominadas por gêneros e espécies endêmicas à Bacia do Paraná ou com distribuição restrita às bacias do Gondwana Ocidental.

O Grupo Passa Dois subdivide-se nas Formações Irati, Serra Alta, Teresina e Rio do Rasto. Moluscos bivalves são de ocorrência rara nas rochas da Formação Irati (Beurlen, 1957; Kazubek & Simões, 2002, 2003a, b; Lages, 2004) e permanecem ainda hoje inadequadamente descritos, tanto em termos taxonômicos, como tafonômicos. Na Formação Serra Alta, embora os bivalves sejam ligeiramente mais comuns, em geral, estão preservados em folhelhos (Simões *et al.*, 2000). As principais ocorrências estão presentes na Formação Teresina e, na parte média/superior da Formação Corumbataí, onde as conchas estão tipicamente preservadas em tempestitos, na forma de arenitos bioclásticos (Simões & Kowalewski, 1998) ou coquinas (Simões *et al.*, 1996; Simões & Torello, 2003). Do mesmo modo, os bivalves ocorrem em rochas carbonáticas ainda na Formação Teresina e em alguns intervalos da Formação Rio do Rasto, conforme estudos realizados por Rohn (1994, 2001, 2007), Lourenço (2003), Rohn *et al.* (2003) e Meglhoratti (2005, 2006).

Conforme demonstrado pelos estudos tafonômicos de detalhe dos arenitos bioclásticos e das coquinas da Formação Corumbataí (Simões & Torello, 1994, 2003; Simões *et al.*, 1996; Simões & Kowalewski, 1998), tais acumulações compreendem concentrações fossilíferas internamente complexas (vide Kidwell *et al.*, 1986; Fürsich & Oschmann, 1993), onde as feições da matriz sedimentar e as assinaturas tafonômicas em seu conjunto, fornecem elementos para a determinação dos processos de fundo (*e.g.*, condições reinantes no dia-a-dia) e os processos responsáveis pela deposição final (*e.g.*, agente de deposição). Do mesmo modo que o observado para as rochas siliciclásticas (arenitos bioclásticos) da Formação Corumbataí, as diferentes

situações tafonômicas observadas nas camadas carbonáticas das formações Teresina e Rio do Rasto refletem, ao que tudo indica, distintas histórias de sedimentação.

CRONOESTRATIGRAFIA		LITOESTRATIGRAFIA		ASSEMBLÉIAS DE BIVALVES	POSIÇÃO ESTRATIGRÁFICA DOS AFLORAMENTOS ESTUDADOS	AMBIENTE DEPOSICIONAL		
		GRUPO	FORMAÇÃO					
PERMIANO	LOPINGIANO	RIO DO RASTO	MORRO PELADO	<i>Palaeomutela? platinensis</i>	SISTEMA FLÚVIO-EÓLICO	LAGO RASO		
	GUADALUPIANO							
	CAPITANIANO							
	VORDIANO							
	KUNGURIANO		SERRINHA	<i>Leinzia similis</i>				
	ROADIANO							
	PASSA DOIS							
	CISURALIANO		TERESINA	<i>Pinzonella neotropica</i>				
	KUNGBURIANO							
	GUADALUPIANO							
	LOPINGIANO							
	CAPITANIANO		SERRA ALTA	<i>Pinzonella illusa</i>				
	VORDIANO							
	KUNGURIANO			Intervalo sem bivalves registrados				
	ROADIANO							
	PASSA DOIS			<i>B. angulata</i>				
	CISURALIANO							
	KUNGBURIANO							
	GUADALUPIANO							
	LOPINGIANO							

Figura 1.1 –Posição estratigráfica dos afloramentos estudados na coluna da Bacia do Paraná (Estratigrafia conforme Rohn, 1994, 2007).

## 1.1. PROBLEMÁTICA ENVOLVIDA

As rochas carbonáticas aqui estudadas oferecem exemplos diversificados de situações tafonômicas/sedimentológicas e de suas relações complexas com rochas siliciclásticas. Na Formação Teresina, a maioria das assembléias de bivalves está preservada em biooesparitos, biomicritos e coquinas. Porém, esta unidade é constituída predominantemente por rochas siliciclásticas finas, em grande parte rochas heterolíticas com interlaminações de folhelhos cinza e arenitos muito finos com acamamento flaser, wavy e lenticular, às vezes com gretas de contração. Também ocorrem arenitos finos com laminações cruzadas por ondas ou estratificação cruzada *hummocky*. As rochas siliciclásticas estão organizadas em sucessões cíclicas

granocrescentes, de 0,5 a 6 m de espessura, começando com alguns centímetros de folhelhos escuros e terminando com rochas heterolíticas arenosas.

Os estratos carbonáticos apresentam espessuras de alguns milímetros até 40 cm, porém excepcionalmente apresentam mais do que 4 m de espessura (*e.g.*, em Taguaí, SP). Além das rochas já mencionadas, também existem biolititos estromatolíticos e brechas carbonáticas. Muitas vezes, sua organização interna é bastante complexa e bioturbada, notando-se complexa história deposicional (Rohn 2001, Meghioratti, 2006).

Os bivalves da Formação Teresina fazem parte das biozonas *Pinzonella illusa* e *Pinzonella neotropica*. As espécies que denominam as zonas são muito abundantes em comparação às demais. A diversidade não é alta, existindo cerca de 10 espécies na primeira biozona e seis na segunda. As espécies evoluíram de ancestrais marinhos (Simões *et al.*, 1997, 1998; Ghilardi & Simões, 2002), todavia nenhum fóssil da Formação Teresina pode ser considerado como evidência irrefutável de conexão da Bacia do Paraná a um corpo marinho. Contudo, análises geoquímicas de algumas rochas carbonáticas do Grupo Passa Dois, indicam sedimentação em condições hipersalinas (Rodrigues & Quadros, 1976). As porções carbonáticas poderiam estar relacionadas a condições climáticas mais secas que as siliciclásticas e/ou condições transgressivas (quando o aporte de siliciclastos à bacia diminuiu). Contudo, estas interpretações não satisfazem todas as situações estratigráficas e tafonômicas observadas. Portanto, os estudos tafonômicos dos bivalves poderiam resultar em novas alternativas de interpretação.

Quanto à Formação Rio do Rasto, a maior parte dos bivalves fósseis encontra-se preservada em pelitos e arenitos finos. Somente num intervalo do Membro Serrinha (divisão inferior daquela unidade), no nordeste do Estado do Paraná, ocorre freqüência maior de rochas carbonáticas (Lourenço, 2003; Rohn *et al.*, 2003; Meghioratti, 2005, 2006). Estas rochas são geralmente biomicríticos e coquinas, não existindo oosparitos. Pequenos estromatólitos desenvolvidos sobre conchas foram observados em alguns afloramentos.

O Membro Serrinha diferencia-se da Formação Teresina pela proporção maior de rochas areníticas e diminuição de rochas heterolíticas com acamamento *wavy*. Os arenitos, às vezes com mais do que 2 m de espessura, podem apresentar grânulos de quartzo na base e ligeira granodecrescência. Alguns arenitos podem corresponder a tempestitos e outros aparentemente são depósitos de desembocadura de rios efêmeros. A maior parte dos depósitos provavelmente se originou em condições lacustres. Os bivalves são de espécies completamente distintas em relação

àquelas da Formação Teresina, pertencentes à Zona *Leinzia similis* (fig. 1.1) e, possivelmente, a uma outra biozona, na porção basal da Formação Rio do Rasto; associam-se a eles conchostráceos (Rohn, 1994).

O estudo tafonômico da preservação diferencial de partes duras, principalmente com relação à orientação dos bioclastos na matriz sedimentar, a articulação, a fragmentação e a corrosão estão relacionadas à variações nas taxas de sedimentação e energia do ambiente (Brett & Baird, 1986). Biofábrica e qualidade de preservação dos bioclastos podem indicar parâmetros bióticos e abióticos do ambiente e fornecer evidências sobre os processos biológicos envolvidos na sua formação, tais como taxa de produção de partes duras e bioturbação (Fürsich & Oschmann, 1993; Fürsich & Pandey, 1998). Tais estudos podem ter aplicações estratigráficas mais amplas, contribuindo para reconstituir a história deposicional de bacias. No caso da Bacia do Paraná são ainda mais relevantes, pois a interpretação de alguns ambientes ainda apresenta controvérsias.

A maior parte dos estudos tafonômicos anteriores a esta investigação concentrou-se no Estado de São Paulo, na Formação Corumbataí (*e.g.*, Torello & Simões, 1994; Simões *et al.*, 1996; Simões & Kowalewski, 1998; Simões & Torello, 2003), a qual é correlacionável principalmente à Formação Teresina dos estados mais meridionais do Brasil. Tais estudos abrangeram rochas siliciclásticas e coquinas. As considerações tafonômicas anteriores para rochas carbonáticas nos estados do Paraná e de Santa Catarina foram pouco detalhadas, pois fizeram parte de pesquisas estratigráficas mais amplas (Rohn, 1994; Lourenço, 2003; Castro *et al.*, 2001; Meglhioratti, 2005, 2006).

A despeito dos estudos acima mencionados, as rochas carbonáticas do Grupo Passa Dois ainda são pouco estudadas, persistindo controvérsias quanto aos ambientes deposicionais e quanto ao ambiente no qual os moluscos bivalves viveram. Portanto, o presente estudo fornece informações adicionais para o melhor entendimento das complexas relações entre as rochas carbonáticas e siliciclásticas e seus processos e ambientes deposicionais.

## **1.2. OBJETIVOS DO ESTUDO**

Tendo em vista a problemática discutida acima, o presente estudo tem por objetivos:

- a- descrever, em detalhe, as características tafonômicas das concentrações fossilíferas contendo conchas de bivalves e outros bioclastos, presentes em coquinas e rochas carbonáticas conchíferas das formações Teresina e Rio do Rasto (Membro Serrinha);

- b- interpretar a gênese das concentrações bioclásticas estudadas, procurando classificá-las segundo os processos de deposição e a resolução paleoecológica das mesmas;
- c- estabelecer modelos de deposição das concentrações estudadas, buscando-se interpretações sobre os seus possíveis significados paleoambientais e a integração com as informações de cunho estratigráfico e sedimentológico.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

Segundo as recomendações de Simões & Gilardi (2000), preliminarmente ao início das atividades de coleta das amostras, foi realizada a delimitação do escopo do estudo e dos tipos de concentrações fossilíferas que poderiam ser amostradas ao longo do intervalo estratigráfico estudado. Em decorrência disso, e considerando as informações previamente disponíveis na literatura, cinco afloramentos de rochas carbonáticas ricas em bioclastos foram selecionadas para esse estudo tafonômico. Em Prudentópolis e, em Rio Preto (centro-sul do Estado do Paraná), as camadas conchíferas foram estudadas a partir de pedreiras, onde há boas exposições da Formação Teresina (Suguió *et al.*, 1974; Petri & Coimbra, 1982; Rohn, 1994; Andreis & Carvalho, 2001). Em Ribeirão Claro (norte do Estado do Paraná), camadas de rochas contendo bioclastos, pertencentes à Formação Rio do Rasto, foram analisadas a partir de um longo corte de estrada, na rodovia PR 151 (Meghioratti, 2006), conforme descrito a seguir.

### **2.1. LOCALIZAÇÃO DAS CAMADAS CARBONÁTICAS ESTUDADAS**

Para o presente estudo foram selecionadas as regiões de Prudentópolis, Irati (Distrito de Rio Preto) e Ribeirão Claro, no Estado do Paraná (Fig. 2.1), pois essas oferecem, conforme acima mencionado, exemplos diversificados de situações tafonômicas e de relações complexas entre rochas carbonáticas e siliciclásticas.

Duas pedreiras foram visitadas em Prudentópolis, as quais são aqui informalmente designadas de Pru 1 e Pru 2 (vide Rohn, 1994). Essas pedreiras expõem, provavelmente, a parte superior da Formação Teresina. A primeira pedreira (Pru 1) localiza-se próximo à área urbana, a leste do centro e imediatamente ao norte do Arroio Xaxim, afluente do rio dos Patos, nas coordenadas UTM 22J 0503,55 km E/ 7211,55 km N. A altitude na base da pedreira é de 760 m (precisão +/- 10 m). Essa pedreira está desativada apresentando melhor exposição ao longo de uma distância de 45 m. Apenas os 3 metros basais foram descritos em detalhe, pois outras partes

estão encobertas pela vegetação. A segunda pedreira de Prudentópolis (Pru 2), nas coordenadas UTM 22J 504,79 km E/7211,9 km N, está ativa e localiza-se cerca de 200 metros do rio dos Patos e 900 metros da rodovia Ponta Grossa-Guarapuava (BR 373), no acesso secundário a Prudentópolis (não pavimentado), aproximadamente 1,8 km a ENE da pedreira antiga de Prudentópolis. A pedreira apresenta grande exposição, estendendo-se por mais de 200 metros no sentido horizontal e 30 metros, no vertical, estando a base da pedreira a aproximadamente 740 metros de altitude.

Já a pedreira de Rio Preto está localizada na estrada Irati/Rio Preto, cerca de 3 km antes da última localidade e 0,7 km a oeste da ponte sobre o rio Corrente, nas coordenadas UTM 22J 0525,29 km E/ 7176,88 km N, à altitude (na base) de aproximadamente 840 metros. Essa pedreira ainda ativa tem uma frente de cava com cerca de 30 metros de extensão e outra ortogonal com 20 metros e altura máxima de 22 metros.



Figura 2.1 - Mapa da porção leste da Bacia do Paraná, destacando-se a parte aflorante do Grupo Passa Dois, em verde, e as regiões de estudo.

As camadas conchíferas de Ribeirão Claro (nos afloramentos 1 e 2) localizam-se na estrada Ribeirão Claro-Carlópolis (PR 151), num trecho íngreme da estrada com bons afloramentos do Membro Serrinha às duas margens da pista, aproximadamente 7 km de Ribeirão Claro e 24 km de Carlópolis. O afloramento 1 situa-se cerca de 600 m a noroeste da igreja São Sebastião, no km 23,3 da estrada, às coordenadas UTM 22K 0627,13 km E/ 7425,76 km N, à altitude aproximada de 550 m. O afloramento 2 localiza-se cerca de 300 m rumo a Ribeirão Claro, próximo ao km 23 da estrada, às coordenadas UTM 22K 0626,98 km E/ 7426,00 km N, à altitude de 575 m.

## **2.2. ATIVIDADES DE CAMPO**

No presente estudo foram empregados os esquemas de descrição em campo de concentrações fossilíferas sugeridos por Kidwell (1991) e Kidwell & Holland (1991), complementados pelas recomendações de coleta de Simões & Kowalewski (1998) e Simões & Ghilardi (2000). Assim sendo, as amostras foram coletadas na forma de blocos centimétricos, dada a impossibilidade de coleta e transporte de blocos métricos, seja pela espessura menor dos depósitos fossilíferos, seja dureza das camadas. No campo, as observações qualitativas foram realizadas com especial atenção à espessura, continuidade lateral, geometria, contatos, grau de empacotamento e assinaturas tafonômicas dos bioclastos. Foram levantados perfis faciológicos para cada afloramento e fotografadas as principais feições estratigráficas, sedimentológicas e tafonômicas macroscópicas observáveis em campo. Procurou-se amostrar as camadas de interesse de modo mais completo possível, desde a base até o topo, representativas em termos de variações laterais e, quando possível, incluindo ainda partes das camadas sub e sobrejacentes para o estudo detalhado dos contatos entre elas. No caso das camadas mais espessas, ou muito compactas, não foi possível coletar blocos inteiros com toda sua extensão vertical, mas blocos menores, que em conjunto, representam todo o intervalo. Tais blocos foram numerados e reconstituídos no laboratório com relação à orientação original.

## **2.3. ATIVIDADES DE LABORATÓRIO**

Os trabalhos foram realizados conforme o protocolo tafonômico/ paleoautoecológico de Simões & Ghilardi (2000), adaptado para o contexto de rochas carbonáticas. Tais atividades foram executadas, em parte, no Laboratório de Paleontologia coordenado pela orientadora Profa. Dra. Rosemarie Rohn (Departamento de Geologia Aplicada, IGCE-UNESP Rio Claro) e, em

parte, no Laboratório de Paleozoologia Evolutiva coordenado pelo co-orientador Prof. Dr. Marcello Guimarães Simões (Departamento de Zoologia, IBB-UNESP Botucatu).

### **2.3.1. Descrição macroscópica das amostras**

Para a descrição dos atributos ou assinaturas tafonômicas foram utilizadas, principalmente, as nomenclaturas sugeridas por Kidwell *et al.* (1986), Brett & Baird (1986), Fursich & Oschman (1986, 1993) e Kidwell & Holland (1991). As concentrações fossilíferas foram analisadas e descritas obedecendo, sempre que possível, os seguintes critérios recomendados por Kidwell & Holland (1991):

- Feições sedimentológicas do depósito:
  - empacotamento dos bioclastos;
  - percentual, em volume, dos bioclastos no depósito;
  - seleção dos bioclastos;
  - tipo de matriz;
  - estruturas sedimentares biogênicas e físicas associadas.
- Feições tafonômicas dos bioclastos:
  - orientação no plano horizontal e em seção;
  - grau de articulação dos restos esqueletais;
  - fragmentação;
  - arredondamento;
  - abrasão, corrosão, bioerosão ou incrustação na superfície.
- Atributos paleoecológicos dos bioclastos:
  - número de espécies;
  - abundância relativa das espécies;
  - hábito de vida;
  - idade ontogenética dos indivíduos/tamanho dos exemplares;
  - mineralogia e estruturas originais.

Finalmente, em função dos objetivos do estudo, a classificação genética das concentrações fossilíferas seguiu Kidwell (1991) e Fürsich & Oschmann (1993) a qual reconhece quatro tipos principais de acumulação (Fig. 2.2), com relação às taxas de sedimentação: 1- *event-*

*concentration; 2- composite-concentration; 3- hiatal/condensed concentration, e 4- lag-concentration.*

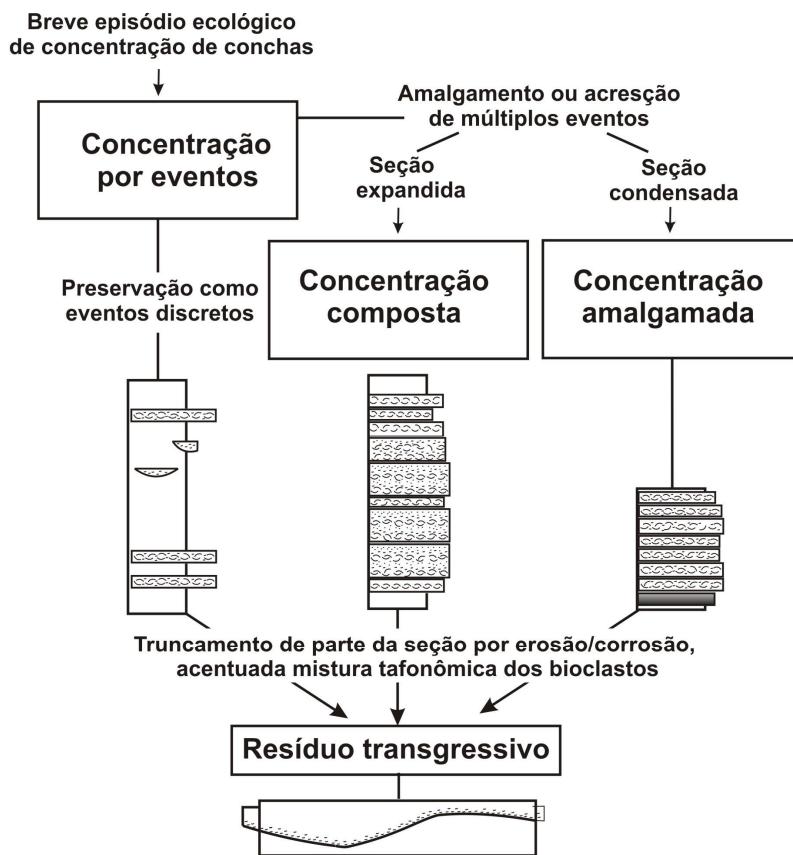


Figura 2.2 – Gênese de concentrações fossilíferas, segundo as taxas de sedimentação (Kidwell, 1991).

### 2.3.2. Descrição microscópica da amostras

Os blocos de rochas foram, inicialmente, mergulhados em recipientes com água para eliminar poeira e outros resíduos (*e.g.*, raízes) das amostras. Em alguns casos, os blocos foram mergulhados e deixados, por um ou dois dias, em solução de água sanitária a fim de remover musgos e líquens incrustados na superfície das rochas. Após a limpeza, as amostras foram fotografadas com câmera digital com o objetivo de documentar o material antes de seu seccionamento.

Em laboratório, os blocos coletados em campo foram preparados de acordo com as técnicas utilizadas por Feldmann *et al.* (1989) e, posteriormente, seccionados verticalmente com serras diamantadas, com a finalidade de se obter superfícies planas, permitindo observar melhor

as características tafonômicas das rochas estudadas e selecionar as regiões mais interessantes para a confecção de lâminas delgadas. A confecção das lâminas foi realizada por técnico do Laboratório de Laminação do IGCE/Unesp, Rio Claro. Em alguns casos, foram confeccionadas mais de uma lâmina por amostra, conforme se julgou necessário. Foram analisadas 43 lâminas delgadas das amostras a fim de melhor detalhar aspectos tafonômicos dos bioclastos e classificar as rochas carbonáticas em estudo. Esta etapa foi realizada no laboratório de Microscopia do Departamento de Petrologia e Metalogenia do IGCE/UNESP.

Para auxiliar a descrição microscópica foram utilizadas fichas conforme modelo abaixo:

1) Tipo de rocha carbonática: ( ) micrítica ( ) esparítica;

2) Presença de:

*R – raros; C – comuns; F/A – freqüentes – abundantes:*

- Grãos aloquímicos:

( ) Oóides ( ) Oncóides ( ) Pellets ( ) Pelóides ( ) Intraclastos

- Grãos bioclásticos:

Moluscos: ( ) Gastrópodos ( ) Bivalves

( ) Ostracodes ( ) Algas calcárias ( ) Espículas de esponja

( ) - Estromatólitos ( ) Outros

3) Minerais não carbonáticos:

( ) Quartzo ( ) Mica ( ) Feldspato ( ) Glauconita ( ) Pírita

3.1) Feições diagenéticas:

( ) Estilolito ( ) Cimento ( ) Franja ( ) Mosaico

4) Classificação: \_\_\_\_\_

5) Descrição da lâmina: \_\_\_\_\_

Quadro 1 - Ficha de descrição microscópica das amostras.

### 2.3.3. Classificação das rochas carbonáticas

Adotou-se a classificação de Dunham (1962) para todas as amostras analisadas. O autor classifica os carbonatos com relação ao arranjo (empacotamento) entre grãos, aspecto relevante em se tratando de um estudo tafonômico de moluscos bivalves. Na descrição das amostras entende-se por grãos: oncóides, clastos e bioclastos. Cabe lembrar ainda que nas localidades de

Prudentópolis (Pru 2), Rio Preto e Ribeirão Claro, as rochas carbonáticas apresentam quantidades significativas de grãos de quartzo do tamanho silte a areia muito fina, devendo-se acrescentar, nas designações acima, respectivamente, os termos “siltoso” ou “arenoso” (Mount, 1985).

Em diversas amostras, as conchas de bivalves são compostas por cristais de calcita e apresentam superfície externa escura. Segundo Flügel (1982), esta situação resulta da dissolução do carbonato de cálcio original das conchas (ragonita) e precipitação de calcita no respectivo espaço. A superfície escura é uma película micrítica, resultante de intensas microperfurações por microorganismos, muito comum em conchas de moluscos fossilizadas, a qual permitiu a preservação da sua forma original. Tendo em vista o caráter cristalino das conchas fossilizadas por tal processo, a literatura paleontológica utiliza amplamente o termo "recristalização" para denominá-lo, embora seja mais correto o termo "substituição" ou "calcitização". Na presente dissertação, é utilizado o termo "recristalização", porém com as ressalvas apresentadas.

#### **2.3.4. Identificação das espécies**

Para identificação dos espécimes de moluscos bivalves presentes nas amostras estudadas foi adotada a classificação de Runnegar & Newell (1971).

### **2.4. ATIVIDADES DE GABINETE**

As atividades de gabinete incluíram (a) confecção de perfis colunares, (b) elaboração de banco de imagens e (c) levantamentos bibliográficos. Os perfis faciológicos levantados em campo, em papel quadriculado, foram redesenhados ao computador através do *software* CorelDraw 12.

Com o intuito de complementar a descrição macroscópica das rochas estudadas, foi organizado um banco de imagens, através das fotografias de lâminas delgadas das rochas. Essa atividade foi executada para 43 lâminas anteriormente preparadas, gerando um banco de, aproximadamente, 800 imagens. Para cada região fotografada das lâminas, foi tomado o cuidado de obter a imagem com os nicóis cruzados e paralelos, a fim de auxiliar na identificação dos minerais e ressaltar certas características tafonômicas dos bioclastos, ora melhor visíveis com nicóis paralelos, ora com nicóis cruzados. As imagens digitais dos afloramentos e das amostras coletadas (antes e após os cortes) também foram organizadas somando cerca de 970 imagens.

Para cada amostra foi confeccionada uma estampa contendo uma imagem da seção da amostra e imagens das respectivas lâminas petrográficas.

Finalmente, o levantamento bibliográfico incluiu a pesquisa de artigos relativos a rochas carbonáticas, tafonomia e ao Grupo Passa Dois, em especial às formações Teresina e Rio do Rasto. Programas de busca, a partir dos recursos da Internet, como o de referências geológicas e de base de dados (Sibi, GeoRef, Portal Capes), foram empregados nessa atividade.

### 3. CARACTERIZAÇÃO DOS CALCÁRIOS CONCHÍFEROS ESTUDADOS

#### 3.1. GRAINSTONE OOLÍTICO A BIVALVES DA PEDREIRA PRU 1 DE PRUDENTÓPOLIS

Conforme já mencionado no capítulo Material & Métodos, a região de Prudentópolis, no Estado do Paraná, apresenta dois afloramentos da Formação Teresina que foram detalhadamente estudados (Fig. 2.1). No afloramento PRU 1, a camada carbonática é lateralmente extensa ( $>45$  m), com aproximadamente 21 a 30 cm de espessura (Fig. 3.1), intercalada em rochas siliciclásticas finas (arenitos/folhelhos interlaminados com acamamento wavy; Fig. 3.2). O corpo sobrepõe uma superfície de erosão aproximadamente plana (Fig. 3.1) e apresenta ondulações simétricas ou irregulares no topo (Figs. 3.1., 3.3., 3.4), aparentemente bifurcadas, alcançando 3 cm de altura, 30 a 40 cm de comprimento de onda e direção das cristas quase N-S (N 85°).

Segundo Castro *et al.* (2001), é um tempestito carbonático grosso composto por calcarenito oolítico/bioclastico e, de acordo com a classificação adotada neste trabalho, trata-se de um *grainstone* oolítico a bivalves (conforme justificado no item 2.3.3). Na porção superior da camada há laminações cruzadas por ondas ou, segundo Castro *et al.* (2001), estratificação ondulada truncante ou *microhummocky* (Fig. 3.3).

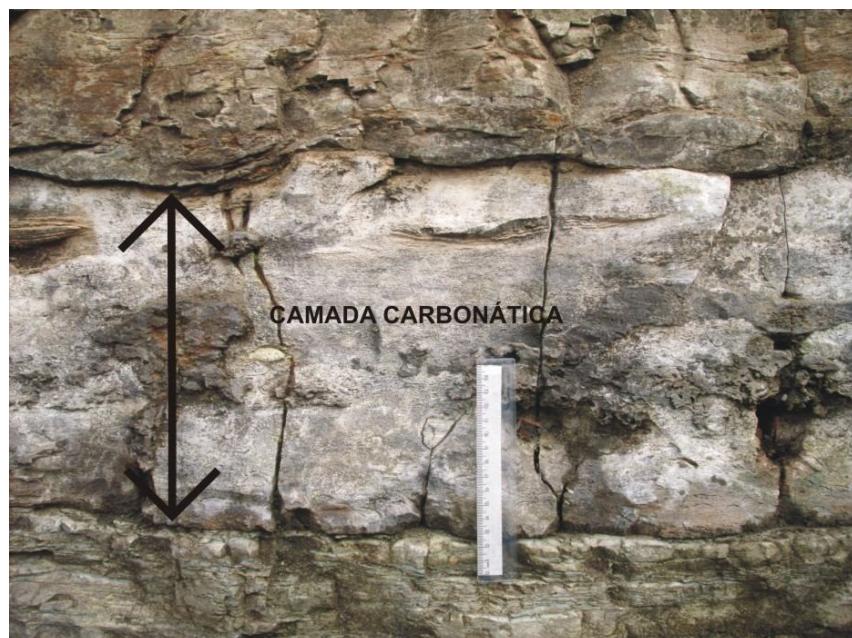


Figura 3.1 – Camada de *grainstone* oolítico a bivalves de PRU 1. O contato inferior é uma superfície de erosão e o superior é ondulado. Escala = 15 cm.

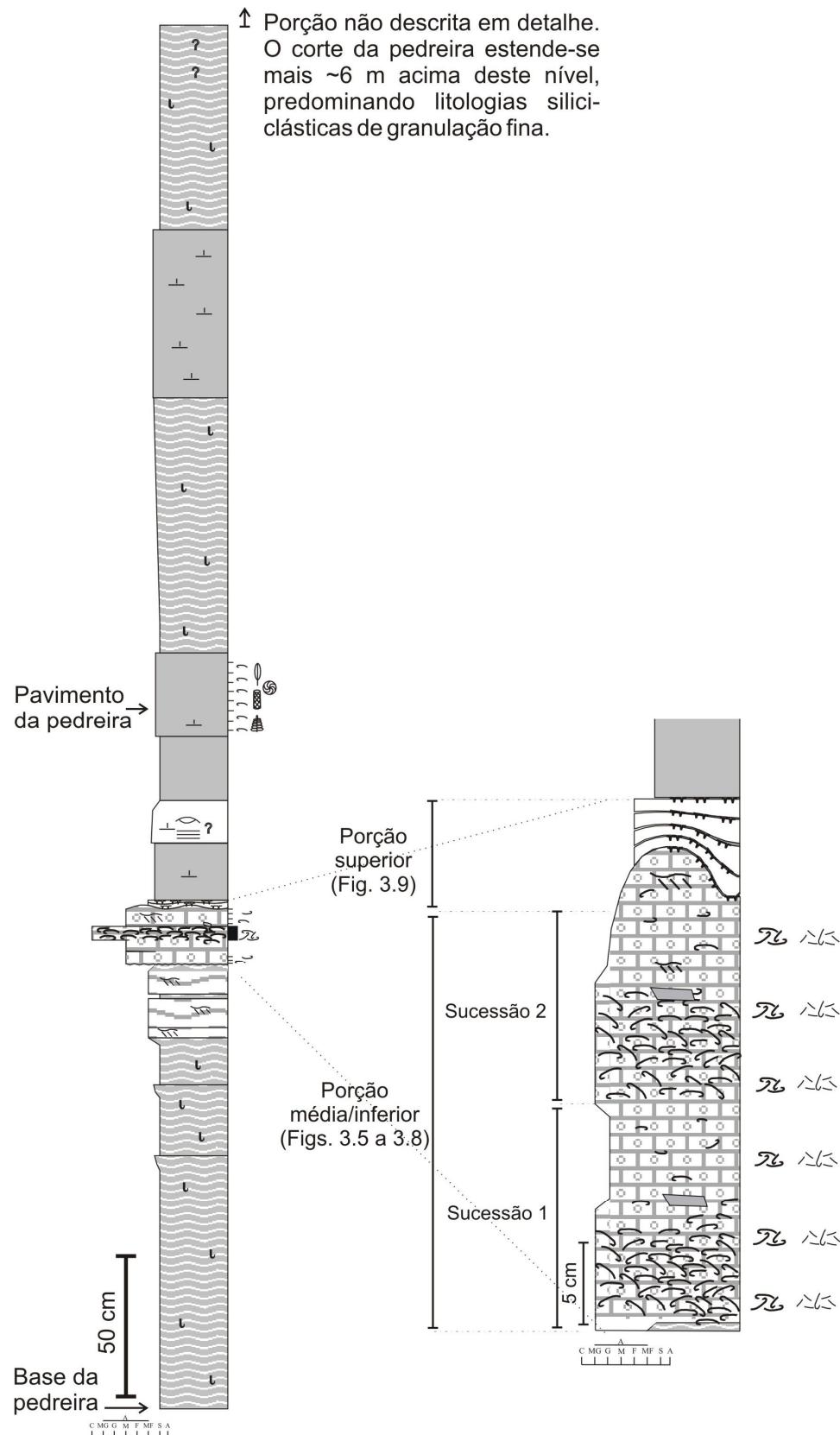


Figura 3.2 – Perfil colunar de PRU 1 (vide legenda na folha ao lado).



Figura 3.3 – Laminações cruzadas por ondas (*microhummocky*) na parte superior da camada carbonática em PRU 1. Topo ondulado sobreposto por folhelhos e arenitos ondulados. Escala = 15 cm.

As ondulações do calcário estão sobrepostas por drape de folhelho preto com pequenas gretas de contração e quatro camadas de arenito fino, também drapeadas por folhelho preto com gretas, alcançando cerca de 5 cm de espessura (Fig. 3.4). Tais camadas têm ondulações herdadas da camada carbonática, gradualmente horizontalizadas rumo ao topo.

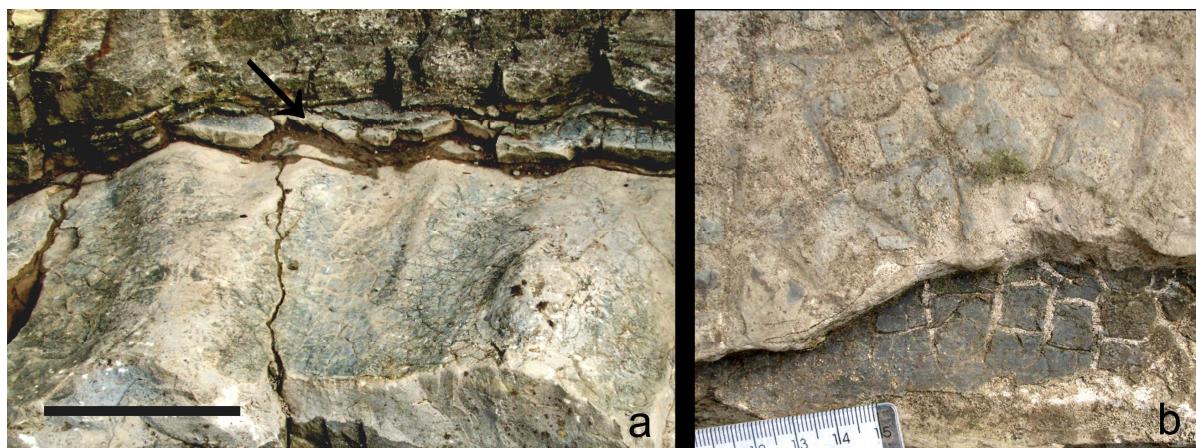


Figura 3.4 – Drape de folhelho com gretas de contração sobreposto ao calcário de PRU 1, seguindo-se quatro delgadas camadas de arenito (indicadas por seta na foto “a”), também com drapes de folhelhos e gretas, onduladas conforme o topo do calcário e gradualmente horizontalizados no sentido ascendente. Escala em “a” = 15 cm; em “b” com maiores divisões em centímetros.

Ligeiramente acima das camadas onduladas seguem-se principalmente siltitos, nos quais ocorrem moldes de bivalves, caules de licófitas, glossopterídeas, pecopterídeas e oogônios de carófitas (Rohn, 1994).

O *grainstone* oolítico a bivalves de PRU 1, conforme já está implícito na nomenclatura adotada, é uma rocha carbonática esparítica com abundantes oóides. Estes são principalmente esféricos, envelopando valvas de ostracodes, grãos de quartzo e mais raramente fragmentos de moluscos bivalves (Figs. 3.6 a 3.9). Sua micro-estrutura interna é radial formada por cristais de calcita relativamente grossos e, secundariamente, com discreta micro-estrutura concêntrica (tangencial). Existem alguns oóides com envelopamento lobado. O tamanho dos oóides varia de 0,5 a 1 mm. Muitos oóides estão silicificados, adquirindo coloração alaranjada (Fig. 3.7). Alguns pelóides ocorrem misturados com os oóides, similares quanto ao tamanho, com forma esférica ou alongada.

Os bivalves, em lâmina petrográfica, geralmente são compostos por calcita espática, sem estruturas internas, e têm uma finíssima borda micrítica de coloração mais escura (e.g., diversos exemplares nas Figs. 3.6 a 3.8). O tipo de fossilização equivale ao que normalmente se denomina “recristalização”. Porém, conforme já comentado no ítem 2.3.4 da presente dissertação, o caráter cristalino das conchas provavelmente resultou da cristalização de calcita no espaço resultante da dissolução das conchas, exceto nos bordos micritizados. Bioclastos adicionais no calcário, embora raros, são escamas e outros pequenos restos de peixes, cuja composição fosfática foi mantida.

É nítida a subdivisão da camada calcária em duas porções sucessivas de sedimentitos grossos, gradando para finos, ou seja, com granodecrescência ascendente (fig. 3.5). Logo acima da base do primeiro intervalo, há valvas de bivalves com cerca de 2 cm de comprimento, em sedimento de granulação grossa (areia). Gradualmente aparecem fragmentos menores em faixas irregulares aproximadamente horizontais silicificadas, de cor cinza (veja melhor na fig. 3.10). Os oóides gradam para granulação fina a muito fina, com conchas dispersas e caoticamente distribuídas. O intervalo 2 da camada (fig. 3.5) apresenta uma sucessão semelhante à primeira, ou seja, valvas maiores e espessas distribuídas em sedimento de granulação areia grossa, com faixas horizontais silicificadas, gradando para granulação mais fina, com menor quantidade de conchas, todas de tamanho pequeno (aproximadamente variando de 2 mm a 1 cm de comprimento, em corte).

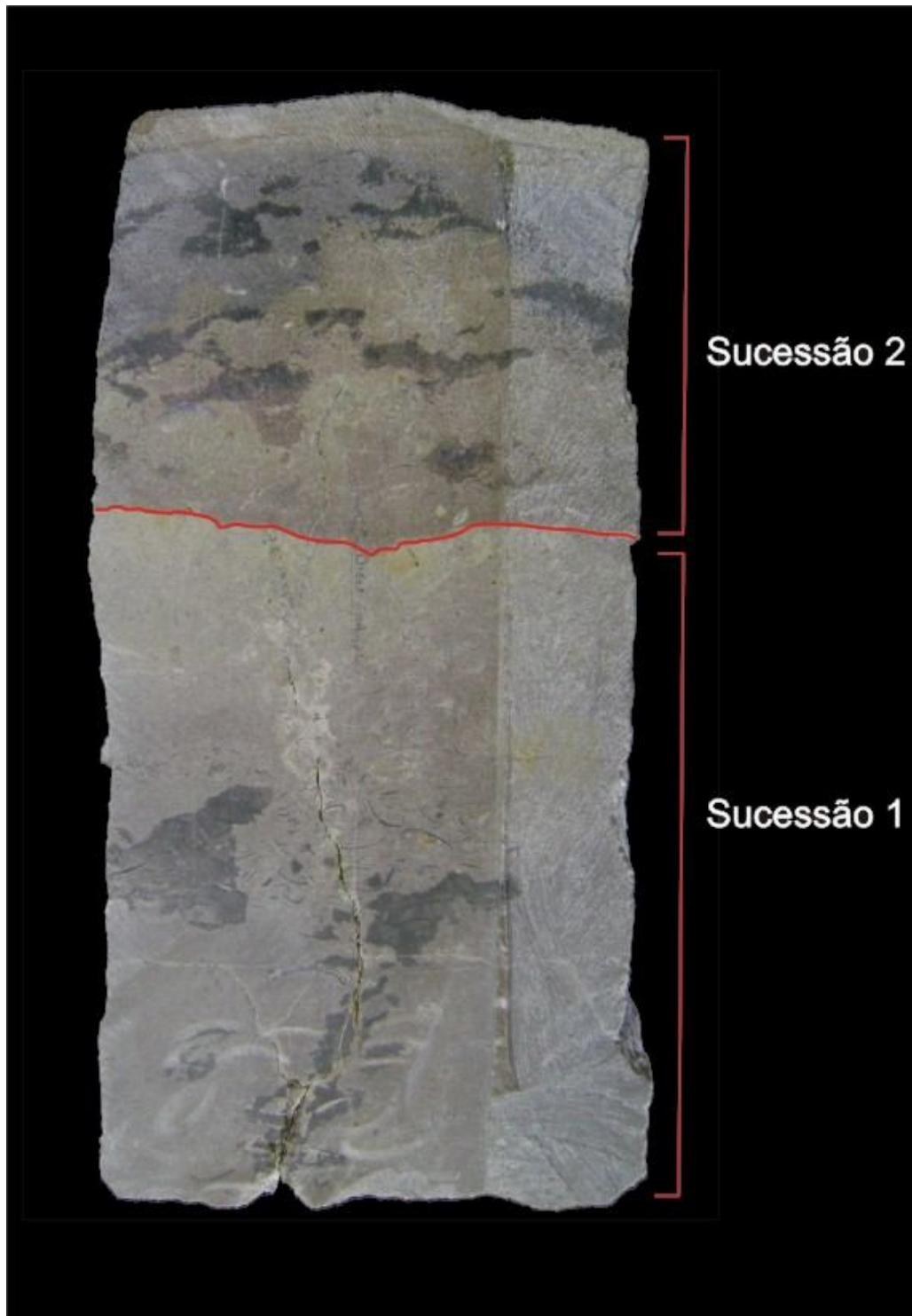


Figura 3.5 – Porção média-inferior da camada de PRU 1 (fig. 3.2) com destaque para dois intervalos sucessivos com bioclastos mais grossos, gradando para uma camada com finos (granodecrescência ascendente).

Há clastos de siltito com até 5 cm de comprimento distribuídos entre os bioclastos. As valvas estão caoticamente distribuídas em toda a camada e o empacotamento varia de disperso a denso, dependendo da região observada (veja desenhos na figura 3.10). Os restos de peixes ocorrem muito dispersos, aparentemente sem organização definida.

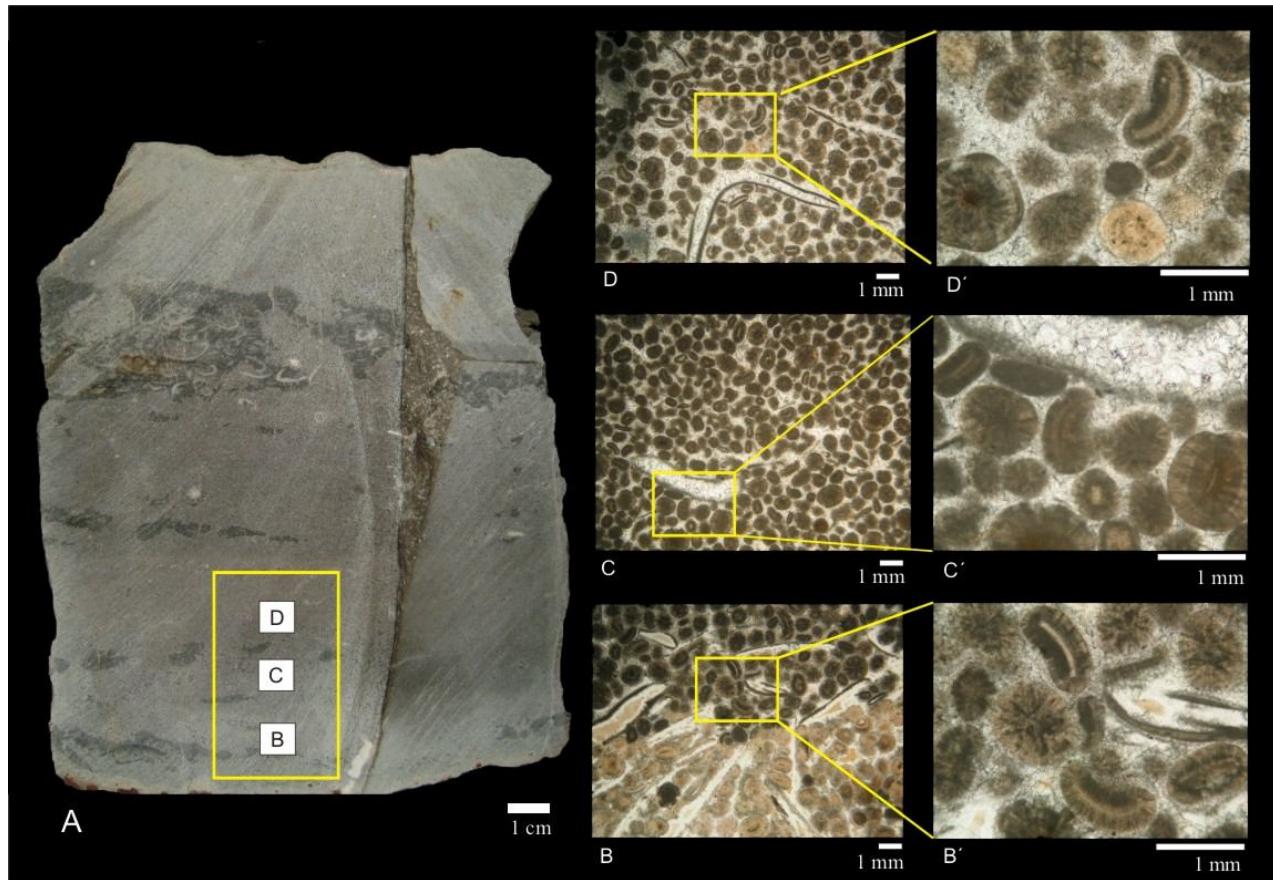


Figura 3.6 – *Grainstone* a oóides e bivalves (PRU 1). Porção média-inferior da camada carbonática (fig. 3.2); foto A – corte vertical da amostra com indicação das porções usadas nas lâminas petrográficas; fotos B, C e D - porções com oóides diferentemente preservados; fotos B', C' e D' - detalhes das fotos B, C e D; foto D' mostrando um oóide em estágio inicial de envelopamento (superior direito) e outro de formato circular, estágio avançado (esquerda). Nicós paralelos para todas as fotos.

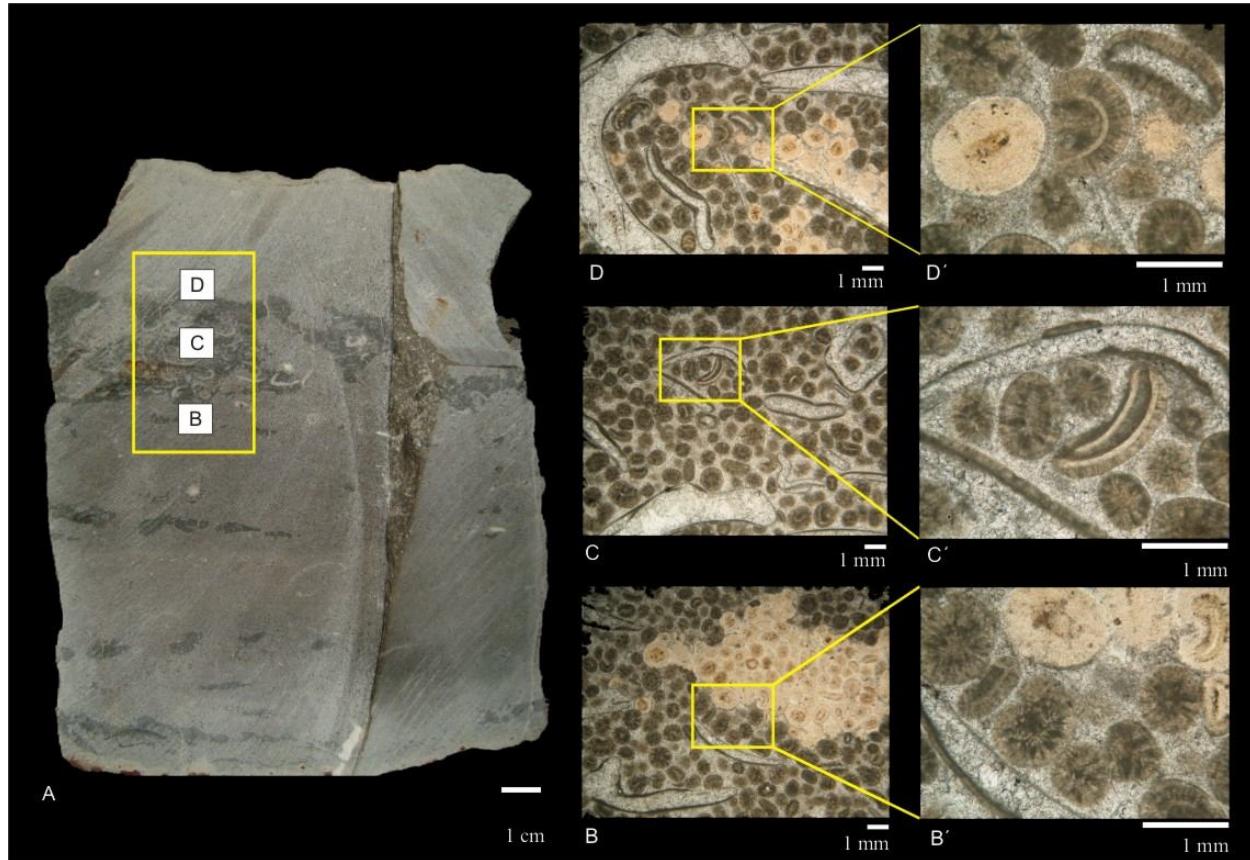


Figura 3.7 – *Grainstone* a oóides e bivalves (PRU 1). Porção porção média-inferior da camada carbonática (fig. 3.2); foto A – corte vertical da amostra com indicação das porções usadas nas lâminas petrográficas; fotos B e D - mistura de oóides silicificados (cor alaranjada) e oóides parcialmente micritizados (escuros); foto B', mostrando oóide silicificado (esquerda) ao lado de outro com núcleo de ostracode (direita). Nicós paralelos para todas as fotos.

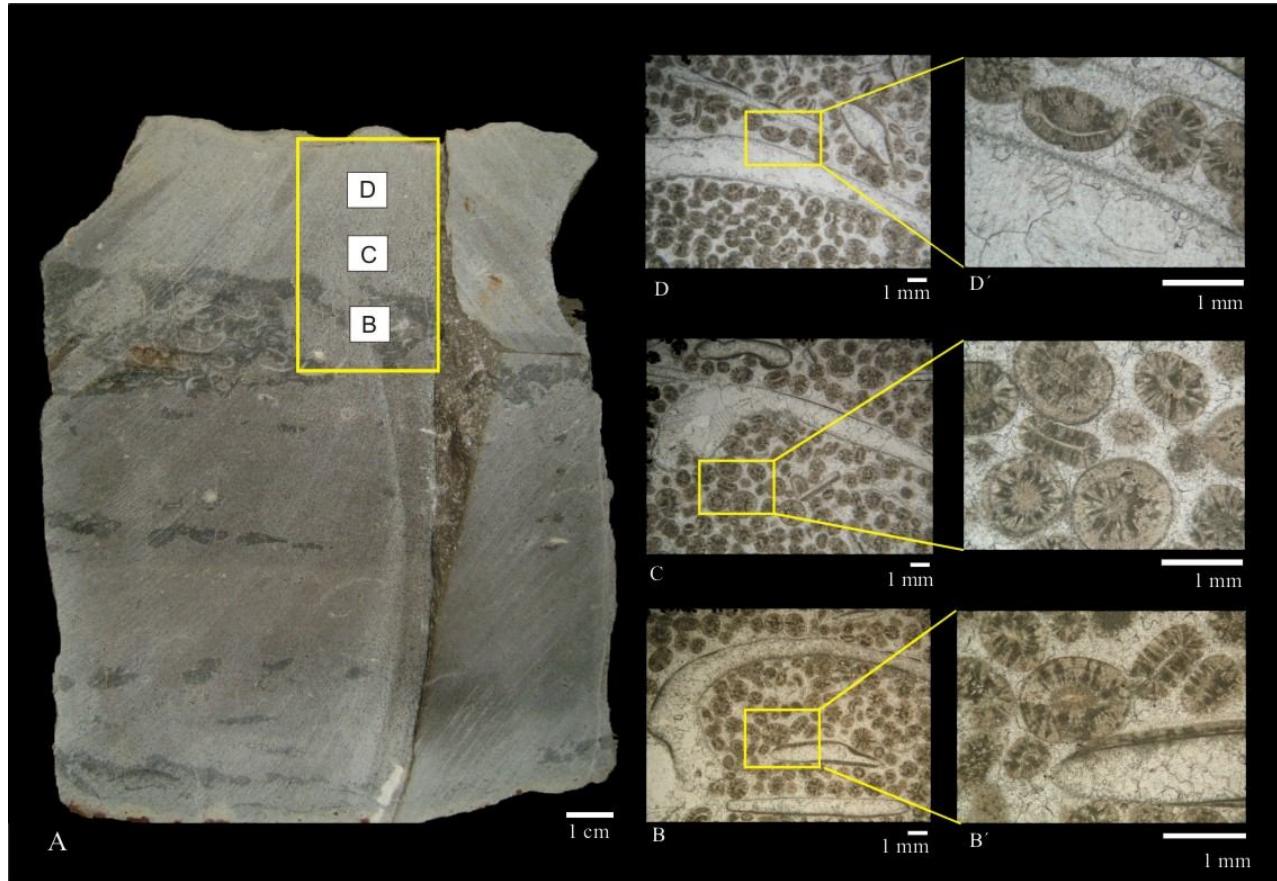


Figura 3.8 – *Grainstone* a oóides e bivalves (PRU 1). Porção média-inferior da camada carbonática (fig. 3.2), foto A – corte vertical da amostra com indicação das porções usadas nas lâminas petrográficas; fotos B, C e D - fragmentos variados de bivalves distribuídos entre os oóides; fotos B', C' e D' - detalhes das fotos B, C e D mostrando micro-estrutura radial dos oóides (C'), com variações na forma e no tamanho; fragmento de concha micritizado nas bordas (B'), ligeiramente envelopado por material carbonático similar ao dos oóides e parte interna com calcita espáctica. Nicóis paralelos para todas as fotos.

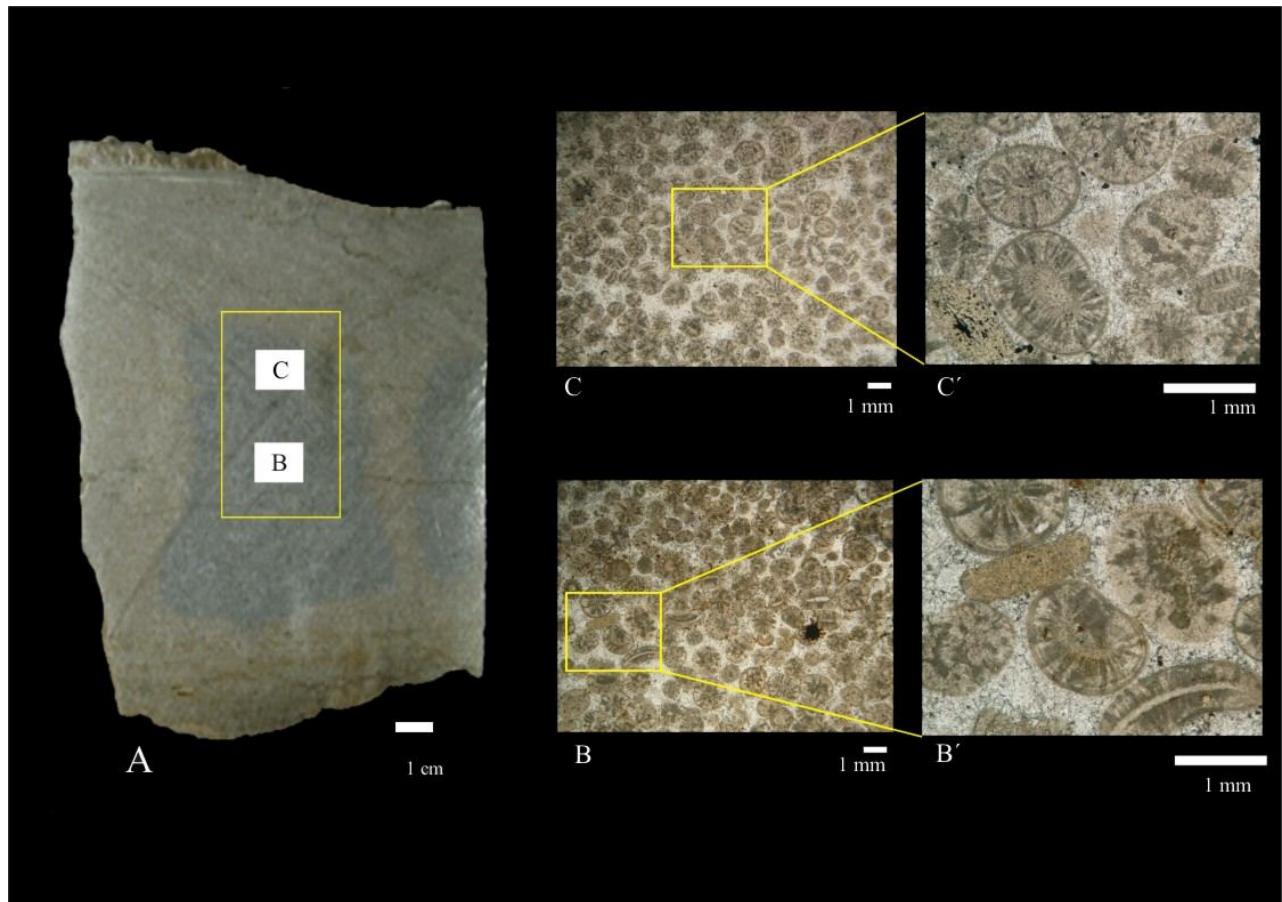


Figura 3.9 – *Grainstone* a oóides e bivalves (PRU 1). Porção superior da camada carbonática (fig. 3.2), foto A: corte vertical da amostra com indicação das porções usadas nas lâminas petrográficas; fotos B e C- Abundantes oóides no cimento esparítico, a maioria com formato circular e microestrutura radial; Fotos B' e C'- Detalhe das fotos B e C, mostrando oóides envelopando ostracode (B'), oóides circulares e pelóide (C'). Nicóis paralelos para todas as fotos.

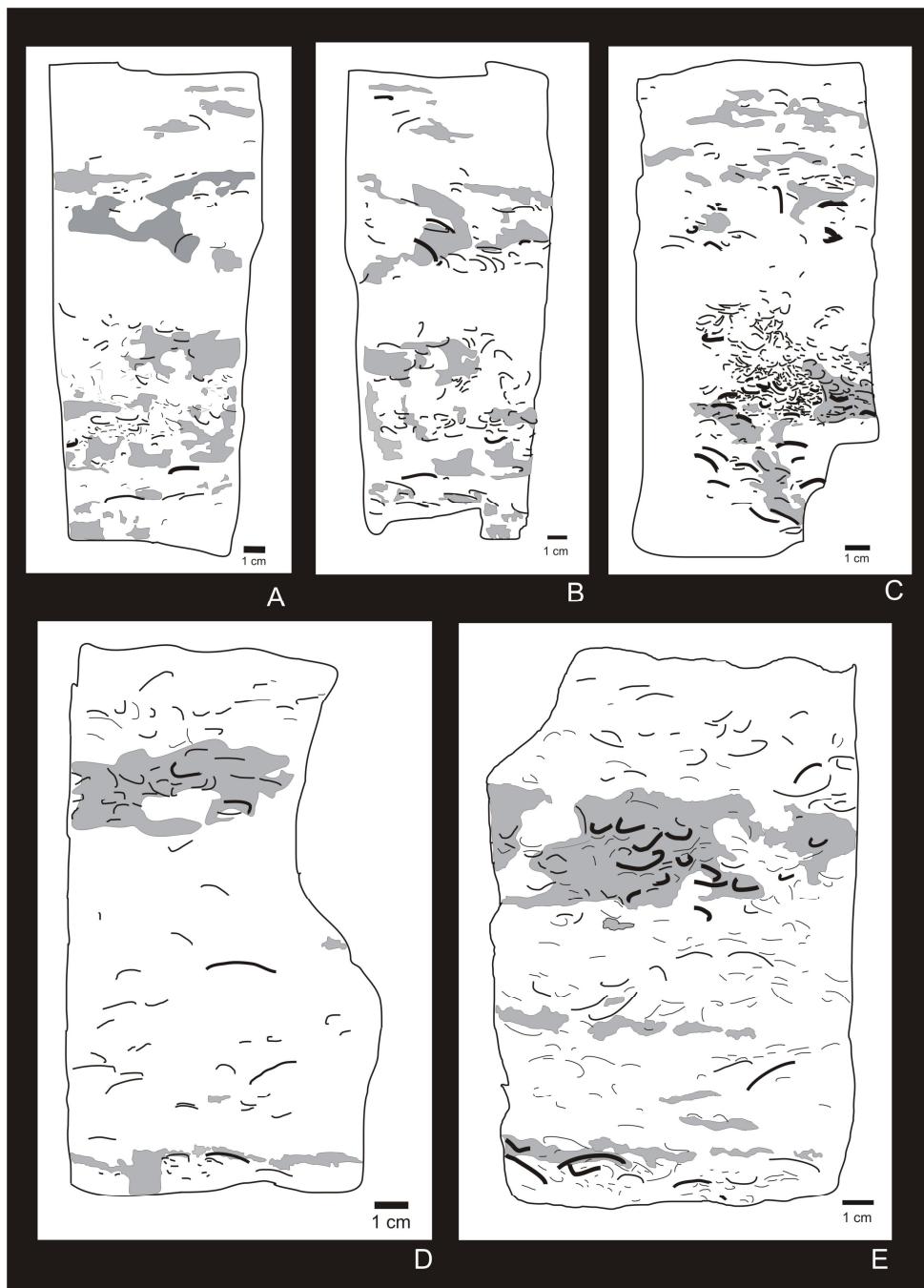


Figura 3.10 - Desenhos de seções verticais da porção média-inferior de PRU 1 (fig. 3.2). As seções A, B e C são de um bloco amostrado e as seções D e E são de outro bloco menor do mesmo intervalo carbonático. As porções representadas em cinza são regiões silicificadas. Na porção basal das seções A e E ocorrem as maiores valvas do intervalo, as quais estão recristalizadas. Todas as seções, especialmente B e C, mostram uma evidente distribuição caótica das conchas. A seção D evidencia claramente dois intervalos com gradação vertical, ocorrendo maiores concentrações de conchas nas porções inferiores de cada intervalo, onde os oóides são mais grossos.

### 3.2. GRAINSTONE OOLÍTICO A BIVALVES E PELÓIDES DA PEDREIRA PRU 2 DE PRUDENTÓPOLIS

No afloramento Pru 2, a camada carbonática investigada (Fig. 3.11) situa-se próximo à base da pedreira (fig. 3.12), ocorrendo diversas outras camadas carbonáticas, nos 30 metros de exposição, com destaque para um banco estromatolítico, silicificado, a cerca de 20 metros da base da pedreira, na parte média/superior da Formação Teresina (Ng & Rohn, 2008). As camadas carbonáticas normalmente apresentam espessuras entre 8 e 30 cm, intercalando-se entre rochas siliciclásticas finas. Predominam rochas heterolíticas formadas por folhelhos escuros e arenitos muito finos com acamamento *wavy/flaser/lenticular*. Ocorrem também camadas relativamente espessas de folhelhos (~1 m), às vezes, com gretas de contração (num intervalo da parte inferior da pedreira), siltitos e delgados arenitos muito finos com ondulações, lamações cruzadas por ondas ou estratificações cruzadas *hummocky*.

A camada carbonática estudada apresenta cerca de 10 cm de espessura, contato basal irregular, evidenciando superfície de erosão (Fig. 3.11) e contato superior levemente ondulado (Fig. 3.13).



Figura 3.11 - Camada carbonática conchífera da pedreira PRU 2 de Prudentópolis, havendo contato inferior com superfície de erosão (seta).

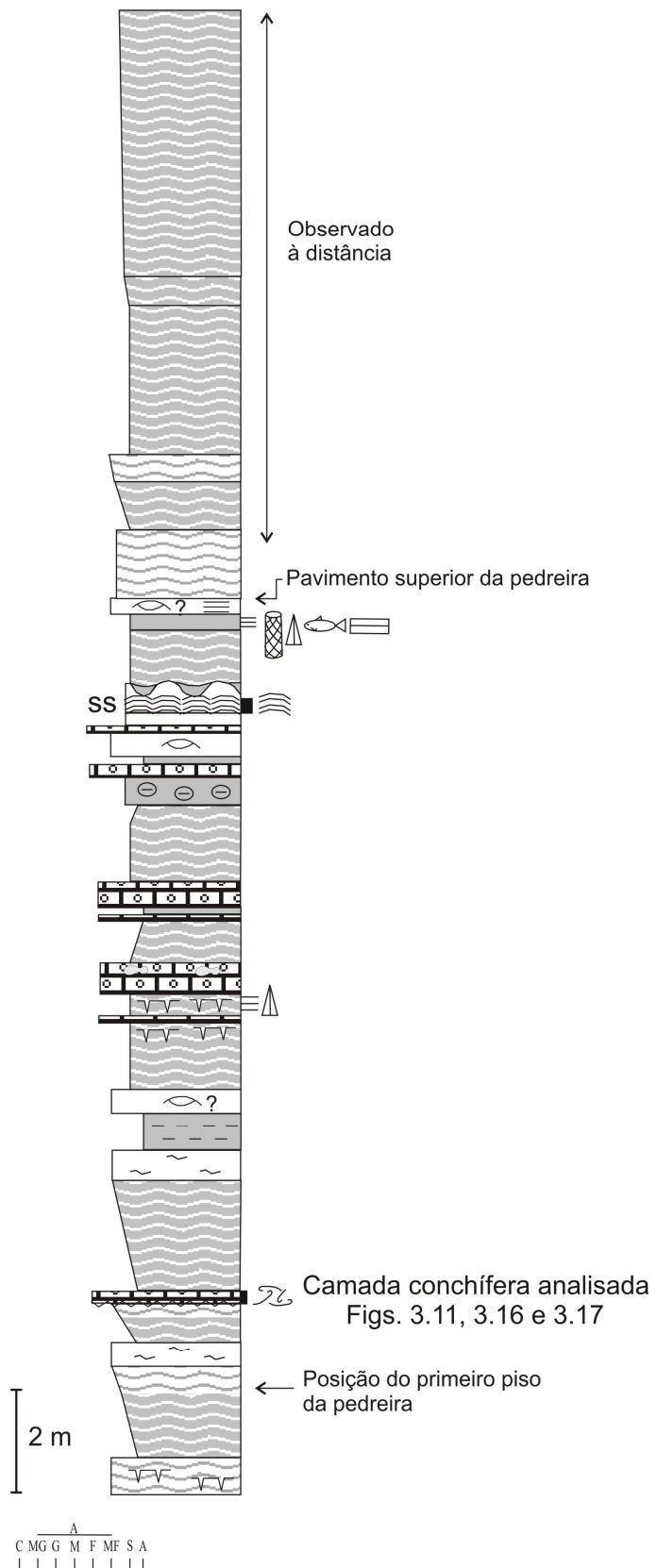


Figura 3.12 – Perfil colunar de Pru 2 (vide legenda na folha ao lado).



Figura 3.13 - Contato superior ondulado (seta) da camada carbonática conchífera da pedreira nova de Prudentópolis e recobrimento por drape de folhelho. Escala= 1 cm.

De uma amostra de PRU 2, foram extraídos bivalves identificados como *Pinzonella neotropica* (Reed) e *Jacquesia elongata* (Holdhaus) conforme comparações com exemplares em Runnegar & Newell (1971) (Figs. 3.14 e 3.15).



Figura 3.14 – 1: *Pinzonella neotropica*, valva esquerda, silicificada; 2: *Jacquesia elongata*, valva esquerda, silicificada. Afloramento Prudentópolis Pru 2. Escala gráfica = 1 cm.



Figura 3.15 - Vista superior da amostra de Pru 2, da qual foram extraídos os espécimes apresentados na figura 3.14. Há outros espécimes de *Pinzonella neotropica* (centro inferior) que não puderam ser retirados da amostra. Escala = 1 cm.

Os carbonatos de PRU 2 foram classificados como *grainstone* oolítico a bivalves e pelóides, semelhante à camada de PRU 1. Nesse caso, entretanto, trata-se de *grainstone* impuro, por apresentar lama misturada ao cimento esparítico (Fig. 3.17, cimento de coloração escura). Os bioclastos estão caoticamente distribuídos e muito fragmentados (Fig. 3.16, foto C e Fig. 3.18); são raras as valvas inteiras (Fig. 3.16, foto B) e não foram encontradas conchas articuladas. Há intraclastos de siltito e argilito que podem atingir até 10 cm de comprimento e 3 cm de largura (Fig. 3.16, foto A). O empacotamento dos bioclastos é predominantemente denso (coquina) (Fig. 3.18).

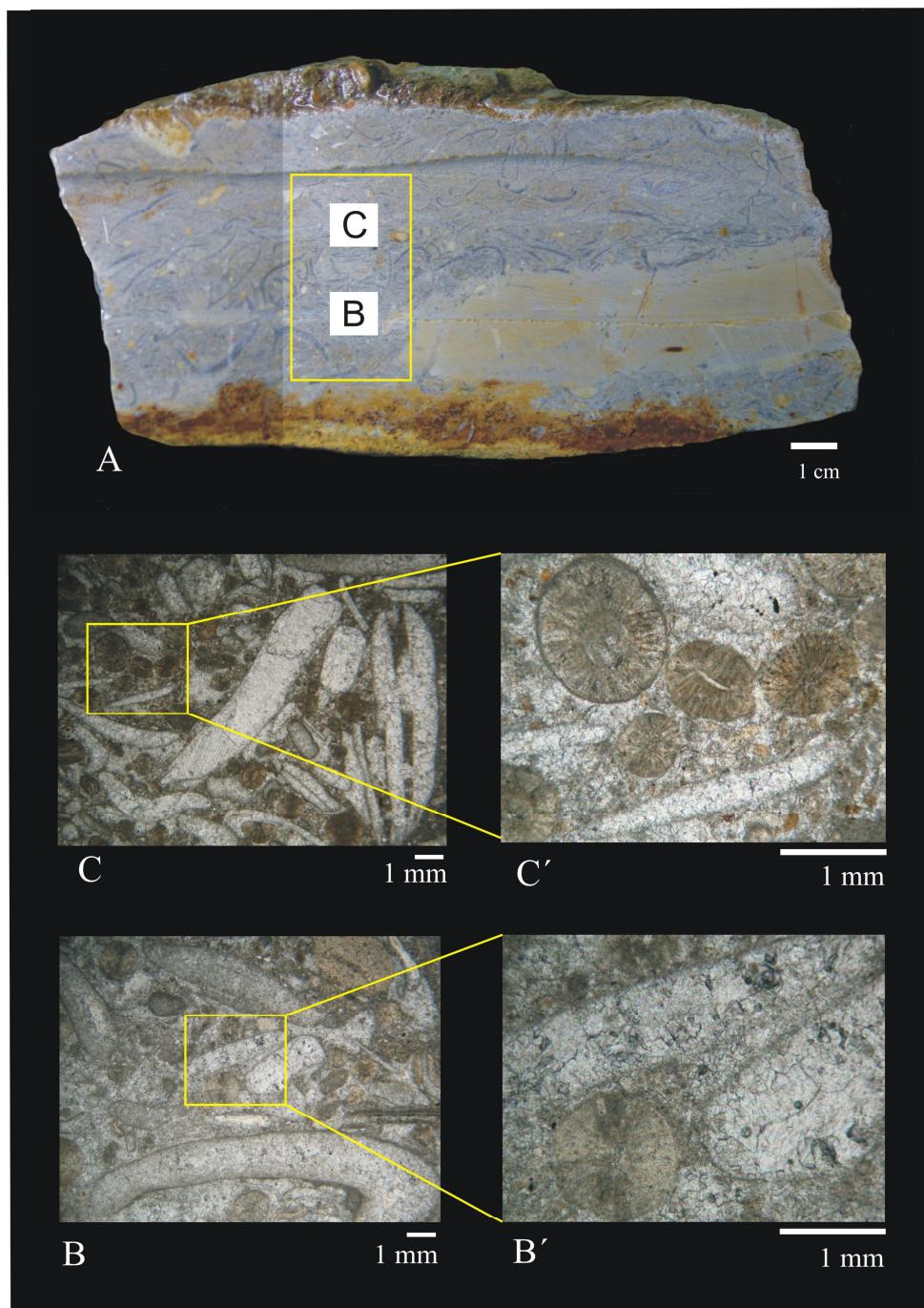


Figura 3.16 – *Grainstone* a oóides, bivalves e pelóides (Pru 2). Foto A – Corte vertical da camada (fig. 3.4) com indicação das porções usadas nas lâminas petrográficas; foto B e C - fragmentos de bivalves, com variação de tamanhos misturados aos oóides e pelóides; foto B' - detalhe de oóide (esquerda inferior) e dois fragmentos de bivalves; foto C' - detalhes de oóides com diversidade de tamanhos e formas. Fotos das lâminas petrográficas obtidas com nicóis paralelos.

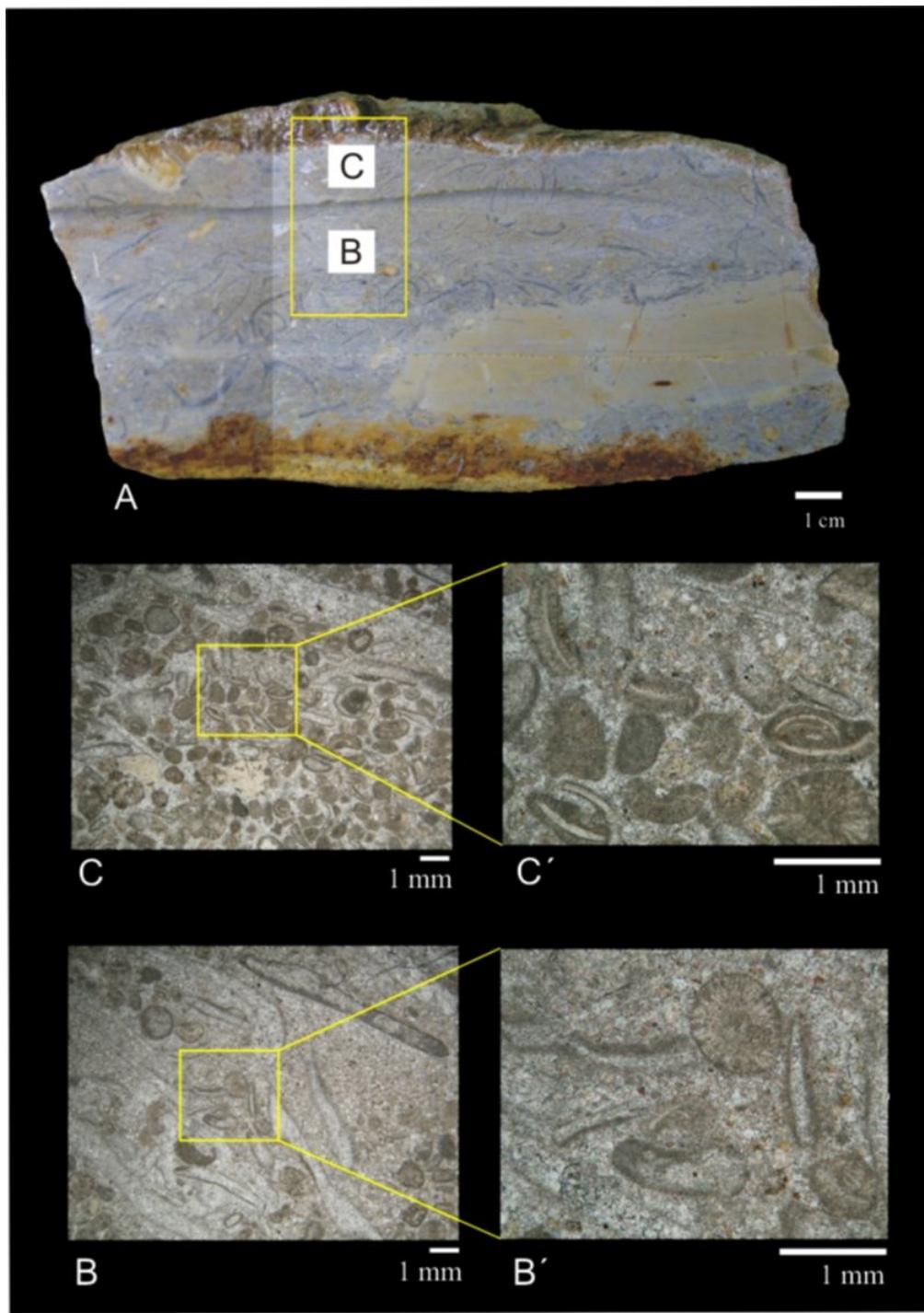


Figura 3.17 – *Grainstone* a oóides, bivalves e pelóides (Pru 2). Foto A – Corte vertical da camada (fig. 3.4) com indicação das porções usadas nas lâminas petrográficas; foto B - fragmentos de bivalves misturados a pelóides e oóides; foto B' - detalhe da foto B, mostrando oóide (direita superior) e fragmentos de bivalves; foto C- Abundantes pelóides e ostracodes no cimento impuro; foto C'- detalhe da foto C, mostrando ostracodes, alguns sendo envelopados por oóides (esquerda, superior). Fotos das lâminas petrográficas obtidas com nicóis paralelos.

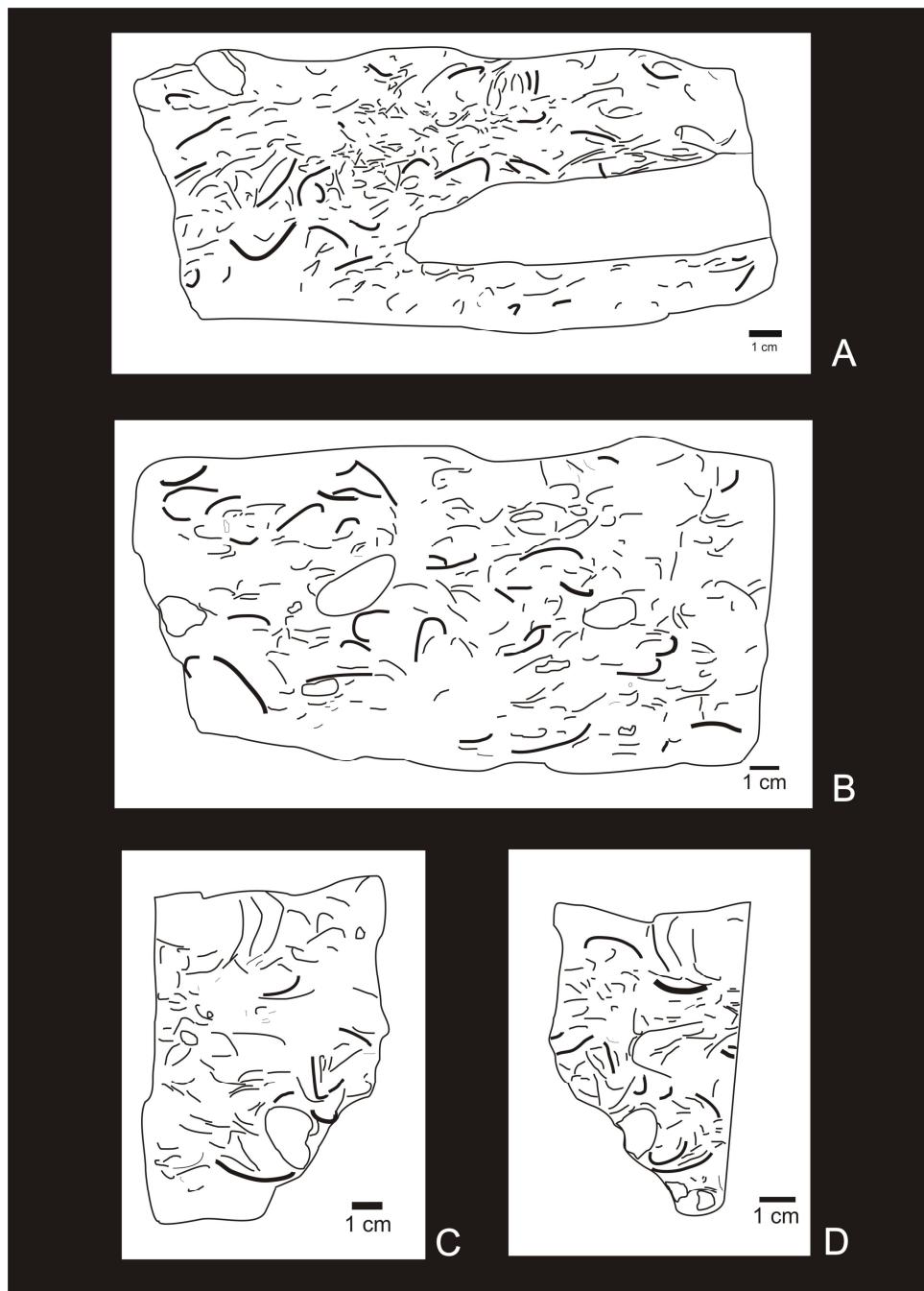


Figura 3.18 – Desenhos de quatro seções verticais da camada carbonática conchífera da pedreira PRU 2 de Prudentópolis, sendo A e B paralelas entre si e C e D perpendiculares às primeiras. As estruturas com formato variando de oval a circular são representações de clastos de siltito em corte. A seção A mostra um intraclasto de aproximadamente 10 cm de comprimento. Há valvas recristalizadas, representadas pelas conchas de maior espessura em todos os desenhos e conchas mais delgadas com a composição carbonática mantida ou silicificadas. As porções superiores das seções C e D mostram valvas dipostas perpendicularmente ao plano de acamamento, feição tipicamente gerada por bioturbação.

### 3.3. GRAINSTONE / PACKSTONE A PELÓIDES E BIVALVES COM INTRACLASTOS, OÓIDES E ONCÓIDES DE RIO PRETO

Na pedreira de Rio Preto, a camada carbonática analisada está intercalada entre rochas siliciclásticas predominantemente pelíticas da Formação Teresina (Fig. 3.19 e 3.22). Há mais duas camadas carbonáticas na exposição, aparentemente sem conchas. São especialmente notórias grandes gretas de contração no piso da pedreira e vegetais fósseis nos siltitos sobrepostos às gretas. Entre os vegetais, destacam-se delicadas e abundantes briófitas, até o momento encontradas somente neste afloramento da formação, e oogônios de algas carófitas (Rösler, 1982; Rohn, 1994; Cortez et al. 2008).



Figura 3.19 - Rochas predominantemente pelíticas na pedreira de Rio Preto e três camadas carbonáticas (setas), das quais a central foi estudada em detalhe.

A camada estudada é tabular ao longo da exposição da pedreira, apresentando espessura em torno de 45 cm e contato inferior e superior abrupto, ligeiramente irregular, com rochas siliciclásticas constituídas por folhelhos pretos e arenitos muito finos interlaminados ondulados (Figs. 3.20, 3.21). As últimas lâminas arenosas da rocha heterolítica sotoposta são mais espessas e já parcialmente carbonáticas (Fig. 3.20). O topo da camada carbonática, em algumas porções, tem aparência ondulada (Fig. 3.21).



Figura 3.20 – Contato entre a camada carbonática de Rio Preto (seta) e as rochas siliciclásticas subjacentes (arenitos e folhelhos interlaminados com acamamento *wavy*). Escala (régua) = 15 cm.



Figura 3.21 – Superfície de erosão (seta) e possíveis ondulações entre a camada carbonática e as rochas silicicísticas sobrejacentes, na pedreira de Rio Preto. Na parte superior da camada carbonática há pequenas concreções. Régua com divisões maiores em centímetros.

A grosso modo, a camada carbonática apresenta quatro subdivisões conforme variações verticais na concentração de conchas (Figs. 3.22 e 3.23). Contudo, as subdivisões não são nítidas, pois ocorrem passagens relativamente graduais e irregulares entre as porções densamente empacotadas e as frouxamente empacotadas. Localmente, na parte superior da camada, há orientação oblíqua dos intraclastos e das maiores conchas, sugerindo a presença de estratificação cruzada, porém não foi possível reconhecer claros *sets* cruzados (Fig. 3.24).

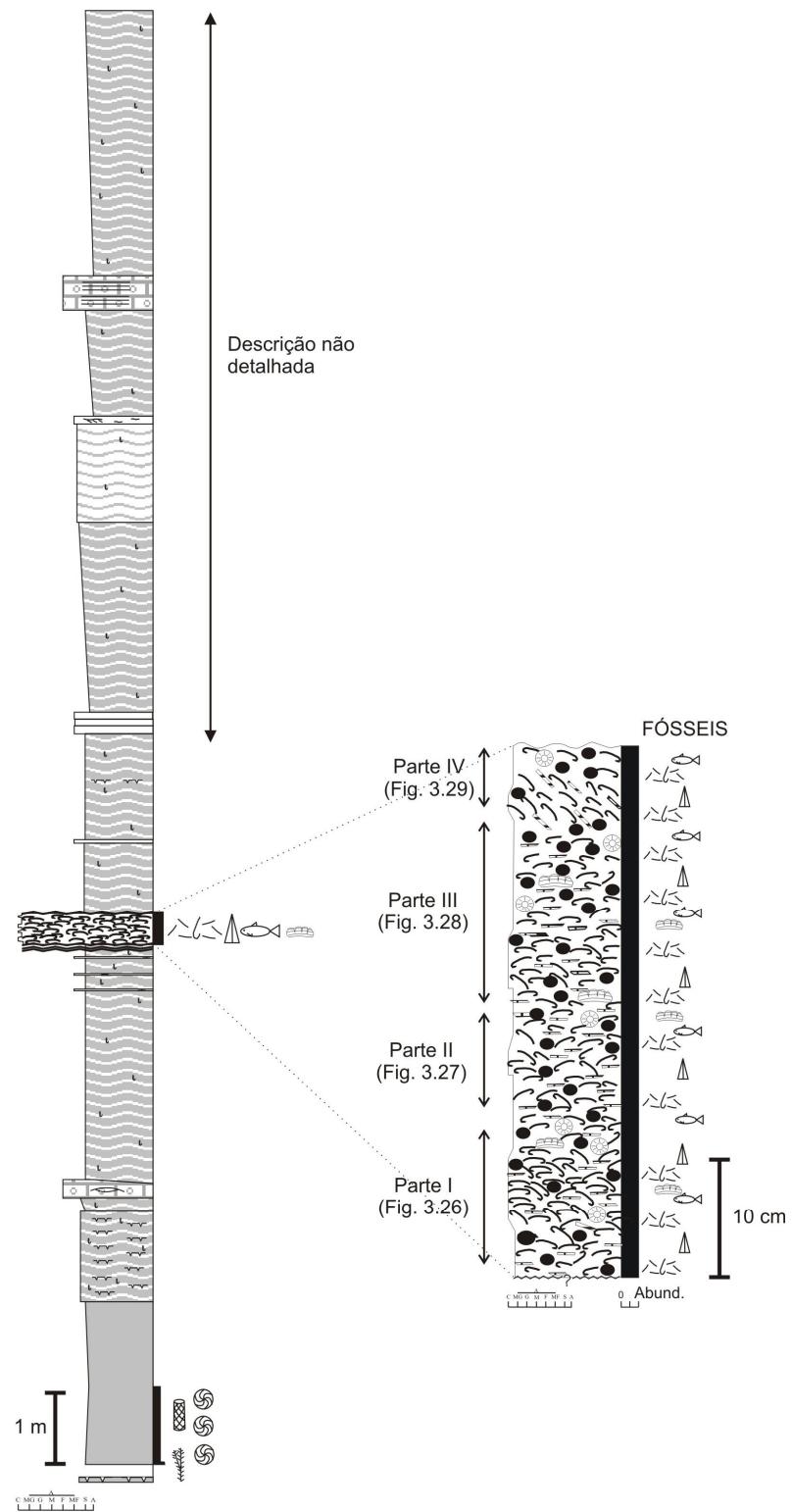


Figura 3.22 – Perfil colunar do afloramento de Rio Preto (vide legenda na folha ao lado).



Figura 3.23 – Camada carbonática estudada, alternando-se regiões com empacotamento denso de bioclastos e intraclastos (setas), e regiões com empacotamento disperso.



Figura 3.24 – Aparente estratificação cruzada na parte superior da camada carbonática em Rio Preto, sugerida pela orientação oblíqua dos intraclastos e bioclastos. A seta mostra o contato do carbonato com pelitos sobrejacentes. As partes irregulares na parte inferior da foto correspondem a porções silicificadas. Réguia com divisões maiores em centímetros.

Nesses calcários foi possível identificar alguns bivalves, ao nível específico, de acordo com a classificação em Runnegar & Newell (1971), incluindo: *Pinzonella neotropica*, *Jacquesia elongata*, *Pyramus anceps* e *Ferrazia cardinalis* (Fig. 3.25). Em associação aos bivalves, ocorrem folhas de licófitas permineralizadas por sílica e raras escamas e dentes de peixes, cuja composição fosfática original foi mantida.



Figura 3.25 - Bivalves da pedreira Rio Preto. 1: *Pyramus anceps*, valva direita; 2: *Pinzonella neotropica*, valva direita; 3: *Jacquesia elongata*, valva esquerda; 4: *Ferrazia cardinalis*, valva esquerda. Todas as conchas estão silicificadas. Escala gráfica = 1 cm.

Na camada carbonática de Rio Preto, diferentemente das de Prudentópolis, junto aos bioclastos há poucos oóides, quantidade muito grande de pelóides (Fig 3.26, foto B), grãos de quartzo da granulação areia fina/muito fina e intraclastos, além de porções com matriz micrítica e não espática. Portanto, a rocha foi classificada como *grainstone/packstone* a pelóides e bivalves com intraclastos, oóides e oncóides.

As valvas de bivalves, em geral, apresentam alto grau de fragmentação. Os fragmentos de bivalves, ostracodes e grãos de quartzo encontram-se parcial ou totalmente envelopados por uma massa micrítica (fig. 3.29, foto C), similar àquela dos pelóides, aproximadamente com as

mesmas dimensões ( $5\mu\text{m}$  de diâmetro). Não apresentam as feições típicas radiais e concêntricas dos oóides, nem as laminações dos oncóides. Contudo, amostras de oncóides (no caso, lâminas microbiais desenvolvidas sobre conchas de bivalves) foram encontradas anteriormente na mesma camada (Rohn, 1994). Há clastos silticos com até 5 cm de comprimento e 3 cm de largura.

As descrições abaixo e as respectivas ilustrações baseiam-se não em divisões naturais da camada, mas na sucessão de amostras que puderam ser coletadas (da base para o topo).

Na porção basal da camada os bioclastos apresentam tamanhos milimétricos com o empacotamento variando de disperso a frouxo (Fig. 3.26). Um pouco acima, os fragmentos bioclásticos são maiores, atingindo 2 cm de comprimento, com empacotamento variando de frouxo a denso, retornando, em seguida (~4 cm), a uma situação de empacotamento frouxo similar ao primeiro intervalo. Na parte média-inferior (Fig. 3.27) segue-se uma alternância de partes densamente empacotadas (~4 cm) com partes frouxamente empacotadas (~6 cm). Nas porções mais densamente empacotadas, a disposição das conchas tende a ser mais caótica. A porção média-superior (Fig. 3.28) continua com a mesma tendência das partes inferiores, apenas aumentando as espessuras das partes com empacotamento denso (~5 cm) e empacotamento frouxo (~9 cm). O comprimento dos fragmentos varia de 1 a 8 mm e, predominantemente, apresentam arestas arredondadas. Alguns estão com a composição carbonática mantida e outros silicificados. No último intervalo até o topo da camada carbonática, as conchas estão oblíquas de modo paralelo à estratificação cruzada (Fig. 3.24) ou apresentam distribuição caótica onde não há estratificação (Fig. 3.29). Conforme já mencionado, o contato com o depósito sobrejacente é irregular, correspondendo a uma superfície de erosão, localmente com aparência ondulada (fig. 3.20).

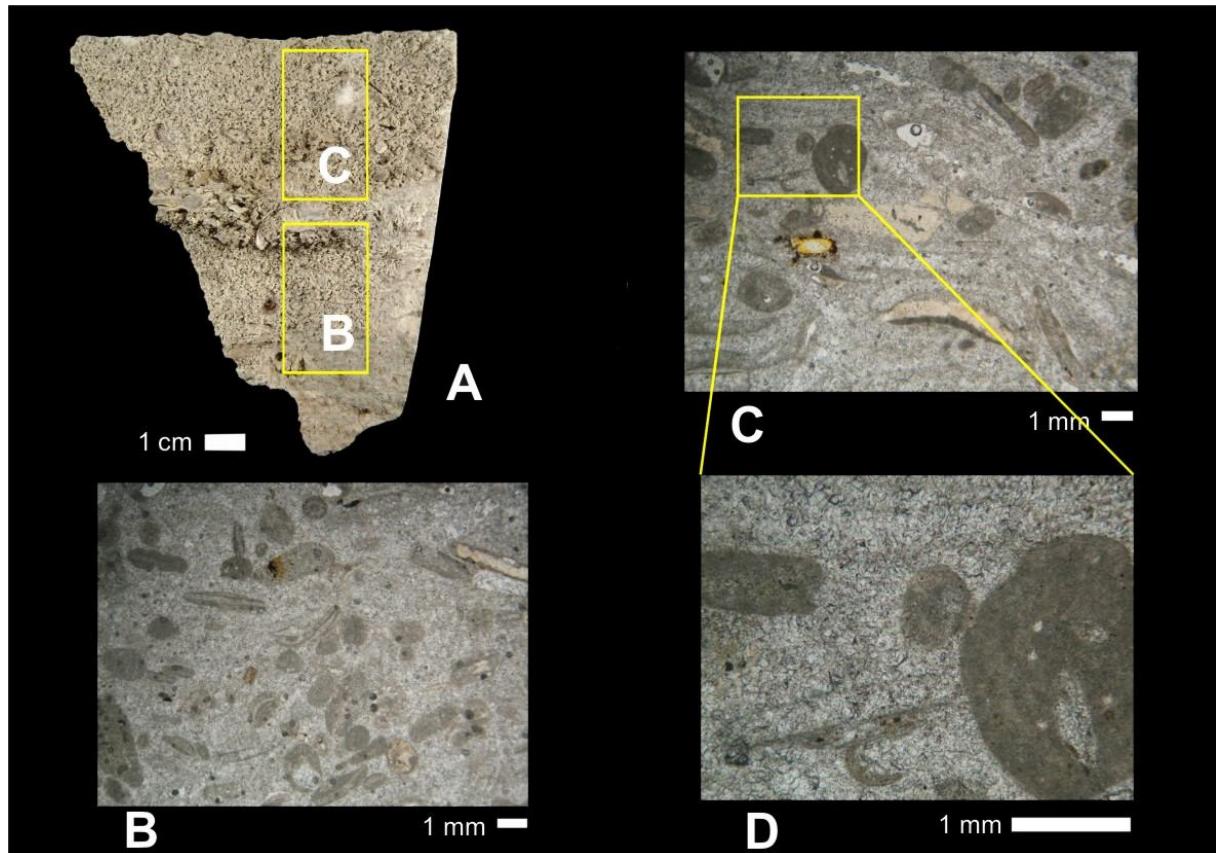


Figura 3.26 – *Grainstone* a pelóides e bivalves com intraclastos, oóides e oncóides (Rio Preto). Foto A- vista lateral da parte I (fig. 3.7) da camada; foto B- cimento com grãos peloidais, oóides e alguns fragmentos de conchas, com cerca de 2 mm; foto C- pelóides e frequentes fragmentos de conchas; foto D- detalhe da foto C, mostrando pelóides com diferentes tamanhos (direita) ao lado de um pequeno fragmento de concha. Todas as fotos das lâminas petrográficas obtidas com nicóis paralelos.

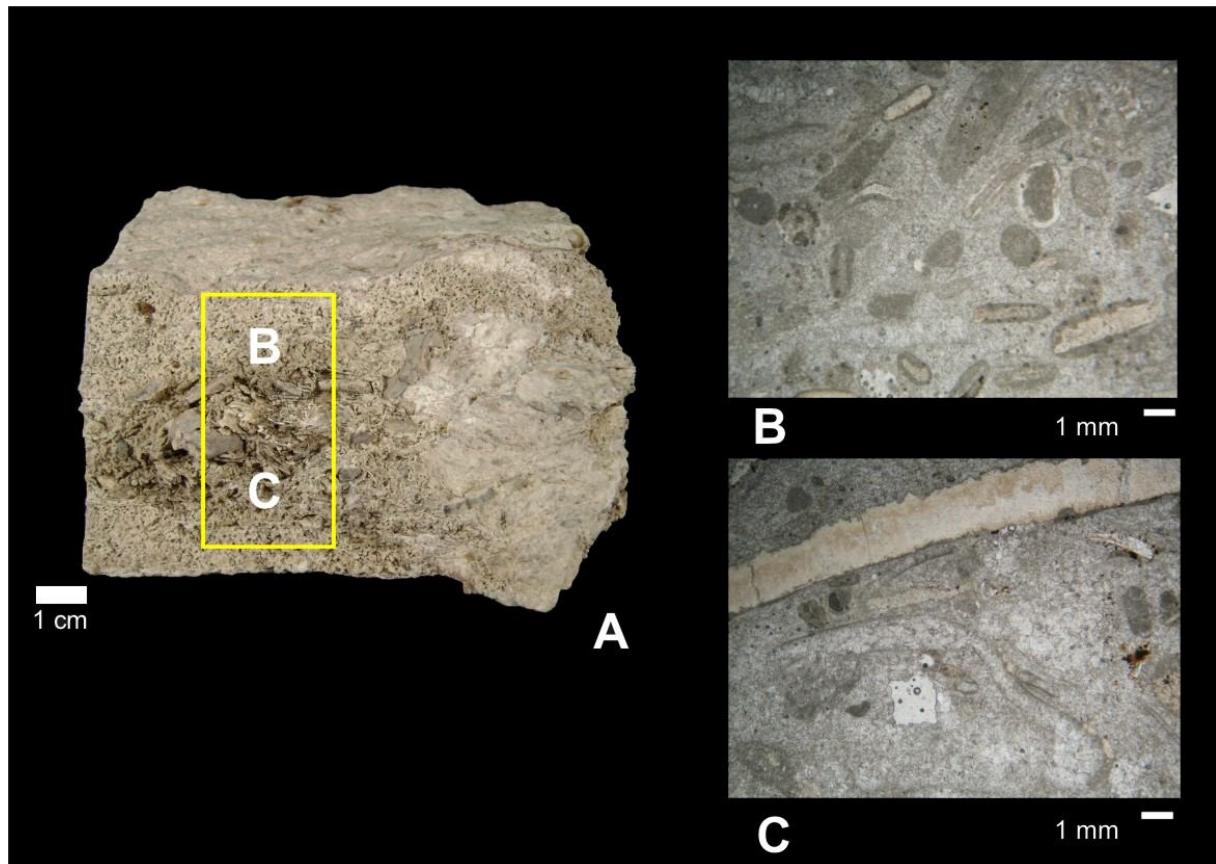


Figura 3.27 – *Grainstone* a pelóides e bivalves com intraclastos, oóides e oncóides (Rio Preto). Foto A- vista lateral da parte II da camada (fig. 3.7); foto B- cimento com grãos peloídais e raros fragmentos de concha de bivalve; foto C- fragmento de bivalve silicificado com mais de 1 cm de comprimento (superior), ao lado de outro fragmento (inferior) com bordos micritizados e interior calcítico (por dissolução e preenchimento diagenético). Todas as fotos das lâminas petrográficas obtidas com nicóis paralelos.

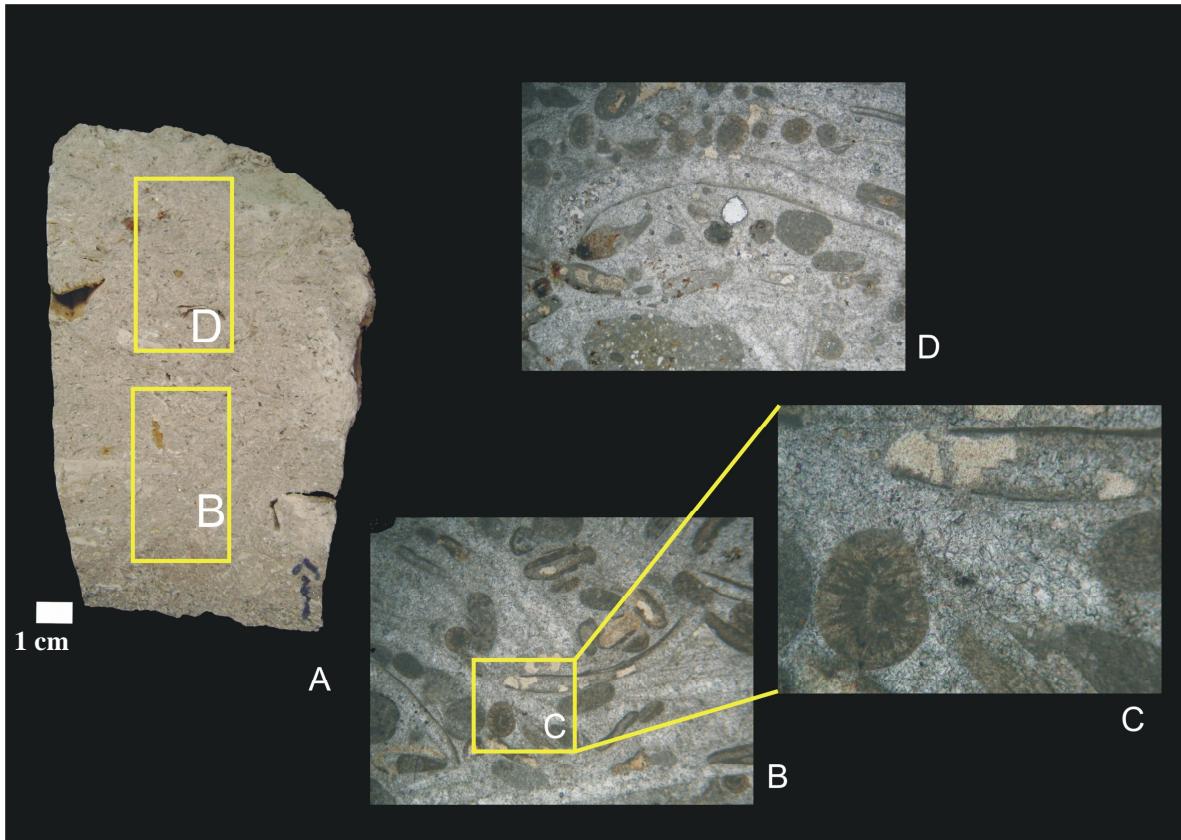


Figura 3.28 – *Grainstone* a pelóides e bivalves com intraclastos, oóides e oncóides (Rio Preto). Foto A- vista lateral da parte III da camada (fig. 3.7); foto B- cimento esparítico com grãos peloidais, fragmentos de conchas de bivalves silicificados (cor amarela) e outro com bordos micritizados (porção superior direita) e interior calcítico (por dissolução e preenchimento diagenético); foto C- detalhe da foto B, mostrando pelóides e um pequeno fragmento de concha parcialmente silicificada (amarelo).; foto D– cimento esparítico e um fragmento de bivalve com cerca de 1 cm de comprimento, misturado aos pelóides e oóides. Todas as fotos das lâminas petrográficas obtidas com nicóis paralelos.

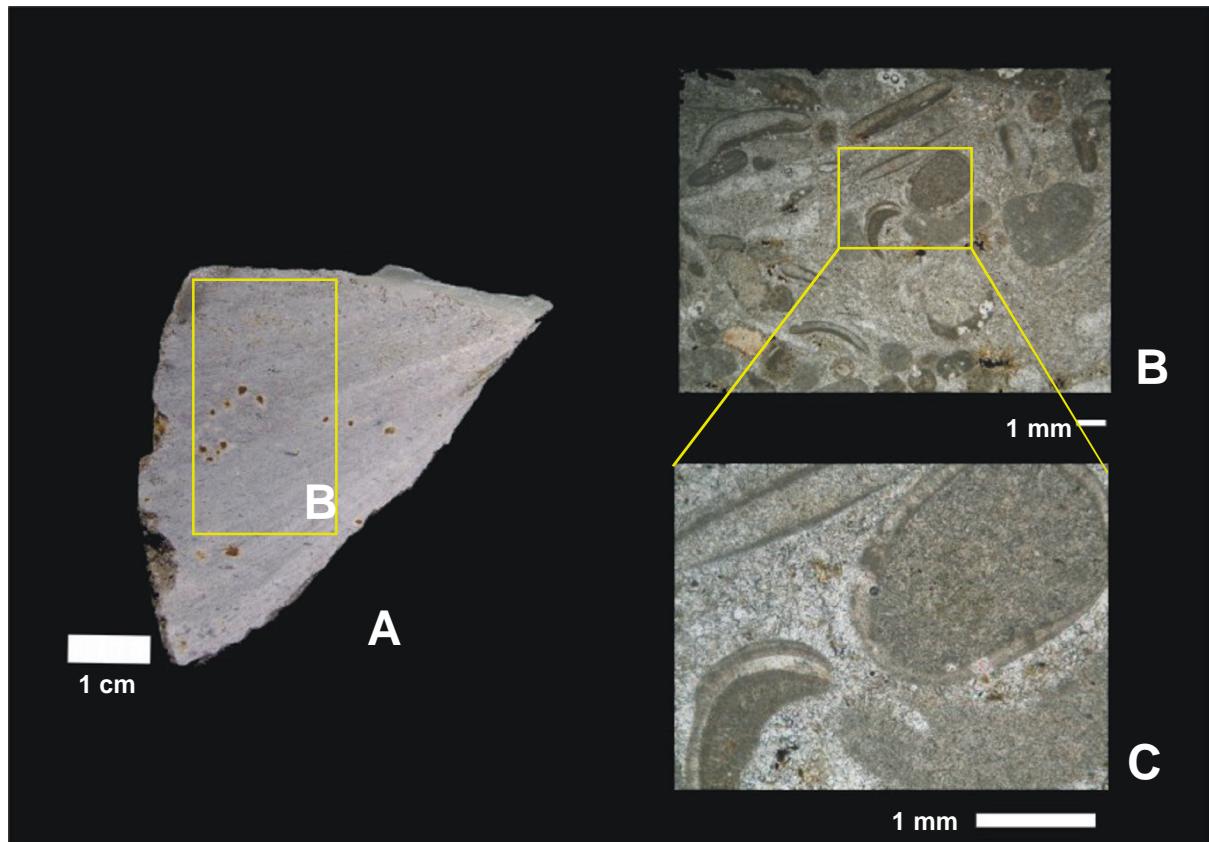


Figura 3.29 – *Grainstone* a pelóides e bivalves com intraclastos, oóides e oncóides (Rio Preto). Foto A – Parte IV da camada (porção superior, fig. 3.7) com indicação da lâmina petrográfica; foto B- cimento esparítico com grãos peloidais, ostracodes, um oóide (direita-superior) e prováveis fragmentos de concha de bivalve; Foto C- Detalhe de um pelóide (direita), ostracode envolvido por capa micrítica (esquerda) e um provável fragmento de bivalve (superior). Todas as fotos das lâminas petrográficas obtidas com nicóis paralelos.

### 3.4. CAMADAS CARBONÁTICAS DE RIBEIRÃO CLARO

Na região de Ribeirão Claro-Carlópolis, no Estado do Paraná, próximo ao limite com o Estado de São Paulo, as camadas carbonáticas estudadas fazem parte de uma exposição com aproximadamente 107 metros de espessura de rochas da Formação Rio do Rastro, Membro Serrinha, as quais são sobrepostas, discordantemente, pela Formação Pirambóia (Meghioratti, 2006). Ao longo da sucessão examinada predominam arenitos tabulares muito finos cimentados por calcita, com espessuras entre 0,5 e 4 metros, caracterizando-se por laminationes plano-paralelas a onduladas, às vezes com interlaminações pelíticas, formando acamamento *flaser* ou *wavy* (Meghioratti, 2006). Em proporção ligeiramente menor ocorrem siltitos cinza a esverdeados, igualmente com espessuras entre 0,5 e 4 metros (Meghioratti, 2006).

Na metade inferior da sucessão de Ribeirão Claro destacam-se seis corpos carbonáticos micríticos com espessura de 0,1 a 0,6 metros. Para o presente estudo, foram selecionados dois, tendo em vista suas características tafonômicas peculiares (Fig. 3.30). O primeiro, contido no intervalo aqui informalmente designado como “Afloramento 1”, corresponde à visada M03 do perfil “Mirante” de Meghioratti (2006). O segundo corpo carbonático estudado pertence ao chamado “Afloramento 2” (Fig. 3.30) e corresponde à visada M17 daquele autor, estando cerca de 24 metros acima do primeiro.

A posição litoestratigráfica da exposição não pôde ser determinada com precisão, pois, na área de estudo, o contato entre as formações Teresina e Rio do Rastro está encoberto. Além disso, as características do Membro Serrinha da região norte do Estado do Paraná são distintas daquelas observadas em áreas situadas mais a sul, particularmente pela maior proporção de rochas carbonáticas e pelas espessuras muito menores do membro como um todo. Entre os fósseis identificados no Membro Serrinha da região de Ribeirão Claro, nenhum é diagnóstico das biozonas propostas em Rohn (1994). De acordo com as correlações de Meghioratti (2006) entre o perfil “Mirante” de Ribeirão Claro e outros perfis da região de Congonhinhas-Sapopema (PR), o Afloramento 1 estaria situado próximo à base do Membro Serrinha.

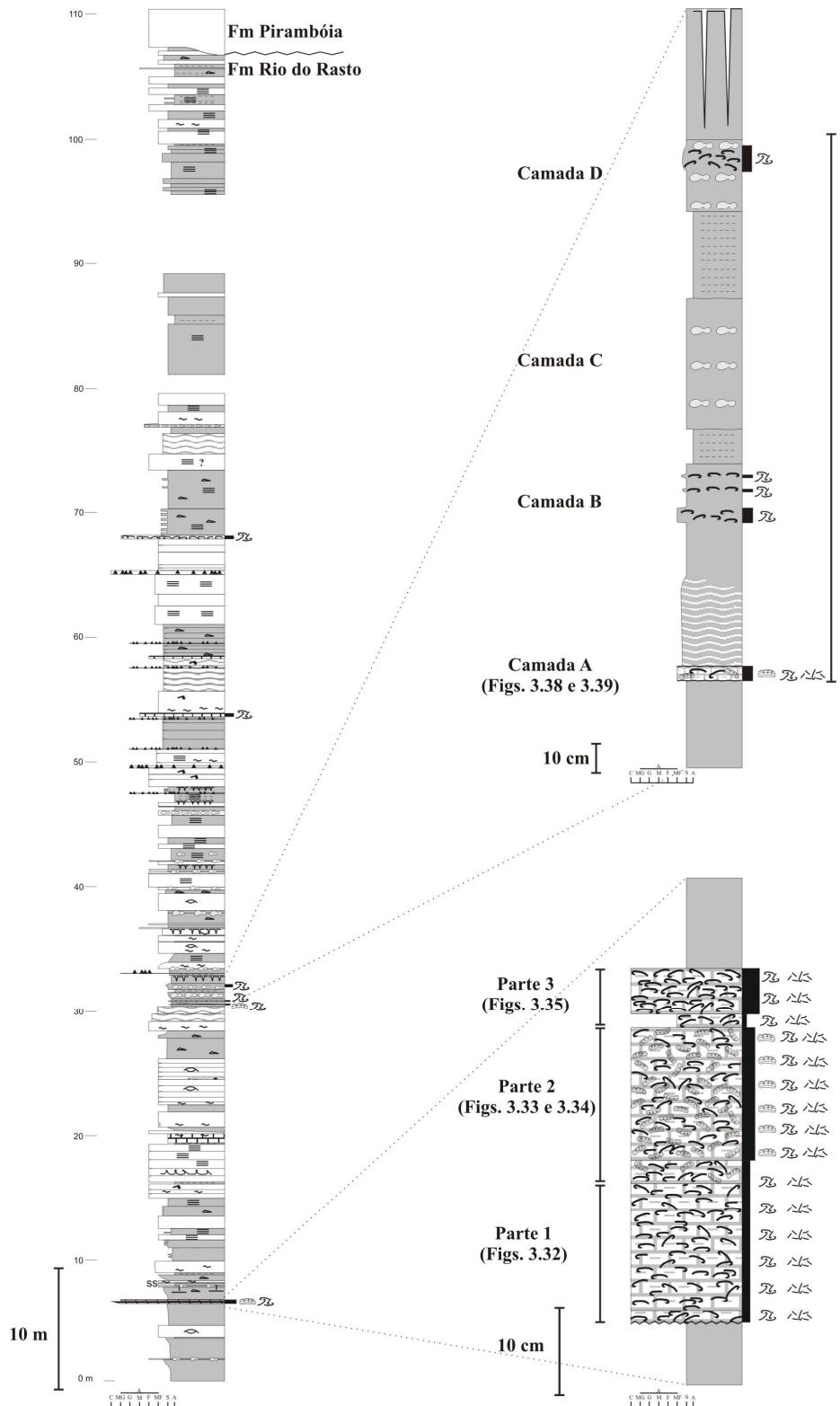


Fig. 3.37

Fig. 3.31

Figura 3.30 – Perfil colunar dos afloramentos de Ribeirão Claro  
(vide legenda na folha ao lado).

### **3.4.1. PACKSTONE A BIVALVES E ONCÓIDES DO AFLORAMENTO 1 DE RIBEIRÃO CLARO**

A camada carbonática do Afloramento 1 (Fig. 3.31), classificada como *packstone* a bivalves e oncóides, tem geometria relativamente tabular ao longo de aproximadamente 6 metros de exposição, com pequenas variações na espessura, sempre próxima a 40 cm. Os contatos inferior e superior são abruptos com siltitos avermelhados, notando-se ligeira irregularidade na base do carbonato e superfície praticamente plana no topo. Há muitos grãos de quartzo misturados à micrita da matriz.

Os bioclastos são representados por ostracodes, conchas de bivalves e escamas de peixes. Oncóides, correspondendo a pequenos estromatólitos semi-esféricos arredondados, por vezes micro-colunares são abundantes. Tais oncóides são similares aos de Joaquim Távora (PR) descritos por Rohn & Fairchild (1986) e de diversos outros afloramentos ou testemunhos de sondagem das formações Teresina e Rio do Rasto registrados por Lourenço (2003) e Meghioratti (2006). Os elementos carbonáticos duros que serviram como substrato para a incrustação das primeiras cianobactérias dos estromatólitos, vistos a olho nu em corte, assemelham-se a fragmentos de conchas de invertebrados (*e.g.*, moluscos bivalves). Entretanto, essa interpretação não é completamente destituída de dúvidas, pois tais supostos bivalves estão mal preservados, alguns apresentam forma plana ou placóide ao invés da forma côncavo-convexa que seria normal em conchas, e nenhum corte permitiu reconhecer algum umbo ou charneira. Uma hipótese alternativa a ser considerada é que os estromatólitos se desenvolveram sobre intraclastos micríticos placóides resultantes de ressecamento e retrabalhamento de lama carbonática. Entretanto, tais intraclastos provavelmente não seriam tão delgados ( $\leq 1$  mm), nem apresentariam espessura tão uniforme, muito menos “ornamentação” ondulada (Fig. 3.35, foto D). Por essas razões, supõe-se que os estromatólitos estejam incrustados sobre conchas de bivalves.

A camada carbonática é amalgamada e formada por distintas porções (partes 1, 2 e 3, fig. 3.31), segundo as estruturas sedimentares, o grau de empacotamento e o arranjo dos bioclastos na matriz. Estas porções são facilmente reconhecíveis a olho nu, pois suas diferenças tornaram-se destacadas por ação do intemperismo. Em toda a camada, a distribuição dos grãos é caótica. O empacotamento pode variar de disperso a denso, tanto na vertical, quanto na horizontal.

A parte 1 corresponde aos 15 cm basais da camada carbonática, subdividindo-se, por sua vez, em três porções mais discretas, com espessuras próximas a 2 cm na porção inferior e na

superior, e 11 cm na porção média principal. Na primeira, os fragmentos de conchas apresentam 0,5 mm de comprimento, alguns alcançando 3 cm (Fig. 3.32). Há conchas incrustadas por lâminas estromatolíticas, especialmente as maiores. O empacotamento é disperso (Fig. 3.32, fotos C e C'). Na porção média da parte 1, o empacotamento varia de disperso a frouxo. Os bioclastos possuem tamanho médio de 2 mm, raros atingindo 7 mm de comprimento. Há ostracodes, cuja carapaça apresenta comprimento médio de 0,5 mm. Nesse caso, ocorre menor quantidade de clastos incrustados. Também foram observadas raras escamas de peixe. A parte superior da parte 1 possui características muito semelhantes à porção inferior. Há bioclastos empilhados, em posição aproximadamente concordante ao acamamento.

A parte 2 da camada (fig. 3.31), com aproximadamente 23 centímetros de espessura, apresenta proporção muito maior de oncóides em comparação às partes 1 e 3. Quase todos os bioclastos estão incrustados pelos estromatólitos, os quais comumente têm espessura (ou altura) próxima a 1 cm. No geral, predominam aqueles oncóides denominados como “tipo A” por Rohn & Fairchild, (1986) (veja fig. 3.34) e são menos comuns aqueles com minúsculas colunas, do tipo B (fig. 3.33). Em muitos, o crescimento estromatolítico ocorreu em ambos os lados dos bioclastos. Geralmente, os raros oncóides do “tipo B” apresentam de 4 a 5 colunas, aproximadamente 2 cm de comprimento (em corte) e possuem espaço intercolunar com menos grãos de quartzo e lama do que na matriz da rocha (Figs. 3.33B, C). Os oncóides estão caoticamente arranjados na matriz, alguns em posição concordante ao acamamento, com a parte superior voltada para cima (foto A, figs. 3.33 e 3.34), outros invertidos ou oblíquos. O empacotamento dos grãos (oncóides e ostracodes) é muito denso nas porções inferior e superior da parte 2, porém varia verticalmente, havendo regiões matriz-suportadas, principalmente na porção central.

Finalmente, a parte 3 (fig. 3.31) corresponde aos 10 cm superiores da camada carbonática estudada, sendo caracterizada por grande proporção de conchas fragmentadas e a presença subordinada de oncóides (Fig. 3.35). A maioria das incrustações estromatolíticas possui espessuras inferiores a 1 mm, podendo ocorrer em ambas as superfícies das conchas. Alguns poucos oncóides assemelham-se aos tipos A ou B de Rohn & Rösler (1986), notando-se que nos espaços intercolunares há menos lama do que na matriz da rocha (Fig. 3.35B, C). Na porção basal da camada (aproximadamente 2 cm espessura) há poucos oncóides, muitos bioclastos não incrustados por estromatólitos e carapaças de ostracodes. Os grãos estão frouxamente

empacotados na matriz. Rumo ao topo as conchas fragmentadas e não incrustadas estão densamente empacotadas, formando uma coquina. Também estão presentes ostracodes, com as valvas articuladas fechadas (raros). Os bioclastos encontram-se em variadas posições, com valvas (incrustadas ou não) concordantes, oblíquas e até perpendiculares em relação ao plano de acamamento (Fig. 3.36). Do ponto de vista diagenético, houve incipiente dissolução do carbonato de cálcio de parte dos oncóides, tanto no contato com a matriz (Figs. 3.34C), quanto internamente, conforme evidenciado pela presença de micro-estilólitos.

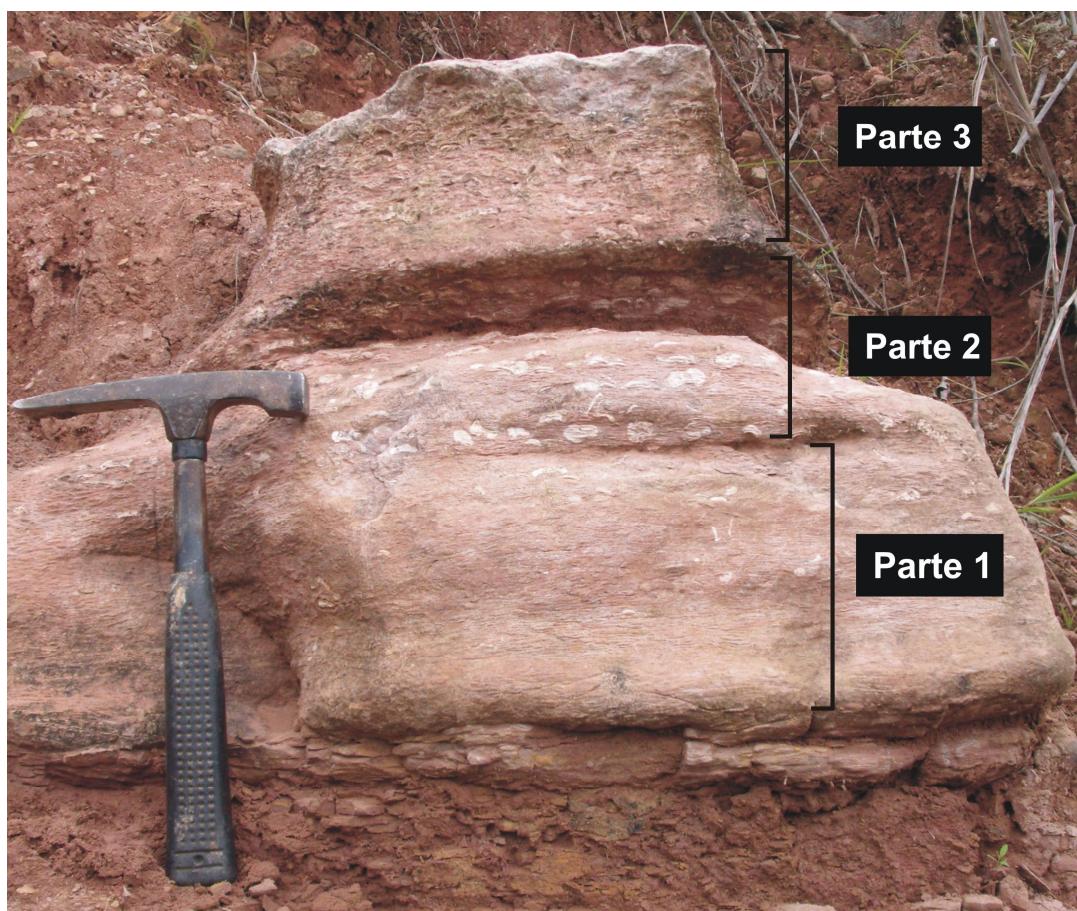


Figura 3.31 – Camada carbonática do Afloramento 1 de Ribeirão Claro-Carlópolis (PR), classificada como *packstone* a bivalves e oncóides, dividida em três partes conforme os tipos de grãos predominantes (conchas bivalves e/ou oncóides), o empacotamento e o arranjo na matriz. O intemperismo destacou os oncóides, muito abundantes na parte 2. A camada apresenta contatos abruptos com os siltitos adjacentes, sendo ligeiramente irregular na base. Altura do martelo ~30 cm.

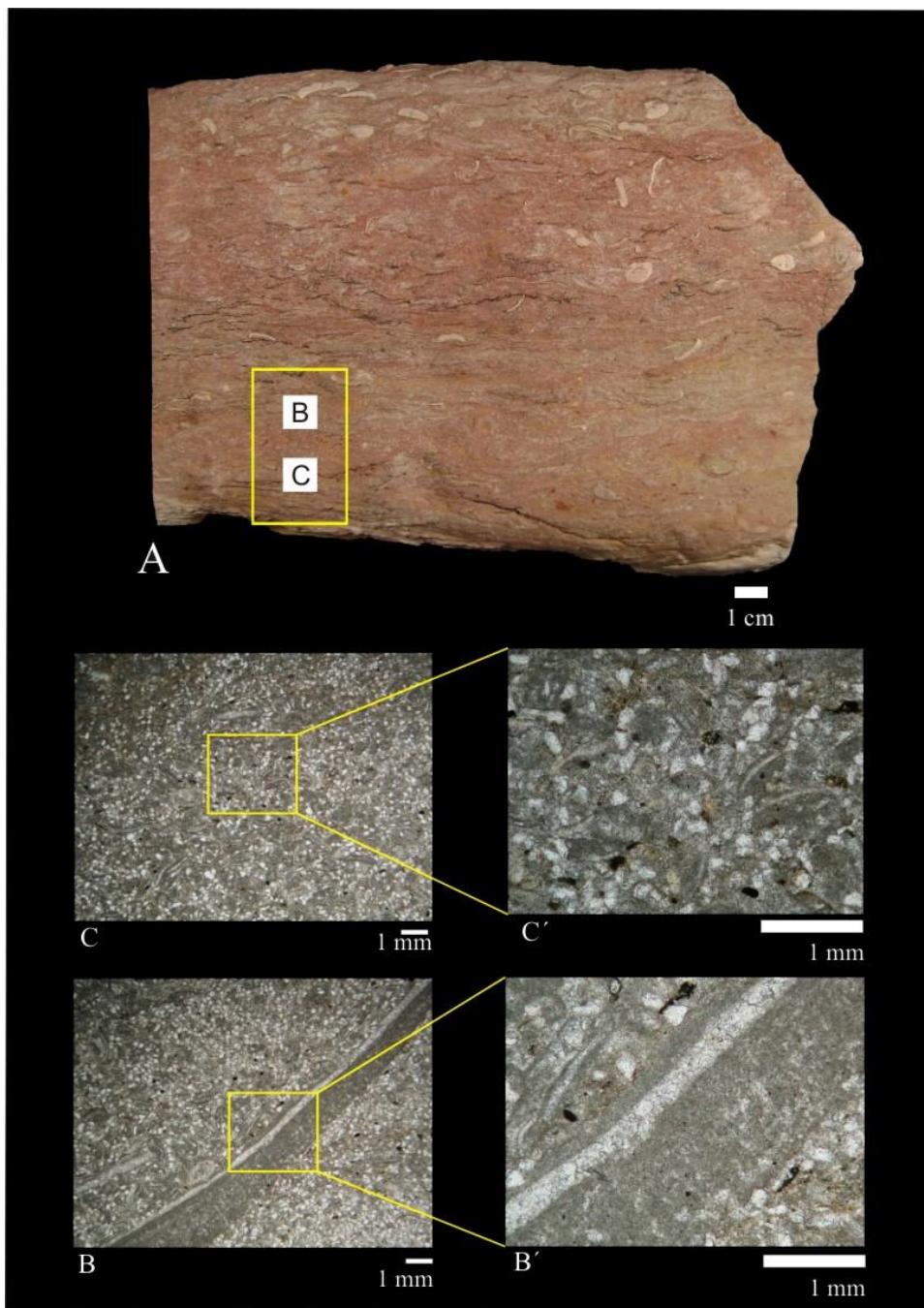


Figura 3.32- *Packstone* a bivalves e oncóides de Ribeirão Claro, Afloramento 1. Foto A- corte vertical da parte 1 da camada (fig. 3.31), mostrando a posição das lâminas petrográficas; foto B- oncóide do tipo A, incrustado sobre concha de bivalve e matriz micrítica com grande abundância de grãos de quartzo e alguns fragmentos de conchas de bivalves; foto B'-detalhe da foto B, mostrando a incrustação em ambos os lados da valva, porém mais espessa em um dos lados; foto C- matriz micrítica impura; foto C'- detalhe da foto C, grãos de quartzo (brancos), fragmentos de carapaças de ostracodes (delgadas e côncavo-convexas) e fragmentos de conchas de bivalves (mais espessas e mais irregulares). Fotos das lâminas petrográficas obtidas com nicóis paralelos.

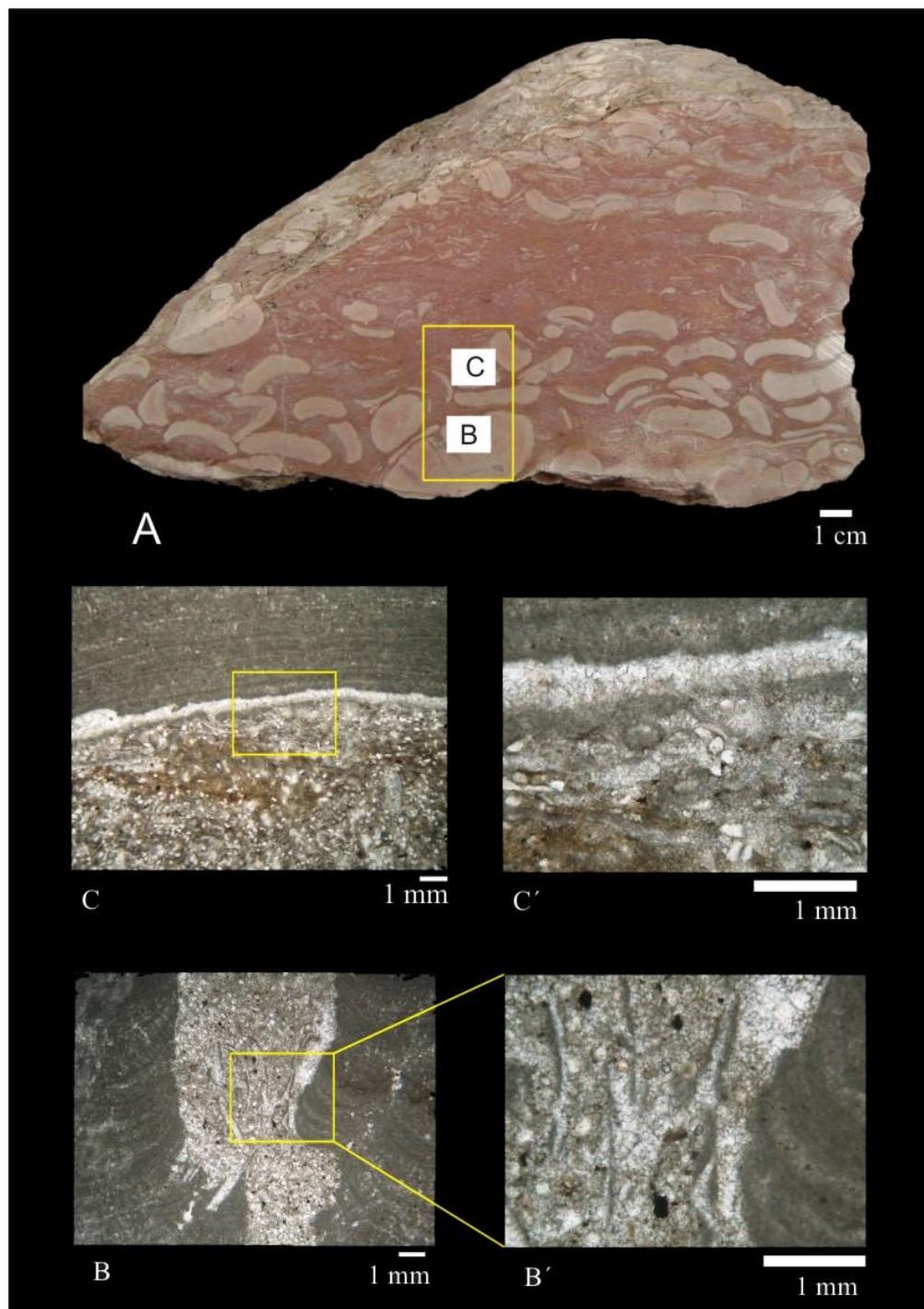


Figura 3.33- *Packstone* a bivalves e oncóides do Afloramento 1 de Ribeirão Claro. Foto A- corte vertical da parte 2 da camada (fig. 3.31), mostrando a posição das lâminas petrográficas; foto B- parte de duas colunas de estromatólitos e espaço inter-colunar; foto B'- detalhe do preenchimento inter-colunar; foto C- estromatólito incrustado sobre concha de bivalve e pequenos fragmentos de conchas com formas irregulares; Foto C'- detalhe da laminação estromatolítica. Fotos das lâminas petrográficas obtidas com nícois paralelos.

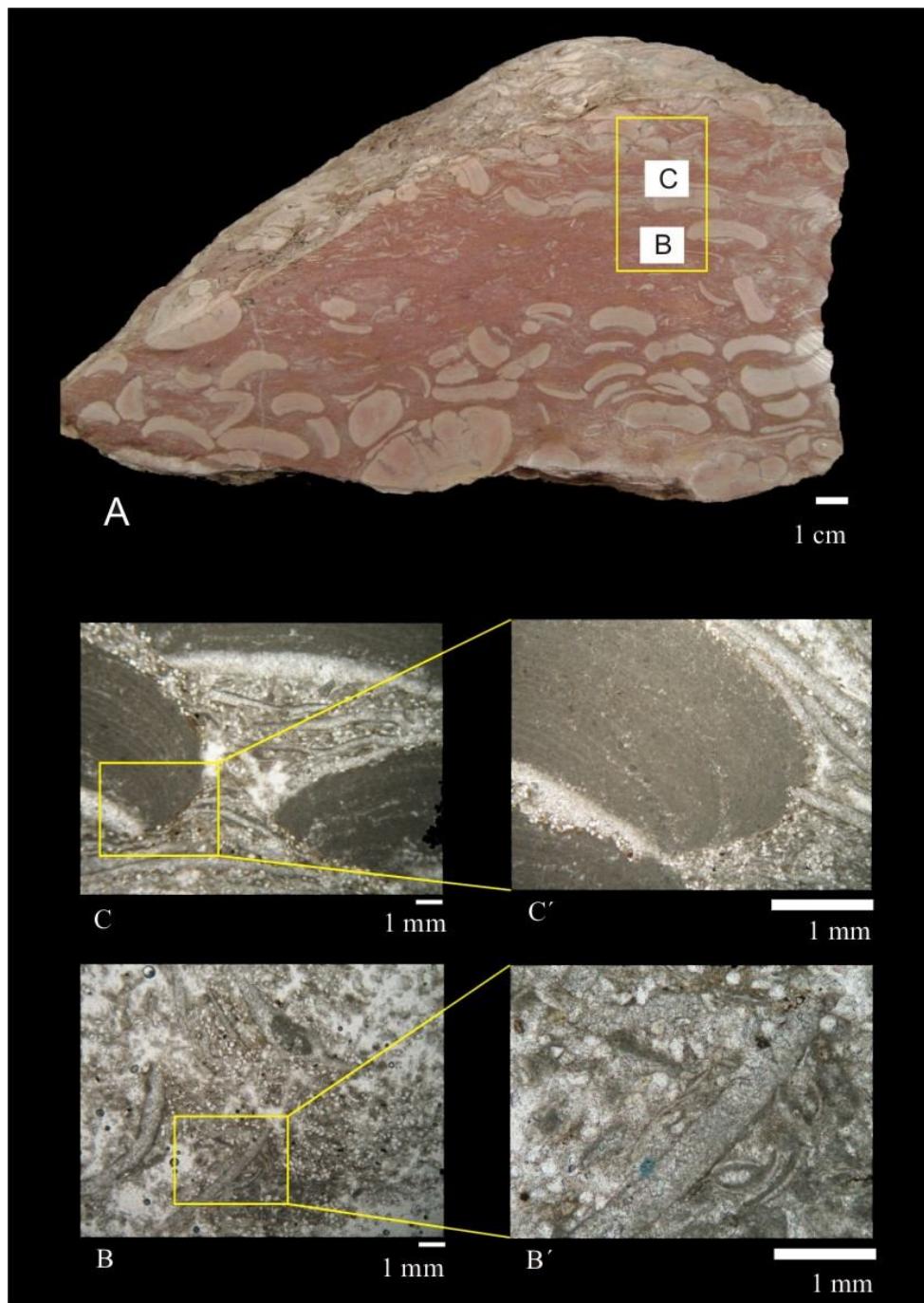


Figura 3.34- *Packstone* a bivalves e oncóides do Afloramento 1 de Ribeirão Claro. Foto A- corte vertical da parte 2 da camada (fig. 3.31), mostrando a posição das lâminas petrográficas; foto B- fragmentos de bivalves caoticamente distribuídos na matriz; foto B'- detalhe de um fragmento de bivalve disposto de forma oblíqua; foto B''- detalhe da foto B, mostrando um bivalve fragmentado e valvas desarticuladas de ostracode (direita-inferior); foto C- três fragmentos de bivalves incrustados por estromatólitos; Foto C'- detalhe da laminação em um dos oncóides. Fotos das lâminas petrográficas obtidas com nicóis paralelos.

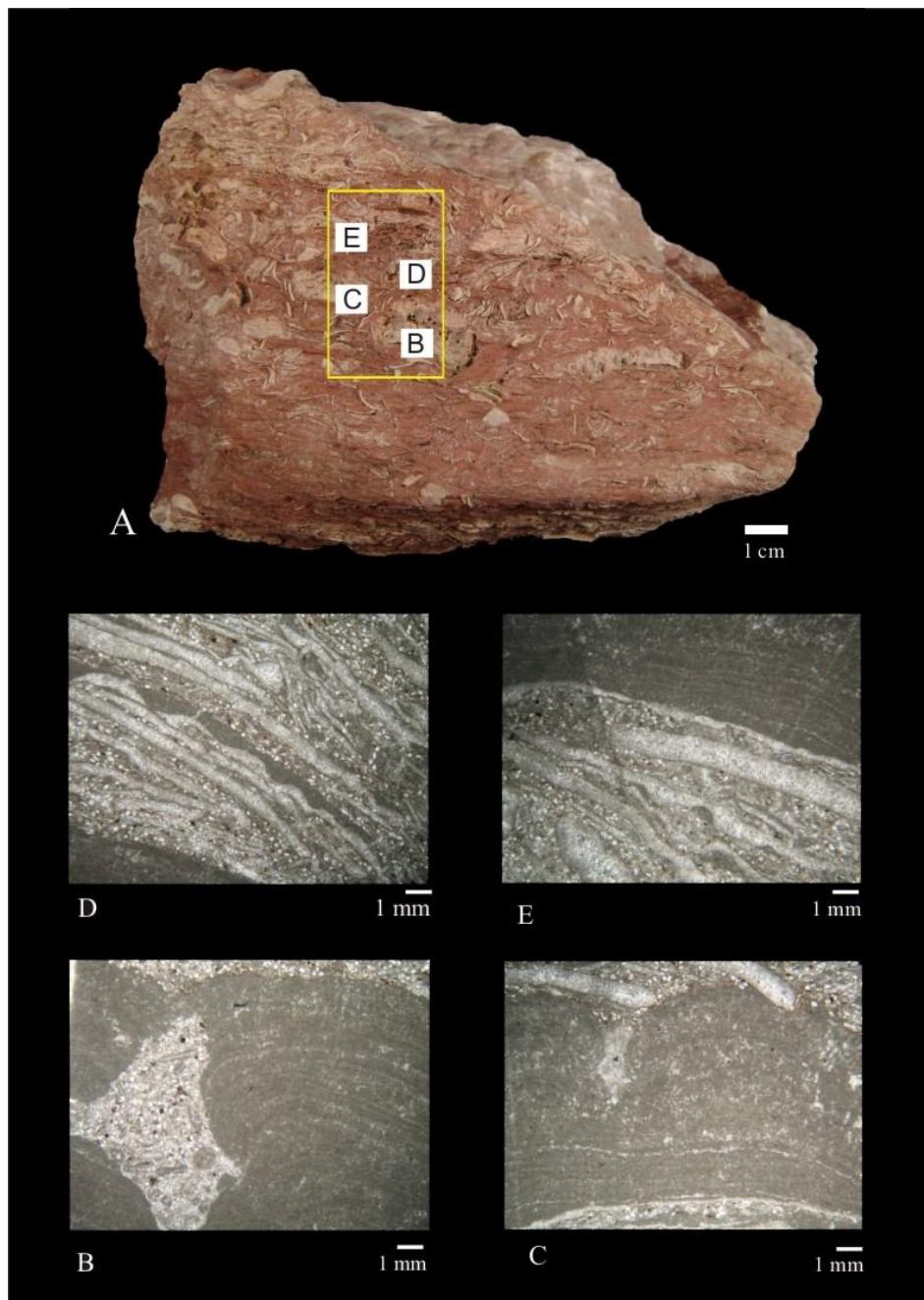


Figura 3.35- *Packstone* a bivalves e oncóides do Afloramento 1 de Ribeirão Claro. Foto A- corte vertical da parte 3 da camada (fig. 3.31), mostrando a posição das lâminas petrográficas; foto B- oncóide do tipo B; detalhe mostrando as estruturas colunares e preenchimento intercolunar distinto do material micrítico do *packstone*; foto C- oncóide também com diferença entre o material intercolunar e o externo, e feições diagenéticas de dissolução; foto D- Empacotamento denso de fragmentos de bivalves incrustados ou não por lâminas estromatolíticas; foto E- Concha incrustada por lâmina estromatolítica muito espessa e fragmentos de conchas incrustadas por lâminas delgadas ou sem incrustação. Fotos das lâminas petrográficas obtidas com nicóis paralelos.

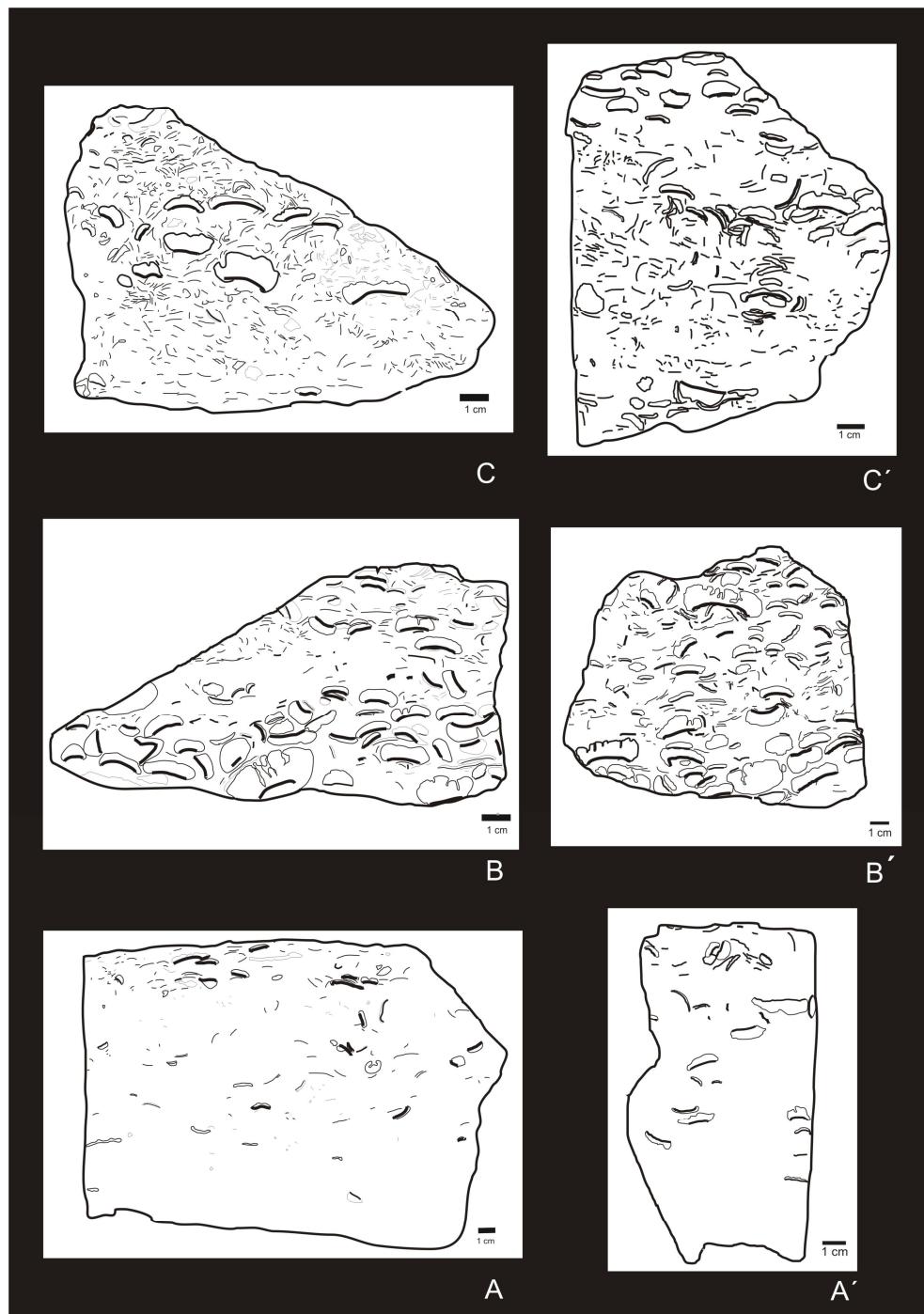


Figura 3.36 – Desenhos de cortes verticais da camada carbonática do Afloramento 1 de Ribeirão Claro. Os traços grossos nos oncóides correspondem a prováveis conchas de bivalves, sobre as quais ocorreu a incrustação estromatolítica. A e A' são referentes à parte inferior da camada (parte 1); B e B' são relativos à porção intermediária (parte 2); C e C' são da parte superior (parte 3).

### 3.4.2. WACKESTONE A BIVALVES E ONCÓIDES DO AFLORAMENTO 2 DE RIBEIRÃO CLARO

No afloramento 2, ocorrem rochas de granulação siltica e cor geral rósea, destacando-se quatro camadas (A, B, C e D) que reagem fortemente ao HCl. Intercalam-se siltitos maciços ou ligeiramente interlaminados com arenitos, formando discreto acamamento lenticular. Para o presente estudo tafonômico interessa especialmente a camada carbonática inferior (aqui informalmente designada como camada A, figs. 3.30, 3.37), constituída por *wackestone* com bivalves e oncóides.



Figura 3.37 - Vista geral do Afloramento 2 de Ribeirão Claro (altura ~4,5 m), com indicação das camadas carbonáticas (A, B, C, D) intercaladas por siltitos e arenitos muito finos.

A camada carbonática é caracterizada pela presença de conchas de bivalves incrustadas por estromatólitos, como ocorre no afloramento 1, porém aqui a espessura é menor, alcançando

apenas 4 a 5 cm (fig. 3.38), e a proporção de oncóides, conchas de bivalves e ostracodes também é relativamente menor. A base e o topo da camada são bem irregulares e os contatos podem ser reconhecidos com maior clareza onde a rocha carbonática é amarelada ou variegada esbranquiçada (Figs. 3.38, 3.39). A disposição dos bioclastos e oncóides é caótica, predominando a posição horizontal. Nota-se empacotamento mais ou menos denso de conchas pequenas e/ou fragmentadas na porção inferior da camada e relativa concentração de longos oncóides ( $\leq 3$  cm) na parte superior.



Figura 3.38 - Camada A do afloramento 2 de Ribeirão Claro (cor esbranquiçada) entre pelitos avermelhados. Divisões maiores da régua em centímetros.

As figuras 3.40 e 3.41 mostram cortes do calcário micrítico, do pelito sobreposto e lâminas delgadas. Algumas prováveis conchas possuem porções constituídas por material opaco (principalmente na Fig. 3.41D'), introduzindo-se a alternativa, ainda que remota, de que não sejam conchas, mas algum tipo de intraclasto. Por outro lado, as manchas escuras nas prováveis conchas podem ser devidas à introdução secundária de óxidos. Há situações diversas de incrustação dos supostos bivalves pelos estromatólitos (sobre a superfície externa ou sobre ambas as faces das valvas). Destacam-se alguns oncóides do tipo B de Rohn & Fairchild (1986) relativamente longos e que possuem espaços intercolunares preenchidos pela micrita impura da

matriz da rocha e não por algum material distinto. Nota-se que ocorreu dissolução parcial de muitas colunas (Fig. 3.40 B, C).



Figura 3.39 – Detalhe da camada A do afloramento 2 de Ribeirão Claro. As estruturas escuras alongadas são estromatólitos incrustados sobre conchas de bivalves (oncóides).

A rocha é suportada pela matriz micrítica e há significativa proporção de grãos de quartzo. Em algumas porções, os grãos de quartzo se concentram irregularmente, evidenciando provável bioturbação. Nas lâminas petrográficas, é possível reconhecer alguns ostracodes com carapaças desarticuladas e suas dimensões situam-se entre 0,5 e 1 mm. Os ostracodes são mais comuns em alguns níveis com maior quantidade de grãos de quartzo. Também há restos de peixes como escamas e dentes.

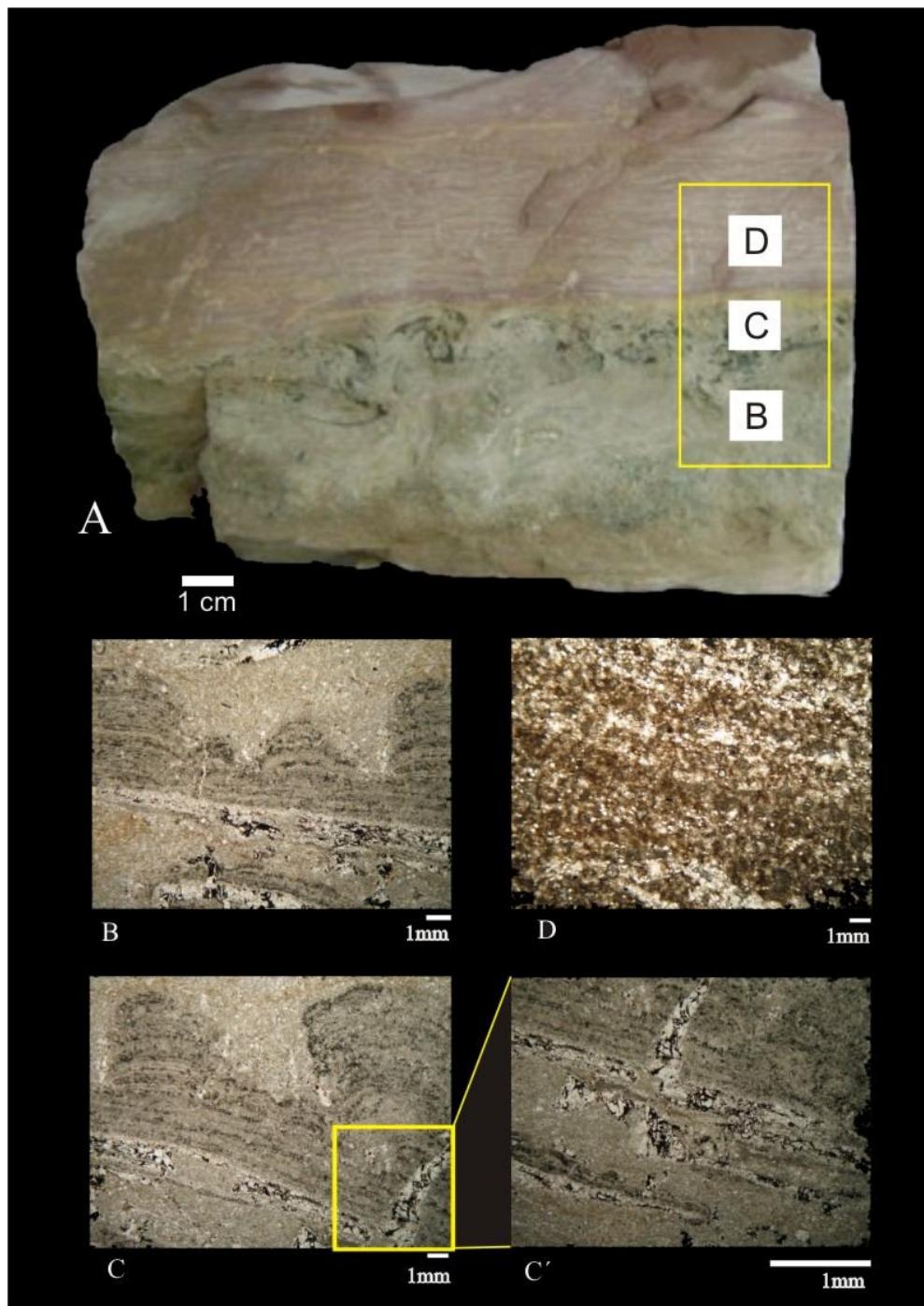


Figura 3.40 – *Wackestone* a oncóides e bivalves do Afloramento 2 de Ribeirão Claro. Foto A- Vista lateral da camada carbonática (porção cinza-esverdeada) e do siltito róseo sobreposto, com indicação das posições das lâminas petrográficas; foto B- estromatólito do tipo B, com quarto colunas incrustado sobre provável concha de bivalve; foto C- detalhe de estromatólito do tipo  $\beta$  e provável fratura preenchida por carbonato e óxidos; foto C'- detalhe; foto D - siltito sobreposto, mostarndo laminação. Fotos das lâminas petrográficas obtidas com nicóis paralelos.

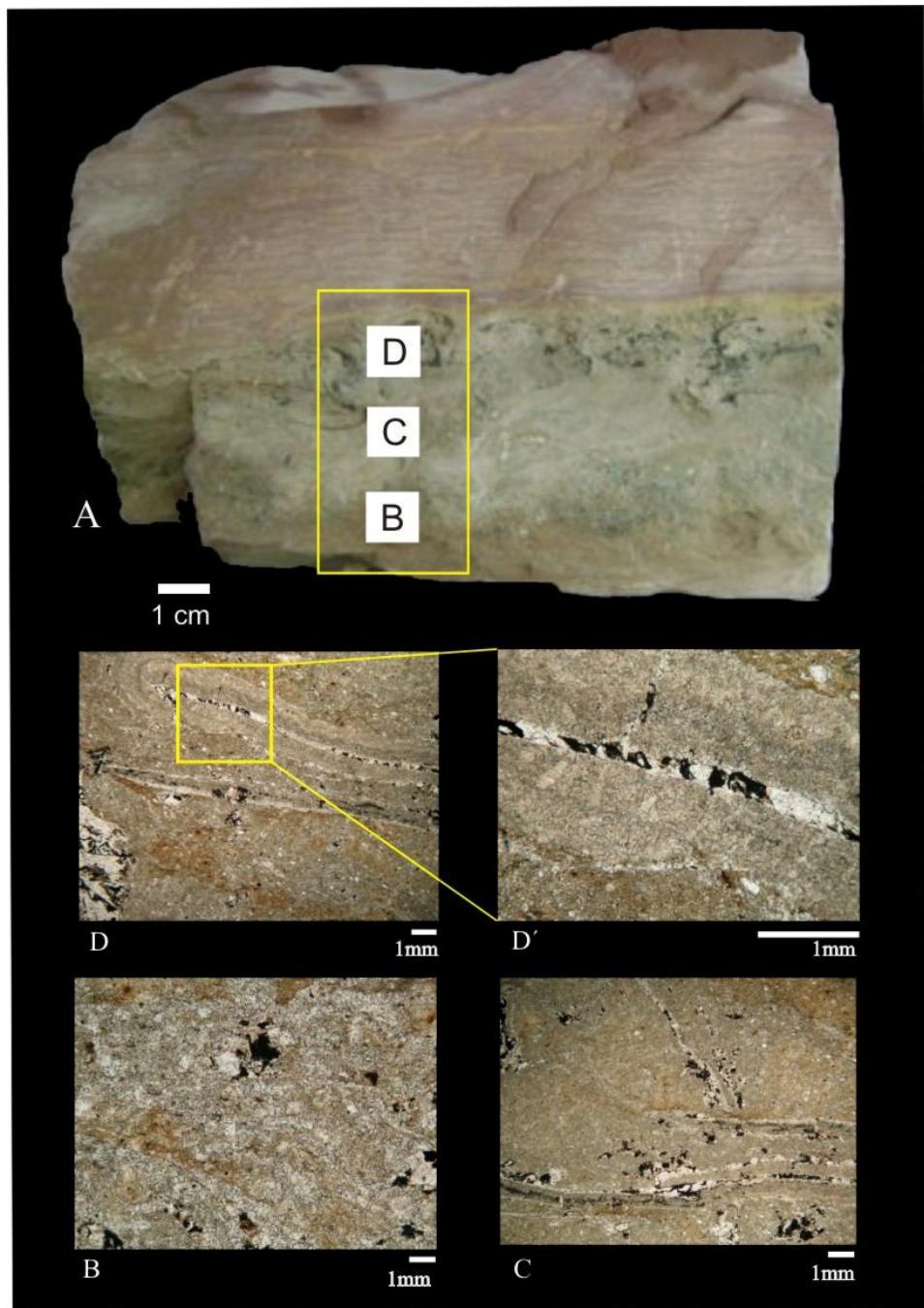


Figura 3.41 – *Wackestone* a oncóides e bivalves do Afloramento 2 de Ribeirão Claro. Foto A- Vista lateral da camada carbonática (porção cinza-esverdeada) e do siltito róseo sobreposto, com indicação das posições das lâminas petrográficas; fotos B e C- delgadas incrustações em conchas; foto D- envelopamentos de prováveis conchas por lâminas estromatolíticas de distintas espessuras; foto D'- detalhe. Fotos das lâminas petrográficas obtidas com nicóis paralelos.

### **3.5. DESCRIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DAS ROCHAS CALCÁRIAS CONCHÍFERAS ESTUDADAS**

Conforme mostrado na tabela 1, as rochas carbonáticas investigadas compreendem 04 tipos principais, isto é, *grainstone* oolítico a bivalves; *grainstone/packstone* a pelóides e bivalves com intraclastos, oóides e oncóides; *packstone* a bivalves e oncóides e *wackestone* com bivalves e oncóides. Essas rochas são descritas a seguir.

Unidade Fm.	Atributos Estratigráficos			Atributos Sedimentológicos		Atributos Tafonômicos		Classificação		
	Espessura	Geometria	Contatos	Conteúdo não biogênico	Conteúdo Biogênico	Condição Tafonômica	Arranjo na Matriz	Petrográfica Dunham (1962)	Tafonômica Fürsich & Oschmann (1993)	Tafonômica Kidwell (1991)
Fm. Rio do Rasto Ribeirão Claro / Afloramento 01	40 cm	Tabular irregular	Inferior erosivo, superior plano, brusco	Micrita, com abundantes grãos de quartzo	Ostracodes, escamas de peixes, estromatólitos	Fragmentação, desarticulação, incrustação	Caótico, empacotamento disperso a denso	<i>Packstone</i> a bivalves e oncóides com ostracodes	Concentração gerada por tempestade	Concentração amalgamada
Fm. Rio do Rasto/Ribeirão Claro Afloramento 2	04 a 05 cm	Tabular irregular	Inferior erosivo, superior plano, brusco	Micrita, com abundantes grãos de quartzo	Raros ostracodes, estromatólitos	Desarticulação, incrustação	Caótico, empacotamento disperso a fróxido	<i>Wackestone</i> a oncóides e bivalves	Concentração gerada por tempestade	Concentração amalgamada
Fm. Teresina Afloramento Rio Preto	45 cm	Tabular irregular	Inferior erosivo, superior ondulado, brusco	Cimento impuro, lamoso	Bivalves, ostracodes, restos vegetais (silicificados) e de peixes (fosfatizados)	Desarticulação, fragmentação	Caótico, empacotamento denso a fróxido, conchas aninhadas	<i>Grainstone</i> a pelóides e bivalves, com intraclastos, oóides e oncóides	Concentração gerada por tempestade	Concentração amalgamada
Fm. Teresina Afloramento Pedreira Velha Prudentópolis	25 cm	Tabular irregular	Inferior erosivo, superior ondulado	Cimento	Bivalves, ostracodes e raras escamas de peixes	Fragmentação, desarticulação, raras conchas articuladas	Caótico, empacotamento denso a fróxido, conchas aninhadas	<i>Grainstone</i> a oóides e bivalves	Concentração gerada por tempestade	Concentração amalgamada
Fm. Teresina Afloramento Pedreira Nova Prudentópolis	10 cm	?	Inferior erosivo, superior ondulado, abrupto	Cimento impuro	Abundantes bivalves, ostracodes e raras escamas de peixes	Fragmentação, desarticulação	Caótico, denso	<i>Grainstone</i> a oóides, bivalves e pelóides	Concentração gerada por tempestade	Concentração amalgamada

## 4. DISCUSSÃO

### 4.1. GÊNESE E HISTÓRIA TAFONÔMICA DAS CONCENTRAÇÕES FÓSSEIS ESTUDADAS

Durante a deposição da Formação Teresina e unidades coevas, prevaleceram condições de baxíssimas taxas de sedimentação na Bacia do Paraná, as quais foram pontuadas por episódios mais energéticos de sedimentação, influenciados por tempestades (vide Cunha & França, 1994; Rohn, 1994, 2001; Castro *et al.*, 2001). Consequentemente, as concentrações fossilíferas geradas, em ambiente siliciclástico ou carbonático, são internamente complexas, registrando diversos episódios de exumação, transporte/retrabalhamento, retroalimentação tafonômica e soterramento dos bioclastos (vide Torello & Simões, 1994; Kidwell *et al.*, 1996; Simões *et al.*, 1996, Simões & Kowalewski, 1998). Em suma, os arenitos bioclásticos, as coquinas, e os *grainstones*, *packstones* e *wackestones* aqui descritos, representam exemplos de tempestitos proximais, gerados em distintos subambientes de águas rasas, de um imenso lago/mar de uma bacia intracratônica. Em geral, essas acumulações possuem contato basal abrupto e erosivo, matriz com quantidade variável de intraclastos, conchas caoticamente distribuídas na matriz, às vezes aninhadas ou empilhadas e, na maioria dos casos, gradação descontínua. Essas feições são indicativas de deposição sob influência de correntes turbulentas, geradas por tempestades (veja síntese em Fürsich & Oschmann, 1993; Simões & Kowalewski, 1998; Simões & Torello, 2003).

A figura 4.1 apresenta uma síntese dos possíveis eventos e processos que participaram na gênese de cada uma das acumulações estudadas. É importante salientar que o registro preservado não necessariamente materializa todos os eventos ocorridos durante a gênese de uma dada concentração fossilífera (vide Simões & Kowalewski, 1998, para uma discussão desse assunto). Incluem-se alguns casos em que determinados eventos se repetiram duas ou mais vezes e outros, nos quais alguns eventos não aconteceram. Os processos diagenéticos não foram considerados na ilustração, sendo discutidos ao longo do texto. Na figura 4.2 estão representados esquemas sintéticos dos atributos tafonômicos de cada rocha carbonática estudada e a sua história tafonômica através do ordenamento das etapas indicadas na figura 4.1.

## Possíveis Eventos Envoltos na Acumulação de Conchas

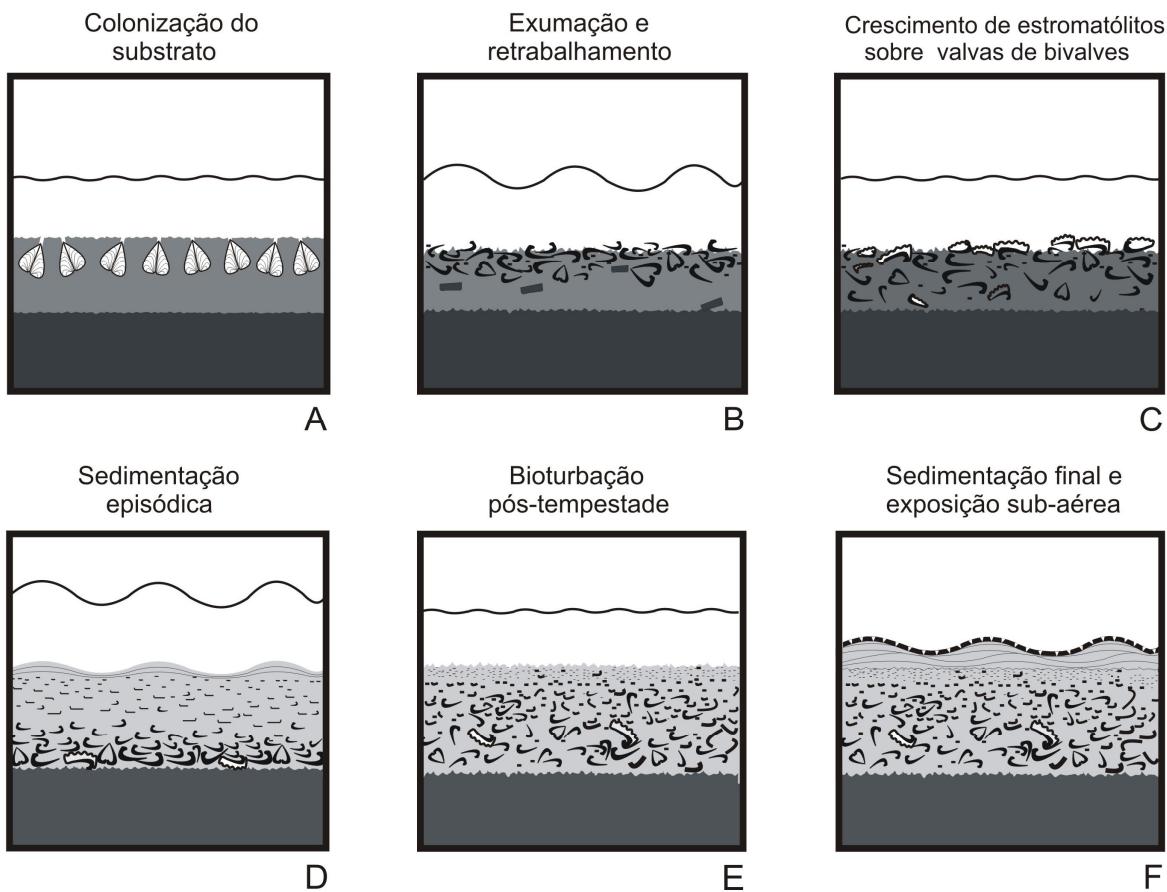


Figura 4.1 – Síntese dos principais eventos que podem ter participado na gênese das rochas carbonáticas conchíferas estudadas. Não necessariamente ocorreram todos os eventos, nem nesta ordem, incluindo a possibilidade de repetição de alguns.

**Grainstones oolíticos a bivalves de Prudentópolis (PRU 1 e PRU 2):** Os corpos carbonáticos das duas pedreiras têm diversas características em comum, podendo ser discutidos em conjunto, exceto nos casos explicitados. A história tafonômica teve início com a colonização do substrato por moluscos bivalves. Considerando-se a paleoecologia das espécies identificadas e daquelas mais comuns da Formação Teresina (Ghilardi, 1999), os bivalves devem ter sido de infauna rasa e suspensívoros em substrato lamoso, obviamente em condições oxidantes. Além da presença da biocenose, ocorria gradual incorporação de conchas dos indivíduos mortos na lama do substrato, cuja concentração deve ter variado conforme a taxa de sedimentação e o tempo de acumulação. Da mesma forma, ocorria lenta acumulação natural de restos de peixes (principalmente escamas e dentes isolados) que viveram, morreram e sofreram decomposição no biótopo dos bivalves ou nas proximidades.



Figura 4.2 - Fotos representativas das rochas estudadas e respectivos esquemas mostrando o registro preservado e a sucessão de eventos ocorridos para a sua gênese. As letras usadas para indicar os eventos referem-se àquelas da figura 4.1, sendo que as letras entre parêntesis sugerem acontecimentos presumíveis, todavia sem evidências concretas.

Interrompendo um período de relativa estabilidade no habitat dos bivalves, sucedeu-se um evento de alta energia hidráulica, ou seja, uma tempestade, na qual fortes ventos induziram ondas na água e fluxos derivados. As conchas (vivas e mortas) foram exumadas do substrato e ficaram susceptíveis ao transporte e retrabalhamento na zona tafonomicamente ativa, em parte, referente à interface água/sedimento. Em decorrência dessas condições, a maioria das valvas sofreu desarticulação e fragmentação, raras permanecendo articuladas.

O processo de exumação das conchas obviamente esteve associado à colocação dos sedimentos mais finos do substrato em suspensão e sua provável remoção para outras áreas do ambiente deposicional. Conforme as condições da energia hidráulica, as próprias conchas podem ter sido transportadas em suspensão, senão por tração, e os choques entre os bioclastos causaram sua gradual fragmentação. Na camada carbonática de PRU 2, onde há maior proporção de conchas fragmentadas do que em PRU 1, os processos de alta energia provavelmente foram mais intensos ou tiveram maior duração. Também pode ter havido recorrência dos episódios de tempestade, pois a etapa B na Fig. 4.1 não necessariamente representa exumação/retrabalhamento numa única tempestade.

Ao contrário das conchas de bivalves, a maioria dos ostracodes reconhecidos nas lâminas petrográficas de PRU 1 e PRU 2 está com as valvas das carapaças apenas desarticuladas e não fragmentadas. Por serem muito menores que as conchas de bivalves, em condições turbulentas, as carapaças normalmente podem ser colocadas em suspensão, transportadas flutuando acima do substrato e poupadadas da fragmentação, ao contrário dos bioclastos transportados por tração (Holz & Simões, 2002).

Tendo em vista que a biocenose vivia em substrato lamoso e que, por outro lado, as conchas estão preservadas num *grainstone* oolítico, está claro que este corpo carbonático é constituído por grãos alóctonos ou parautóctonos. Os oóides também devem ter alcançado o sítio deposicional sob influência de fluxos induzidos pelas tempestades. A organização interna dos oóides, sem camadas concêntricas bem desenvolvidas, e a forma por vezes alongada ou irregular dos oóides (especialmente em PRU 2), são típicas de ambientes carbonáticos restritos e não de regiões costeiras de mares abertos (Strasser, 1986; Flügel, 2004). Valvas desarticuladas de ostracodes estavam disponíveis no ambiente, pois constituem o núcleo de acresção de grande parte dos oóides. A origem dos oóides na Formação Teresina é discutida em Rohn (1994, 2001), Lourenço (2003) e Meglrioratti (2006). Formaram-se em bancos rasos (*shoals*) de ambientes

com águas claras, limpas, sem terrígenos em suspensão, alcalinas, possivelmente hipersalinas, sob influência esporádica ou frequente de ondas (girando os oóides). Intensas tempestades redistribuiam os oóides dos bancos rasos para áreas mais extensas da bacia (Rohn, 1994, 2001).

Ao fim da tempestade, quando a energia hidráulica estava abrandando, procedeu-se a deposição final dos grãos, com organização granodecrescente ascendente (fase D da Fig. 4.1). No caso de PRU 1 e PRU 2, tais grãos foram as conchas, os oóides, alguns raros pelóides, alguns grãos de quartzo procedentes de sítios não carbonáticos, assim como raros clastos geralmente angulosos de folhelhos/argilitos. Tais clastos provavelmente são derivados de gretamento de lama por exposição subaérea antes da tempestade ou refletem erosão do substrato nas fases mais intensas da tempestade. O contato irregular entre as camadas carbonáticas e as rochas siliciclásticas subjacentes em PRU 1 e PRU 2 constitui evidência de um acentuado processo erosivo ocorrido durante a tempestade, antes do início da sedimentação.

Após a tempestade, organismos bioturbadores colonizaram o depósito, alterando feições da biofábrica ou biotrama, geradas pela tempestade, o que proporcionou uma distribuição caótica dos bioclastos no depósito, quase obliterando a granodecrescência ascendente dos grãos.

No caso de PRU 1, o corte vertical da rocha (fig. 3.11) mostra uma nítida divisão da camada em duas partes, cada qual com sedimentos grossos gradando para finos, embora desorganizados e pouco nítidos por efeito de bioturbação. Portanto, a segunda parte revela que todas as etapas se repetiram: exumação, morte e retrabalhamento dos bioclastos, mistura com oóides e outros clastos, deposição final dos grãos e posterior bioturbação. Entre os dois eventos houve alguma erosão da parte superior do primeiro depósito. A história tafonômica da camada PRU 1 encerrou-se com mais uma deposição de oóides num último episódio de energia relativamente alta, quando se originaram laminações cruzadas por ondas e leito onulado. A camada calcária, portanto, trata-se de corpo amalgamado e complexo, cuja origem incluiu a participação de pelo menos três episódios de tempestade.

No caso de PRU 1, após a deposição do calcário, já em condições de baixa energia, ocorreu decantação de argila (evidenciada pela fina lâmina de folhelho escuro sobreposta ao calcário) e exposição subaérea, processo que formou gretas de contração. Seguiram-se quatro pequenos ciclos de sedimentação, cada qual representado pela deposição de uma delgada camada de areia ondulada, novo drapeamento por argila e ressecamento. Considerando-se que as exposições subaéreas provavelmente aconteceram pouco tempo após a deposição da camada

carbonática e que neste curto período, portanto, não devam ter ocorrido grandes oscilações da profundidade do ambiente deposicional, pode-se inferir que a camada carbonática se originou em condições de águas muito rasas. Da mesma forma, os macrofitofósseis encontrados um pouco acima dos níveis das gretas (Rohn, 1994) também sugerem relativa proximidade das áreas emersas. Junto aos macrofitofósseis há oogônios de algas carófitas, indicativas de águas, no máximo, salobras. No entanto, a camada carbonática pode representar uma fase em que a salinidade era mais alta (local ou regionalmente).

Dentre os processos pós-deposicionais destaca-se, nas camadas carbonáticas de PRU 1 e PRU 2, a micritização microbial, que resultou na formação de envelopes de micrita em torno dos bioclastos e em grãos sedimentares. A micritização é reconhecível pela borda escura de algumas conchas (Figs. 3.6, 3.7, 3.8, 3.16, 3.17) e normalmente é causada pelo ataque de microrganismos (ex.: algas, cianobactérias e fungos) nas superfícies dos bioclastos (Flügel, 1982; Tucker, 1992). Posteriormente, na diagênese, a aragonita original das conchas, ainda não micritizada, foi dissolvida e o respectivo espaço foi preenchido por calcita espática. Os envelopes micríticos têm o importante papel da manutenção da morfologia externa original das conchas (Tucker & Wright, 1990; Flügel, 1982). Na diagênese em PRU 1, de acordo com as condições físico-químicas, algumas conchas ou algumas porções da rocha tiveram substituição do carbonato por sílica.

Fácies de bancos calcários oolíticos maciços, descritos por Aigner (1984) na sequência epicontinental do sul da Alemanha, apresentam características semelhantes à camada carbonática de PRU 1. São oosparitos e oobiosparitos (*grainstones* oolíticos a bivalves, Dunham, 1962) bem selecionados, onde os grãos bioclásticos estão geralmente arredondados e a maioria têm envelopes micríticos bem desenvovidos. Embora o ambiente deposicional do exemplo da Alemanha tenha sido menos restrito do que aquele da Bacia do Paraná, com fósseis realmente marinhos, as tempestades teriam sido mais importantes na geração e na sedimentação final dos oóides do que as marés (Aigner, 1984).

**Grainstone/packstone a pelóides e bivalves com intraclastos, oóides e oncóides (Rio Preto):** possui história tafonômica semelhante às camadas de Prudentópolis, começando com uma comunidade de moluscos bivalves que sofreram exumação e morte. Porém, acredita-se que o período e a intensidade de retrabalhamento a que as conchas estiveram submetidos foi maior,

pois todos os bioclastos estão muito fragmentados e apresentam as arestas arredondadas, evidenciando abrasão mecânica, além dos choques uns contra os outros. A história tafonômica mais complexa também é evidenciada pela presença de algumas conchas incrustadas por estromatólitos, assim como a mistura de conchas com micrófilos de licófitas permineralizados por sílica e alguns restos de peixes. A acumulação contém grande quantidade de intraclastos distribuídos entre os fragmentos de bivalves, evidenciando eventos de erosão do substrato. Pouquíssimas conchas encontram-se inteiras e em determinadas regiões, elas estão muito densamente empacotadas, formando coquinas, porém não em toda a camada.

A presença de micrófilos de licófitas permineralizados por sílica misturados com as conchas e outros grãos faz supor que, após sua abscisão da planta-mãe, os micrófilos chegaram a um corpo d'água com saturação em sílica. A condição saturada pode estabelecer-se quando há muita evaporação de água, o pH sobe e alguns minerais silicáticos, como o feldspato, sofrem dissolução. Soluções ricas em sílica penetram nos espaços vazios e nas células mortas dos vegetais, ainda suportadas pela celulose. Em tais espaços, a sílica precipita (vide Marinho & Rohn, 2009). Os micrófilos já permineralizados foram posteriormente retrabalhados e misturados com as conchas e os outros grãos (Rohn, 1994). Cabe ser ressaltado que a permineralização dos micrófilos ocorreu antes da sua mistura com as conchas porque ambos os grupos tiveram um comportamento hidráulico mais ou menos similar e principalmente porque os micrófilos se encontram retilíneos (o que se depreende inclusive através da observação de fragmentos pequenos). Se eles tivessem sido depositados com as conchas antes da permineralização, apresentariam características tafonômicas bem distintas devido ao seu peso específico muito menor (maior flutuabilidade) e à baixa dureza (deformabilidade).

Outra característica que distingue a camada carbonática de Rio Preto daquelas de Prudentópolis é a presença de alguma micrita/lama na matriz, não sendo totalmente esparítica. Tal micrita representa uma inversão textural, já que a lama normalmente decantaria lentamente, mas a estratificação cruzada na parte superior da camada refletia condições de energia hidráulica muito mais alta. Situação similar foi observada por Lourenço (2003) numa camada carbonática da Formação Teresina em testemunho de sondagem na região de Congonhinhas. É possível que parte dos grãos carbonáticos, depositados em condições de energia relativamente alta, tenha sofrido completa micritização posterior (El-Sammak, 2001; Saner et al., 2005).

Em bancos calcários de seqüências epicontinentais da Alemanha (Triássico), Aigner (1984) descreveu “*graded skeletal sheets*” que apresentam características comuns à camada de Rio Preto. Possuem base erosiva brusca e camadas compostas constituídas por sucessões de bioclastos e intraclastos que representam amalgamação de muitos eventos interrompidos por bioturbação. Sucessões similares têm sido registradas em muitos depósitos, tanto de plataforma carbonática quanto siliciclática. Em trabalhos anteriores do mesmo autor (Aigner, 1979, 1982), essas camadas foram descritas e interpretadas como depósitos de submaré. Depois foi reconhecida a importante influência das tempestades na sua origem. Análogos modernos incluem camadas geradas por tempestades em plataformas continentais como, por exemplo, no Golfo do México (síntese em Aigner, 1984).

**Packstone e wackestone a oncóides com ostracodes (Ribeirão Claro):** A história tafonômica desses carbonatos é, conforme discussão a seguir, bastante complexa. As observações de campo e a análise tafonômica dos níveis carbonáticos micríticos de Ribeirão Claro-Carlópolis sugerem história deposicional em área com pouco aporte de terrígenos, o que permitiu o desenvolvimento junto ao fundo de esteiras de cianobactérias, que incrustaram as partículas duras disponíveis no ambiente. Conforme já discutido no capítulo 3.2.3, tais partículas duras provavelmente são conchas bivalves, lembrando, no entanto, existem alguns questionamentos sobre tais “estranhas” valvas.

A hipótese mais provável para a formação do *packstone* estudado do Afloramento 1 de Ribeirão Claro é a de que foi gerado em condições proximais, de águas muito rasas e calmas com constante influência de eventos de alta energia que remobilizaram e retrabalharam os grãos antes da deposição final. Tais eventos, incluindo a deposição final, foram governados por ondas de tempestades.

As condições de águas rasas, sem terrígenos em suspensão, promoveram a disponibilidade da luz necessária para o desenvolvimento das cianobactérias. Certamente, as condições de temperatura também foram adequadas, conforme os modelos normais modernos de sedimentação carbonática (veja Flügel, 2004). Pouco pode ser presumido em relação às condições químicas da água, pois cianobactérias toleram desde água doce até condições hipersalinas (veja Flügel, 2004). Normalmente, colônias de cianobactérias formam estromatólitos em ambientes estressantes, os quais excluem os raspadores e outros potenciais

predadores das esteiras de “algas”. A principal causa de *stress* normalmente é a hipersalinidade. Entretanto, não se pode afirmar de tal condição vigorou durante o crescimento dos estromatólitos de Ribeirão Claro. É possível que as comunidades de cianobactérias tenham sido coervas, em parte, à comunidade bentônica dominada por moluscos bivalves. O mesmo pode ser considerado em relação às carapaças de ostracodes, igualmente abundantes nas camadas, geralmente com valvas desarticuladas, porém não fragmentadas.

A condição ambiental que provavelmente não era favorável para o amplo desenvolvimento de estromatólitos era o substrato. A baixa energia hidráulica nos períodos de “bom tempo” (entre os episódios de tempestades) resultava numa lenta decantação de lama carbonática, de modo que quase todo o fundo do corpo aquoso provavelmente se tornava lamoso e inadequado para a colonização pelos microrganismos. Os únicos substratos duros disponíveis no ambiente devem ter sido as valvas de moluscos, em posições aproximadamente horizontais devido a retrabalhamentos/remobilizações anteriores. Enquanto algumas partículas estavam expostas na interface água/sedimento, susceptíveis à incrustação, outras estavam parcial ou totalmente soterradas pela lama micrítica. As superfícies convexas de muitas valvas possivelmente representavam os pontos mais altos do substrato e eram colonizadas preferencialmente (Rohn & Fairchild, 1986). A posição convexa para cima também era a mais estável em termos hidrodinâmicos; por esta razão, poucas conchas foram incrustadas na superfície côncava. Os eventos de tempestade subsequentes causavam novas remobilizações de modo que alguns oncóides eram sobrepostos por conchas ainda não incrustadas e, portanto, mais leves; outros oncóides apenas tiveram inversão de orientação (e.g., da convexa para a côncava para cima); alguns foram sepultados pela lama micrítica; etc. Quando retornavam as condições de baixa energia, reiniciava-se mais uma fase de crescimento estromatolítico sobre os novos “substratos” duros da interface água-sedimento e, assim, sucessivamente. Nos processos de retrabalhamento, as menores partículas que ainda não foram incrustadas, fragmentavam-se ainda mais. As valvas pequenas ou os fragmentos menores nunca foram colonizados pelos microrganismos, pois nunca constituíram substrato duro “alto” e estável. Durante as tempestades ocorria alguma incorporação de grãos de quartzo à lama micrítica. No caso do Afloramento 2 de Ribeirão Claro, onde a proporção de grãos de quartzo é maior, a camada carbonática talvez tenha sido depositada em região mais próxima das áreas continentais.

As diferenças morfológicas entre os estromatólitos dos tipos A e B dizem respeito a ligeiras diferenças na energia hidráulica e/ou taxa de sedimentação durante o seu desenvolvimento. Os representantes com microcolunas devem ter sido originados em águas ligeiramente mais movimentadas e com menores taxas de sedimentação (Rohn & Fairchild, 1986). Esta interpretação condiz com o tamanho das conchas que serviram como substrato: somente aquelas com as maiores dimensões apresentam estromatólitos com microcolunas, pois elas eram um pouco mais pesadas e provavelmente ficavam mais firmemente “ancoradas” sobre os sedimentos em comparação às conchas menores, as quais eram mais facilmente arrastadas ou colocadas em suspensão quando havia algum tipo de fluxo.

Cabem considerações a respeito do arranjo caótico das conchas e dos oncóides nas rochas carbonáticas. Em primeiro lugar, diferentemente das camadas estudadas de Prudentópolis e Rio Preto, aquelas de Ribeirão Claro têm composição principalmente micrítica, o que significa que a lama micrítica original teve grande redução de volume devido à compactação. Portanto, as conchas e os oncóides estavam empacotados de modo bem menos denso e a sua posição relativa foi modificada durante a diagênese. A despeito deste fato, interpreta-se também que os depósitos foram bioturbados após o último evento deposicional. A posição dos grãos oncolíticos, muitos estando arranjados de modo oblíquo e até perpendiculares ao plano de acamamento, constitui forte indício de bioturbação (vide Brett, 2003). A existência de oncóides com 3 cm de comprimento ao lado de conchas menores que 5 mm também sugere bioturbação, pois são grãos hidraulicamente incompatíveis para terem sido depositados lado a lado. O aninhamento de conchas é outro exemplo de arranjo atribuível à bioturbação (vide Fürsich & Pandey, 1999). Além disso, processos hidráulicos não são capazes de empilhar partículas na vertical, como está representado em todos os desenhos da figura 3.36 para a camada do Afloramento 1 de Ribeirão Claro. Esses desenhos mostram que a distribuição dos grãos (oncóides e clastos não incrustados), com dimensões maiores que 5 mm, é caótica em toda a camada e o empacotamento varia de disperso a denso, dependendo da região analisada (vide Bottjer & Droser, 1991). O mesmo ocorre com os grãos menores que 5 mm, como os ostracodes, melhor observados em lâminas petrográficas. Outra feição tipicamente gerada pela bioturbação é a variação irregular na rocha entre partes suportadas pelos bioclastos e partes com “vazios” suportadas pela matriz. Portanto, se originalmente havia certa graduação vertical de grãos devido à deposição controlada por ondas de tempestade, tal organização foi obliterada pela ação de organismos bioturbadores.

É comum encontrar bioturbação em carbonatos fossilíferos, como ocorre em camadas de *mudstones* no Devoniano (Parsons *et al.*, 1988) e, em calcários micríticos do Permiano (Simões *et. al.*, 2008). Portanto, atribui-se a trama caótica dos grãos das camadas de Ribeirão Claro à colonização de organismos infáunicos após o último evento de tempestade.

Os depósitos da Formação Rio do Rasto acumularam-se num contexto de baixa taxa de sedimentação durante o Meso e Neopermiano, devido ao caráter intracratônico da bacia do Paraná. Brett & Baird (1986) mostraram a relação entre feições bioestratinômicas de partículas (reorientação, desarticulação, fragmentação, bioerosão e incrustação) e taxas de sedimentação. Normalmente, elevadas taxas de incrustação representam um longo tempo de residência das partículas duras no fundo (Fürsich & Oschmann, 1993; Fürsich & Pandey, 1998), como parece ser o caso dos *packstones* e *wackestones* aqui estudados. O grau de fragmentação as conchas também sugere retrabalhamentos recorrentes.

Fácies de carbonatos epicontinentais, como os do sul da Alemanha (Muschelkalk Superior), apresentam características comuns com os carbonatos aqui estudados. Aigner (1984), por exemplo, descreveu na fácies denominada “*wackestone* e *packstones* oncolíticos”, grãos bioclásticos ou intraclastos que serviram como núcleos para o crescimento oncolítico, apresentando lâminas geradas em múltiplas fases, como é comum nos calcários de Ribeirão Claro-Carlópolis. Segundo o autor (*apud* Wilson 1975), oncóides são típicos de ambientes rasos e relativamente calmos, o que corrobora a hipótese paleoambiental dos calcários de Ribeirão Claro-Carlópolis. Os depósitos foram descritos pelo autor como depósitos típicos de ambiente de margens de lagos e canais. Provavelmente, também as camadas de Ribeirão Claro-Carlópolis foram geradas em ambientes de margem de grandes lagos com deposição final por tempestades.

## 4.2. IMPLICAÇÕES PALEONTOLOGICAS: RESOLUÇÃO PALEOECOLÓGICA DAS CONCENTRAÇÕES ANALISADAS

Conforme longamente sabido, concentrações fósseis, a moda de coquinas e arenitos bioclásticos são a fonte primordial e alvo preferencial de amostragens para estudos paleontológicos. Entretanto, a pesquisa tafonômica especialmente desenvolvida nas décadas de 1980 e 1990 demonstrou, claramente, que tais concentrações esqueletais são enviesadas (*biased*), com respeito a uma série de parâmetros (e.g., fidelidade composicional, fidelidade ecológica, resolução temporal etc.). Paralelamente, diversos estudos (veja Kidwell, 1993 e Holz & Simões, 2005, para sínteses) demonstraram que tais concentrações não estão distribuídas aleatoriamente nas sucessões sedimentares, já que são os produtos das variações no nível de energia do ambiente, das taxas de sedimentação e produtividade bentônica observadas longo de gradientes batimétricos (e.g., águas rasas/profundas) (Holz & Simões, 2005).

Conforme discutido em Kidwell (1991, 1993) as concentrações esqueletais podem ser classificadas como (a) concentrações por evento, (b) concentrações compostas, (c) concentrações amalgamadas e (d) concentrações residuais (Fig. 2.3). Concentrações por evento materializam um único evento de deposição, representativo de um breve episódio de concentração de partes duras, biogênicas. Tais concentrações podem ter origem estritamente sedimentológica ou biológica. As concentrações compostas compreendem concentrações formadas por múltiplos eventos de acresção ou amalgamento, em geral, sob condições de altas taxas de sedimentação. São concentrações internamente complexas, muitas vezes mostrando mistura de elementos esqueletais muito distintos. Já as concentrações “verdadeiramente” amalgamadas, representam concentrações formadas por múltiplos eventos de acresção ou amalgamento, formadas durante períodos de baixa taxa de sedimentação, materializando importantes hiatos. Finalmente, as concentrações residuais (*lags transgressivos*) possuem geometria em forma de lente, com base erosiva, intraclastos e elementos esqueletais das formas, em geral, mecanicamente mais resistentes. Materializam também importantes hiatos. Assim sendo, a fidelidade composicional e temporal é bastante baixa.

O caráter raso e as baixíssimas taxas de sedimentação que caracterizaram o lago/mar que dominou a paisagem da Bacia do Paraná, durante o Permiano, em associação aos eventos episódicos de tempestades, condicionaram intensos retrabalhamentos dos bioclastos.

Seqüências epicontinentais são comuns durante o Paleozóico (Aigner (1984). Repetidos eventos de tempestades foram os agentes deposicionais responsáveis por gerar a mistura espacial e temporal das partículas bioclásticas presentes, na maior parte das concentrações investigadas. De acordo com Kreisa & Bambach (1982), tempestades foram os principais agentes deposicionais em ambientes do Paleozóico. Acredita-se, portanto, que o registro sedimentar estudado é constituído de depósitos previamente formados e constituídos por restos esqueléticos que foram retrabalhados mais tarde por outros eventos de tempestades, incorporando sedimento e organismos de eventos anteriores. Portanto, essas acumulações são, na sua maior parte, amalgamadas, apresentando baixa resolução temporal e espacial. De fato, *grainstones* e *packstones* gerados por tempestades são acumulações que não refletem a densidade original de conchas, de uma dada biocenose, e sim repetidos eventos de retrabalhamento das partículas, formando acumulações amalgamadas, geradas por eventos de alta energia (Drummond & Sheets, 2001).

Evidências de que as acumulações acima não correspondem a registros autóctones (*sensu* Kidwell *et al.*, 1986), sem mistura temporal e espacial não faltam nas acumulações investigadas. Por exemplo, nos *packstones* a bivalves e oncóides foram encontrados sedimentos de constituição diferente da matriz da rocha, no espaço entre as colunas dos oncóides tipo  $\beta$ . Isso, além de indicar que o grão oncolítico é alóctone, também implica num grande lapso de tempo entre o ambiente de formação dos oncóides e sua deposição final. Já nos *grainstones* a oóides e bivalves (Pru1) ocorrem conchas silicificadas, fragmentadas, articuladas fechadas, etc. e outras ainda não silicificadas, apontando para a presença de mistura de bioclastos com história diagenética distinta, em uma mesma acumulação. Por fim, nos *grainstone* a pelóides, oóides e bivalves com intraclastos existe a mistura de elementos ecologicamente distintos, em uma mesma acumulação. Por exemplo, a morfologia funcional dos bivalves do Grupo Passa Dois é muito bem conhecida, a partir dos estudos de Ghilardi (1994) e Simões & Ghilardi (2000). Esses autores demonstraram que *Ferrazia cardinalis*, presentes nos *grainstones* é um bivalve suspensívoro, escavador raso, lento e que, preferencialmente, colonizava substratos de granulometria areia, enquanto *Pyramus*, outra forma ocorrente nos *grainstones*, é uma forma suspensívora, escavadora rápida, que deveria viver em substrato lamoso. Em outras palavras, ambas as espécies não deveriam ter colonizado juntas o mesmo tipo de substrato.

## 5. SUMÁRIO & CONCLUSÕES

- 1- Para o presente estudo foram examinadas cinco camadas carbonáticas fossilíferas, no centro-sul do Estado do Paraná, formações Teresina e Rio do Rasto;
- 2- Na Formação Teresina foram identificadas (a) duas camadas de *grainstones* oolíticos a bivalves (seção de Prudentópolis, PRU1 e PRU2) e (b) uma camada de *grainstone* a pelóides e bivalves, com intraclastos, oóides e oncóides (seção de Rio Preto);
- 3- Na Formação Rio do Rastro foram identificados (a) *packstone* a bivalves e oncóides com ostracodes e um *wackestone* a bivalves e oncóides (seção de Ribeirão Claro), ambos na Formação Rio do Rastro;
- 4- Os ***grainstones* oolíticos a bivalves (Pru 1)** são rochas carbonáticas oolíticas, com empacotamento variando de frouxo a denso, no cimento esparítico. O contato basal é brusco e erosivo, e o superior com marcas onduladas e gretas de contração no folhelho imediatamente acima. São comuns conchas fragmentadas e inteiras, silicificadas ou preservadas como contramoldes de calcita espática, distribuídas caoticamente, com graus de empacotamento variável ao longo da camada. Os oóides possuem micro-estrutura predominantemente radial. Sua gênese está provavelmente relacionada à ambientes de águas rasas e alta energia, sob influência de ondas de tempestade. O processo envolveu, provavelmente, o retrabalhamento de um banco de oóides, gerado em águas rasas restritas. Os bioclastos apresentam qualidade de preservação variável, apontando para mistura temporal dos mesmos. A distribuição caótica das conchas é fruto do processo final de deposição por agentes energéticos, bem como pela atividade biológica intra-estratal, pós-tempestade;
- 5- Os ***grainstones* a pelóides, oóides e bivalves com intraclastos (Pru 2)** são também rochas carbonáticas oolíticas, com conchas densamente empacotadas, no cimento esparítico (caráter coquinóide). Ocorrem abundantes grãos peloidais, conchas fragmentadas e matriz de lama argilosa. A distribuição dos bioclastos na matriz é caótica. Sua origem está relacionada a ambiente de águas rasas e alta energia, muito proximal dada à presença de grãos siliciclásticos

mal selecionados (quartzo). A falta de organização dos bioclastos na matriz sedimentar resulta, em parte, da influência da bioturbação registrada nesses carbonatos;

6- Os ***grainstones* a pelóides e bivalves com intraclastos, oóides e oncóides (Rio Preto)** são rochas carbonáticas coquinóides oolíticas, com o empacotamento dos bioclastos variando de frouxo a denso, no cimento esparítico. O contato basal é brusco e erosivo, com a presença de abundantes intraclastos silticos misturados aos bioclastos, assim como fragmentos permineralizados por sílica de folhas de licófitas. A distribuição dos bioclastos é caótica, exceto na parte superior da camada, onde os bioclastos estão paralelos aos sets de estratificação cruzada e estão predominantemente fragmentados. Esses carbonatos foram gerados em ambiente de águas rasas e alta energia. Intraclastos evidenciam erosão de pelitos semi-consolidados, em áreas próximas ao sítio deposicional (talvez remoção de sedimentos gretados). Antes do evento deposicional final, deve ter ocorrido retrabalhamento de conchas e sua fragmentação. A mistura temporal é evidenciada pela presença adicional de algumas conchas não fragmentadas, e a mistura de restos vegetais e oncóides aos bivalves. Na última fase da deposição da camada ocorreram processos tracionais que produziram a estratificação cruzada e a orientação dos bioclastos. Portanto, a formação da camada envolveu múltiplos eventos;

7- Já os ***packstones* a oncóides com ostracodes e *wackestones* (Ribeirão Claro-Carlópolis)** são dois carbonatos micríticos, com proporção significativa de grãos de quartzo e abundância de conchas de bivalves incrustados por estromatólitos, caoticamente distribuídos na matriz sedimentar. Nesses calcários são freqüentes ostracodes, alguns articulados. O empacotamento dos bioclastos e oncóides varia verticalmente de frouxo a denso. Sua origem está relacionada à retroalimentação tafonômica, onde, em uma primeira etapa, a exumação, o transporte e o retrabalhamento das conchas de bivalves, em ambiente de águas rasas, produziram bioclastos com distintos estados de fragmentação. Em seguida, em condições de energia relativamente mais baixa, esteiras algálicas colonizaram as conchas de bivalves (preferencialmente as com maiores dimensões). Posteriormente, deve ter ocorrido episódio de maior energia que misturou os estromatólitos, a lama carbonática e os fragmentos de conchas não incrustados. Finalmente, pode ter ocorrido bioturbação que modificou a posição dos bioclastos e oncóides;

- 8- Do ponto de vista genético, as concentrações acima, mas especialmente os *grainstones* oolíticos de Prudentópolis e Rio Preto, apresentam contato basal brusco e erosivo, matriz com quantidade variável de intraclastos, conchas caoticamente orientadas na matriz, às vezes aninhadas ou empilhadas e, na maioria dos casos, clara gradação descontínua. Tais feições são indicativas de deposição sob influência de correntes turbulentas, geradas por tempestades e, portanto, essas acumulações representam tempestitos proximais;
- 9- Todos os tempestitos investigados são amalgamados e, portanto, representam concentrações internamente complexas. Desse modo, a utilização da informação paleoambiental dessas concentrações fossilíferas deve ser feita, a partir da perspectiva de que elas registram apreciável mistura temporal ( $10^2$  a  $10^4$  anos, com base em exemplos do Recente, vide Simões & Kowalewski, 1998) e, possivelmente, espacial (por exemplo, folhas de licófitas silicificadas com conchas de bivalves), nos *grainstones* a pelóides, oóides e bivalves com intraclastos;
- 10- A pesquisa tafonômica conduzida com as rochas carbonáticas conchíferas demonstrou que, assim como para as rochas siliciclásticas (e.g., arenitos bioclásticos) tempestades foram os principais agentes responsáveis pela deposição final das concentrações estudadas. Trata-se do mesmo padrão já observado para ocorrências em mares epicontinentais do Devoniano (e.g., Grupo Hamilton, EUA e Canadá) e do Mesozóico, por exemplo. Portanto, as concentrações estudadas refletem, em maior ou menor grau, o caráter raso do lago/mar da bacia do Paraná, com baixíssimas taxas de sedimentação, pontuadas por eventos de alta energia (tempestades).

## 6. REFERÊNCIAS

- ANDREIS, R. R. & CARVALHO, I. S. A. Formação Corumbataí (Permiano Superior-Triássico Inferior, Bacia do Paraná) na pedreira de Pau Preto, Município de Taguaí, São Paulo, Brasil: Análise paleoambiental e das pegadas fósseis. **Revista Brasileira de Paleontologia**, Rio de Janeiro, v. 2, p. 33–46, 2001.
- BEURLEN, K. Faunas salobras fósseis e o tipo ecológicopaleogeográfico das faunas Gondwânicas no Brasil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 29, n. 2, p. 229-241, 1957.

- BOTTJER, D.J. & DROSER, M.L. Ichnofabric and basin analysis. **Palaios**, Tulsa, v.6, p. 199-205, 1991.
- BRETT, C. E. Taphonomy: sedimentological implications of fossil preservation. In: MIDDLETON, G. (Ed). **Encyclopedia of Sedimentology**. Elsevier, 2003.
- BRETT, C. E. & BAIRD, G. C. Comparative taphonomy: a key to paleoenvironmental interpretation based on fossil preservation. **Palaios**, Tulsa, v. 4, p. 303-309, 1986.
- CASTRO, J.C. de; ROHN, R.; CASTRO, M.R. de; TOLEDO, C.E.V. Camadas de tempestite grosso (coarse grained storm beds): exemplos do Permiano da bacia do Paraná. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v.54, n. 3, p. 179-184, 2001.
- Cortez, I.; Ricardi-Branco, F.; Rohn, R. Briófitas da Formação Teresina de Rio Preto, PR (Grupo Pasa Dois, Permiano Médio). In: **44º Congresso Brasileiro de Geologia**, Curitiba, PR. Anais, SBG. p. 782, 2008.
- CUNHA, P.R.C. & FRANÇA, A.B. Estudo das taxas de sedimentação das formações Teresina e Rio do Rasto - Bacia do Paraná. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, v. 8 n. (2-4): p. 347-359, 1994.
- DUNHAM, R. J. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. **Memoir AAPG**, v. 1, p. 108-121, 1962.
- DRUMMOND, C. & SHEETS, H. Taphonomic reworking and stratal organization of tempestite deposition: Ordovician Kope Formation, Northern Kentucky, USA. **Journal of Sedimentology Research**, Tulsa, v. 71, n. 4, p. 621-627, 2001.
- EL-SAMMAK, A. A. Nature and genesis of silt-size carbonate sediments; northern Red Sea, Egypt. **Carbonates and Evaporites**. v. 16, n. 1, p. 37-45, 2001.
- FELDMANN R. M.; CHAPMAN, R.E.; HANNIBAL J. T. Paleotectiques. **The Paleontological Society Special Publications**, Tennessee, n. 4, 358p. 1989.
- FLÜGEL, E. **Microfacies analysis of limestones**. Berlim: Springer-Verlag. p. 633, 1982.
- FLÜGEL, E. **Microfacies of carbonate rocks. Analysis, interpretation and application**. Berlim: Springer Verlag, p. 976, 2004.
- FURSICH, F. T. & OSCHMANN, W. Storm shell beds of Nanogyra virgule in the Upper Jurassic of France. **N. Jb. Geol. Paläont., Abh.**, Stuttgart, v. 172, p. 141-161, 1986.
- FURSICH, F. T. & OSCHMANN, W. Shell beds as tool in basin analysis: The Jurassic of Kachchh, western India. **Journal of the Geology Society**, London, v. 150. p. 169-185, 1993.

- FURSICH F. T. & PANDEY D. K. Genesis and environmental significance of Upper Cretaceous shell concentration from the cauvery basin, southern India. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, Amsterdam, v. 145, p. 119-139, 1999.
- GHILARDI, R.P. **Paleoautoecologia dos bivalves do Grupo Passa Dois (Neopermiano) no Estado de São Paulo: bivalves fósseis como indicadores da dinâmica sedimentar.** 160p. Dissertação (Mestrado em Geologia Sedimentar) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.
- GHILARDI, R.P. & SIMÕES, M.G. Foram os bivalves do Grupo Passa Dois (Exclusive Formação Rio do Rasto), Neopermiano, invertebrados tipicamente dulcícolas? **Pesquisas em Geociências**, Porto Alegre, v. 29, n. 1, p. 91-99, 2002.
- HOLZ M. & SIMOES M. G. **Elementos fundamentais de tafonomia.** Porto Alegre: UFGRS, 240p. 2002.
- HOLZ, M. & SIMOES, M. G. Taphonomy: an Overview of Main Concepts and Applications to Sequence Stratigraphic Analysis. In: KOUTSOUKOS, E.M.C. (Org.). **Topics in Geobiology: Applied Stratigraphy.** 1 ed. USA: Springer, v. 23, p. 249-279, 2005.
- KAZUBEK, M. F. & SIMOES, M. G. The lost fauna unearthed: Permian bivalves of the Irati Formation (Passa Dois Group), Paraná Basin, Brazil.. In: Reunião Paleo, v. 40. p. 31-32, 2002, Florianópolis. **Paleontologia em Destaque...** Porto Alegre: SBP, 2002.
- KAZUBEK, M. F. & SIMOES, M. G. Permian bivalves of the Irati Formation (Passa Dois Group, Paraná Basin) and their paleoecological significance. In: Congresso Brasileiro de Paleontologia, XVIII, p. 161-161, 2003, Brasília: **Boletim de Resumos**, 2003.
- KAZUBEK, M. F. & SIMOES, M. G. Feições sedimentológicas, bioestratinômicas e estratigráficas das concentrações de bivalves do Membro Taquaral (Formação Irati, Grupo Passa Dois, Bacia do Paraná) e seus significados. In: Paleo-2003, v. 44, p. 29-29, 2003, Curitiba. **Paleontologia em Destaque**, Porto Alegre: SBP, 2003.
- KREISA R. D. & BAMBACH R. K. The role of storm processes in generating shell beds in Paleozoic Shelf Environments. In: EINSELE, G.; SEILACHER, A. (Eds). **Cyclic and Event Stratification.** Berlim: Springer, p. 200- 222, 1982.
- KIDWELL, S.M. Paleobiological and sedimentological implications of fossil concentrations. **Nature**, Londres, v.18, 457-460, 1985.

- KIDWELL, S. The stratigraphy of shell concentrations. In: ALLISON, P.A. & BRIGGS, D.E.G. (Eds.). **Taphonomy: Releasing Data Locked in the Fossil Record. - Topics in Geobiology.** New York: Plenum Press, v. 9, p. 211-290, 1991.
- KIDWELL, S.M. Influence of subsidence on the anatomy of marine siliciclastic sequences and on the distribution of shell bone bed. **Journal of the Geology Society**, Londres, v. 150, p. 165-167, 1993.
- KIDWELL, S.M & HOLLAND, S.M. Field description of coarse bioclastics fabrics. **Palaios**, Tulsa, v. 6, p. 426-434, 1991.
- KIDWELL, S. M.; FURSICH F. T; AIGNER T. Conceptual framework for the analysis of fossil concentrations. **Palaios**, Tulsa, v. 1, p.228-238, 1986.
- LAGES, L. C. **A Formação Irati (Grupo Passa Dois, Permiano, Bacia do Paraná) no furo de sondagem FP-01-PR (Sapopema, PR).** 117 p. Dissertação (Mestrado em Geologia Regional) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 2004.
- LOURENÇO, A.T.A. **As formações Serra Alta, Teresina e Rio do Rasto (Grupo Passa Dois, Bacia do Paraná, Permiano) na região de Sapopema - São Jerônimo da Serra, PR.** 87p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 2003.
- MEGLHIORATTI, T. **Estratigrafia do Grupo Passa Dois na região de Sapopema-Congonhinhas/PR (Permiano, Bacia do Paraná).** 64p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2005.
- MEGLHIORATTI, T. **Estratigrafia de seqüências das formações Serra Alta, Teresina e Rio do Rasto (Permiano, Bacia do Paraná) na porção nordeste do Paraná e centro-sul de São Paulo.** 132p. Dissertação (Mestrado em Geologia Regional) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2006.
- MILANI, E. J. Comentários sobre a origem e evolução tectônica da Bacia do Paraná. In: MANTESSO-NETO V.; BARTORELLI A.; CARNEIRO C. D.R.; BRITTO-NEVES, B.B. (Eds.). **Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida.** São Paulo: Ed. Beca, cap. 16, p. 265-279, 2004.
- MOUNT, J. Mixed siliciclastic and carbonate sediments: a proposed first-order textural and compositional classification. **Sedimentology**, v. 32, p. 435-442. 1985.

- NG, C. & ROHN, R. Estromatólitos permianos da Formação Teresina em Prudentópolis. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 44, p. 1041-1041, 2008, Curitiba. **Anais...** Curitiba: SBG, 2008.
- PARSONS K.M.; BRETT, C. E.; MILLER, K. B. Taphonomy and depositional dynamics of Devonian shell-rich mudstones. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 63, p. 109-139, 1988.
- PETRI, S. & COIMBRA, A M. Estruturas sedimentares das Formações Irati e Estrada Nova (Permiano) e sua contribuição para a elucidação dos seus paleoambientes geradores, In: Congresso Latino-americano de Geologia, 5, v. 2, p. 353-371, 1982. **Actas...** 1982.
- RODRIGUES, R. & QUADROS, L.P. Mineralogia das argilas e teor de boro das formações paleozóicas da Bacia do Paraná. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 29, 1976, Ouro Preto. **Anais...** v. 2, p. 351-379, 1976.
- ROHN, R. **Evolução Ambiental da Bacia do Paraná durante o Neopermiano no leste de Santa Catarina e do Paraná.** 2v, 386p. Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.
- ROHN, R. A estratigrafia da Formação Teresina (Permiano, Bacia do Paraná) de acordo com furos de sondagem entre Anhembi (SP) e Ortigueira (PR). In: MELO, J.H.G. & TERRA, G.J.S. (eds.) **Correlação de seqüências Paleozóicas Sul-Americanas.** Ciência-Técnica-Petróleo. Seção: Exploração de Petróleo, 20: p. 209-218, 2001.
- ROHN, R. The Passa Dois Group (Paraná Basin, Permian): investigations in progress. In: Workshop - Problems in the Western Gondwana Geology, South America - Africa correlations: du Toit revisited, 1, p. 151-157, 2007, Gramado. **Extended Abstracts...** Porto Alegre: UFRGS, 2007.
- ROHN, R. & FAIRCHILD, T. Estromatólitos Permianos em calcário coquinóide do Grupo Passa Dois, Nordeste do Paraná. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 58, n. 3, p. 433-444, 1986.
- ROHN, R.; LOURENÇO, A.T.A.; MEGLHIORATTI, T. As formações Serra Alta, Teresina e Rio do Rasto no furo de sondagem SP-23-PR (Permiano, Grupo Passa Dois, Borda Leste da Bacia do Paraná). In: Congresso Brasileiro de P & D em Petróleo e Gás, 2, p. 40-40, 2003, Rio de Janeiro. **Resumos...** Rio de Janeiro: UFRJ, Petrobras. 2003.

- RÖSLER, O. Novo afloramento fossilífero (Rio Preto) da Formação Teresina (Permiano Superior) no Estado do Paraná. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 54, n. 1, 252p., 1982.
- RUNNEGAR, B. & NEWELL, N. D. Caspian-like relict molluscan fauna in South American Permian. **Bulletin of American Museum of Natural History**, Nova York, v. 146, p.1-66, 1971.
- SANER, S.; BABALOLA L. O; ABDULGHANI W. M. Overburden compaction and pseudo-micritization; the most effective pore-deteriorating processes in the carbonate reservoirs. In: **Annual Meeting American Association of Petroleum Geologists**, 14. Abstracts volume, AAPG. P. A122. 2005.
- SIMÕES, M. G. Tafonomia, "time-averaging" e resolução espacial de concentrações fossilíferas internamente complexas: um estudo de casos do Permiano, Bacia do Paraná- Brasil e suas implicações paleoecológicas. **Tese (Livre docência)** – Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1998.
- SIMÕES, M. G. & KOWALEWSKI, M. Shell beds as paleoecological puzzles: a case study from the Upper Permian on the Paraná Basin, Brazil. **Fácies**, Erlangen, v. 38, p. 175-196, 1998.
- SIMÕES, M. G. & GHILARDI, R. P. Protocolo tafonômico/paleoautoecológico como ferramenta na análise paleossinecologica. **Pesquisas em Geociências**, Porto Alegre, v. 27, n. 2, p. 3-13, 2000.
- SIMÕES, M. G. & TORELLO, F. F. Modelo de tafofácies para os moluscos bivalves do Grupo Passa Dois (Formações Serra Alta, Teresina e Corumbataí), Permiano Superior, Bacia do Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, Brasília, v. 33, n. 3, p. 1-10, 2003.
- SIMÕES, M.G.; TORELLO, F.F.; ROCHA-CAMPOS, A.C. Gênese e classificação da coquina de Camaquã, Formação de Corumbataí (Neopermiano), na Região de Rio Claro, SP. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, São Paulo, v. 68, n. 4, p. 545-557, 1996.
- SIMÕES, M. G.; ROCHA-CAMPOS, A. C.; ANELLI, L.E. Paleoecology and evolution of Permian pelecypod assemblages (Paraná Basin) from Brazil. In: JOHNSTON, P.A. & HAGGART, J. W. (Eds.) **Bivalves - An Eon of evolution - Paleobiological studies honoring Norman D. Newell**. Calgary: University of Calgary Press. p. 443-452, 1998.
- SIMÕES, M.G.; NEVES, J.P.; ROHN, R. Sedimentologic and paleoenvironmental significance of the biogenic stratification on Permian micritic limestones (Teresina Formation), Paraná

- Basin, Brazil. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 44, 2008, Curitiba. **Anais...** Curitiba: SBG. p 1048, 2008.
- SIMÕES, M. G.; MARQUES A. C.; MELLO, L. H. C.; ANELLI, L. E. Phylogenetic analysis of the genera of the extinct family Megadesmidae (Pelecypoda, Anomalodesmata), with remarks on its paleoecology and taxonomy. **Journal of Comparative Biology**, Ribeirão Preto, v. 2, p. 75-90, 1997.
- SIMÕES, M. G; TORELLO, F. F.; MELLO, L.H.C., GHILARDI, R.P. O conteúdo fossilífero de novos afloramentos do Grupo Passa Dois (Neopermiano), nas porções centro sul e nordeste do Estado de São Paulo: implicações bioestratigráficas e paleoecológicas. **Acta Geologica Leopoldensia**, São Leopoldo, v. 23, n. 50, p. 61-90, 2000.
- STRASSER, A. Ooids in Purbeck Limestones (Lowermost Cretaceous) of the Swiss and French Jura. **Sedimentology**, 33: p. 711-727, 1986.
- SUGUIO, K.; SALATI, E.; BARCELOS, J.H. Calcários oolíticos de Taguaí (SP) e seu possível significado paleoambiental na deposição da Formação Estrada Nova. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 4, p. 142-166, 1974.
- TAVARES, T.M.V. & ROHN, R. 2009. First record of petrified Permian pecopterids from the Paraná Basin, Brazil (Corumbataí Formation, Passa Dois Group, northeastern State of São Paulo): Morphology, anatomy and paleoecological implications. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 27, p. 60-73, 2009.
- TORELLO, F. F. **Bioestratinomia de concentrações fossilíferas da assembléia de *Pinzonella neotropica* (Read) Formação Corumbataí (Permiano), Tambaú, São Paulo.** 130p. Dissertação (Mestrado em Geologia Sedimentar) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1999.
- TORELLO, F. F. & SIMOES, M. G. Características tafonômicas da assembléia de *Pinzonella illusa* Reed, Formação Corumbataí (Neopermiano), Bacia do Paraná, Brasil. **Acta Geoógica. Lepondensia**, São Leopoldo, v. 39, p. 159-173, 1994.
- TUCKER, M. E. **Sedimentary Petrology – An introduction to the origin of sedimentary rocks.** 3 ed. Blackwell, 252 p. 1992.
- TUCKER, M. E. & WRIGHT, V.P. **Carbonate sedimentology.** Oxford: Blackwell Scientific, 482p. 1990.

WESSELINGH, F.P. Long-lived lake molluscs as island faunas: a bivalve perspective. In: RENEMA, W. (ed.). **Biogeography, time and place: distributions, barriers and islands.** Dordrecht: Springer, v. 1, cap. 9, p. 275-314, 2007.