



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ**  
**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA**

---

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**PALEOAMBIENTE DOS CALCÁRIOS E FOLHELHOS**  
**BETUMINOSOS DA FORMAÇÃO GUIA, NEOPROTEROZÓICO,**  
**SUDOESTE DO ESTADO DO MATO GROSSO**

**Dissertação apresentada por**

**LUCIANA CASTRO BRELAZ**

**Orientador: Prof. Dr. Afonso César Rodrigues Nogueira (UFPA)**

**Corientadora: Dra. Renata Lourenço Lopes (UFPA)**

---

**BELÉM – PA**  
**2012**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

---

B835p Brelaz, Luciana Castro

Paleoambiente dos calcários e folhelhos betuminosos da Formação Guia, Neoproterozóico, SW do estado do Mato Grosso / Luciana Castro Brelaz; Orientador: Afonso César Rodrigues Nogueira; Coorientadora: Renata Lourenço Lopes – 2012  
xvii, 64 f.: il.

Dissertação (mestrado em geologia) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2012.

1. Sedimentologia. 2. Geologia estratigráfica. 3. Formação Guia. I. Nogueira, Afonso César Rodrigues, *orient.* II. Lopes, Renata Lourenço, *coorient.* III. Universidade Federal do Pará. IV. Título.

CDD 22° ed.: 551.3098172

---



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ**  
**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**  
Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

**PALEOAMBIENTE DOS CALCÁRIOS E FOLHELHOS  
BETUMINOSOS DA FORMAÇÃO GUIA,  
NEOPROTEROZÓICO, SUDOESTE DO ESTADO DO MATO  
GROSSO**

**DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR**


**LUCIANA CASTRO BRELAZ**

**Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em Ciências na Área de  
GEOLOGIA**

**Data de Aprovação: 02 / 05 / 2012**

Banca Examinadora

  
Prof. Dr. Afonso César Rodrigues Nogueira  
(Orientador-UFGPA)

  
Prof. Dr. Thomas Rich Fairchild  
(Membro-USP)

  
Prof. Dr. Werner Truckenbrodt  
(Membro-UFGPA)

*Aos meus amados pais:  
Luciene de Paiva Castro e  
Reinivaldo Araújo Brelaz*



## AGRADECIMENTOS

À Deus, sempre em primeiro lugar, porque tudo pertence a Ti, Senhor, e nada acontece fora da Tua vontade;

Aos meus pais, pelo apoio, amizade, dedicação e amor imensurável e incondicional que dedicam a mim dia após dia;

Ao Programa de Recursos Humanos da Agência Nacional do Petróleo (PRH / ANP-06) pela concessão da bolsa de mestrado;

Ao meu orientador, Afonso Nogueira, que se dispôs a me orientar e me aguentar durante os últimos 4 anos... Obrigada pela confiança que depositaste em mim! Sou grata pelas várias lições transmitidas (geológicas e geoloucas), por todos os ralhos e pelos inúmeros risos que fizeram toda esta jornada, apesar dos pesares, valer muito a pena! Poucas pessoas eu amei e odiei ao mesmo tempo! (minha pequena declaração a pedidos deste indignado Dr.);

A Dr<sup>a</sup> Renata Lopes, por me apresentar a Paleobiologia do Pré-Cambriano, um campo fascinante e intrigante, que me fez aceitar este desafio de estudar a vida na sua forma mais primitiva;

Aos professores Dr. Cândido Moura e Dr. José Augusto Martins, que por meio do projeto “Estudo geoquímico da ocorrência de hidrocarbonetos em carbonatos do Neoproterozóico do Sudeste do Cráton Amazônico e Norte da Faixa Paraguai”, financiado pela Rede Geoquímica da Petrobrás, cooperaram para a realização das viagens de campo e no custeio das análises laboratoriais;

Ao INCT-GEOCIAM, pelo auxílio financeiro em viagens de campo;

Aos amigos que me auxiliaram diretamente nas atividades de campo e no decorrer da elaboração deste trabalho: João Neto, Eduardo Souza, Fábio Domingos, José Bandeira, Joelson Soares e Isaac Rudnitzki;

A Joelma Lobo na confecção das lâminas que lhe renderam infinitas horas de trabalho;

Ao Maurício Borges, pelo amor, paciência, força e incentivos constantes durante esses três anos de caminhada;

Aos demais amigos (não menos importantes): Priscila Amaral, Luiz Saturnino, John Sandoval, Manuely Neves, Liliane Araújo, Gabriela Pantoja, Gilvana Soledade, Natasha Teixeira, Hudson Santos, Cleber Rabelo e Latino (Francisco Abrantes), por todos os momentos de “descontração” (que não foram poucos...);

Ao meu pastor, Mesaque Rêgo, pelos valiosíssimos conselhos que me mantiveram no foco. Suas palavras abençoadas por Deus cooperaram para que eu chegasse até aqui;

A minha família e a Primeira Igreja Batista do Centenário, meus pilares, pelas orações e pela confiança que sempre tiveram em mim. Essa conquista pertence a cada um que aqui foi citado, pois sozinho não se chega a lugar algum.

*“De tudo ficaram três coisas:  
A certeza de que estamos sempre começando  
A certeza de que precisamos continuar  
A certeza de que seremos interrompidos antes de terminar.  
Portanto devemos:  
Fazer da interrupção um caminho novo  
Da queda, um passo de dança  
Do medo, uma escada  
Da procura, um encontro.”*

**Fernando Pessoa**

## RESUMO

A implantação de extensas plataformas carbonáticas após a última glaciação do Criogeniano (~ 635 M.a.) é relatada em diversas partes do globo em resposta à súbita elevação da temperatura global, concomitante ao degelo das coberturas glaciais responsáveis por eventos transgressivos globais. No Brasil, um dos melhores exemplos de depósitos transgressivos pós-glaciação de idade Ediacarana (630 - 580 M.a.) é a Formação Guia, unidade calcária do Grupo Araras, exposta por centenas de quilômetros no segmento Norte da Faixa Paraguai e Sul do Cráton Amazônico. A Formação Guia consiste predominantemente de calcários e folhelhos betuminosos, com espessura de mais de 400 m. A partir da análise faciológica e estratigráfica das pedreiras situadas nas regiões de Cáceres, Nobres e Cuiabá, foram individualizadas oito litofácies, agrupadas em três Associações de Fácies (AF), representativas de uma plataforma carbonática retrogradante: AF1- *face de praia inferior* influenciada por tempestades, AF2- *costa afora* e AF3- *costa afora externa inclinada*. AF1 alcança espessuras de aproximadamente 160 m e incluem margas e calcários finos com abundantes grãos terrígenos e estruturas produzidas por fluxo oscilatório e combinado, relacionado a ondas de tempo bom e de tempestades. AF2 compreende os mais espessos depósitos da Formação Guia, com quase 200 m. É constituída por calcário cinza com partição de folhelho e abundante matéria orgânica. A notável a monotonia litológica e estrutural, refletida na continuidade lateral de camadas tabulares de calcário intercalado a delgadas lâminas de folhelho por centenas de quilômetros, denota que a sedimentação hemipelágica ocorreu em condições de baixa energia, abaixo da base de ondas de tempestades na zona de costa afora. A grande quantidade de material orgânico acumulado nestas rochas associado à presença de pirita revela a natureza anóxica e estagnante das águas na plataforma carbonática. Palinomorfos na AF2 compreendem poucas espécies de leiosferídeos, simples acritarcos esferomorfos indeterminados e prováveis fragmentos de algas. A coloração marrom do material orgânico amorfo e de acritarcos indica grau moderado de maturação. A raridade de formas orgânicas bem preservadas e a grande quantidade de matéria orgânica amorfa revelam moderada degradação. AF3 apresenta depósitos com até 70 m de espessura. É composta por brechas calcárias com clastos tabulares e feições de escorregamento, intercaladas a camadas tabulares de calcário fino. As brechas, de natureza intraformacional, foram formadas por fluxos gravitacionais de massa gerados pela instabilidade de carbonatos em zonas externas plataformais. Estes fluxos gravitacionais episódicos se alternaram com sedimentação hemipelágica cíclica (formando lama micrítica e terrígena). Para a definição da morfologia da

plataforma, três aspectos foram considerados: 1) a transição vertical dos depósitos de águas rasas (*shoreface*) para de águas profundas (*offshore*) sem mudança abrupta de fácies, 2) a ausência de estruturas deformacionais rúpteis sinsedimentares (falhas e de depósitos de deslizamento) e 3) a extensão por centenas de quilômetros destes depósitos. Todas estas feições são diagnósticas de plataformas em rampa do tipo homoclinal. A presença de uma ampla plataforma carbonática na margem do Cráton Amazônico durante o Ediacarano, sítio deposicional de lama carbonática rica em matéria orgânica, abre perspectivas para a prospecção de rochas geradoras de um provável sistema petrolífero neoproterozóico, desenvolvido na região central do Brasil.

Palavras-chave: sedimentologia, geologia estratigráfica, Formação Guia

## ABSTRACT

The establishment of large carbonate platforms worldwide linked to the sudden increase in global temperature after the last Cryogenian glaciation (~ 635 Ma) was concomitant with the ice-melting and transgressive events. In Brazil, one of the best examples of these post-glacial transgressive Ediacaran deposits is the Guia Formation, the calcareous unit of Araras Group, exposed for hundreds of kilometers in the North Paraguay Belt and Southern Amazon Craton. The Guia Formation consists predominantly of limestone and bituminous shale, more than 400 m thick. It was investigated in open pits of quarries in the Cáceres, Nobres and Cuiabá region, southwestern of the State of Mato Grosso, Brazil. The facies and stratigraphic analysis of the Guia Formation allowed recognizing of three facies associations (FA) representative of a retrogradational platform succession: FA1- *lower shoreface influenced by storms*, FA2- *proximal offshore* and FA3- *distal offshore with slope facies*. The association FA1 up to ~ 150 m thick, and includes marl and grey terrigenous-rich fine-grained limestone with megaripple bedding, wavy bedding and hummocky cross-stratification, produced by oscillatory and combined flow related to fairweather and storms wave in the shoreface zone. The association FA2 corresponds to the thickest deposits of the Guia Formation, reaching almost 200 m in thickness and consists of grey to black organic-rich ribbon limestone interbedded with shale. The remarkable lateral monotonous continuity of these deposits, extensive by hundreds of kilometers, suggests low energy conditions, below the storm wave base, related to the offshore zone. The large amount of organic material accumulated in these deposits associated with pyrite crystals implies stagnant and anoxic deep waters. Palynomorphs in these facies include a few species of leiosphaerids, indeterminate sphaeromorph acritarchs and probable algae fragments. The brown colour of amorphous organic material and acritarchs indicates moderate degree of maturation. The rarity of preserved organic forms and the large amount of amorphous organic matter indicate moderate degree of degradation. The association AF3 has 70 m thick and consists of limestone breccias with tabular clasts and slump features interbedded with fine-grained limestone. The intraformational breccias were formed by gravity flows generated during instability of carbonates in the distal offshore zone. These episodic gravity flows alternated with cyclic hemipelagic sedimentation (forming lime and terrigenous mud). Three aspects were considered to define the morphology of the platform: 1) the transition from shallow to deep deposits without an abrupt facies change; 2) the absence of brittle sedsedimentary deformation; and 3) the lateral continuity of these deposits over hundreds of kilometers, suggesting sedimentation in a homocline ramp. The existence of a

wide carbonate ramp in the margin at the Amazon Craton during the Ediacaran, site of organic matter-rich lime mud deposition, opens perspectives for prospection of source rocks of a probable Neoproterozoic petroliferous system developed in the Central Brazil region.

*Keywords: sedimentology, stratigraphic geology, Guia Formation.*

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 – Mapa de localização das pedreiras estudadas..... 3
- Figura 2 – Espectro de arcabouço suportado por grãos e matriz em rochas rudáceas..... 6
- Figura 3 – Fluxograma das etapas de preparação de seções delgadas para análise palinológica.....7
- Figura 4 – Escala do tempo geológico com ênfase no Neoproterozóico. A) antiga subdivisão do Neoproterozóico segundo a Comissão Internacional de Estratigrafia (2000). B) Atual subdivisão, com a substituição do termo Neoproterozóico III por Ediacarano e síntese dos principais eventos ocorridos durante o final do Neoproterozóico e início do Cambriano..... 8
- Figura 5 – Modelos paleogeográficos para períodos distintos no Neoproterozóico. A) supercontinente Rodínia, totalmente estabilizado em 900 M.a. Em 720 M.a. o processo de fragmentação do Rodínia pela ação de superplumas resulta na criação de vários blocos continentais. As estrelas em rosa demarcam os paleocontinentes com registros da glaciação Esturtiana. Em 630 M.a. ocorrem os pulsos finais de ruptura do Rodínia, com a separação do bloco Amazônia do supercontinente Laurentia. As estrelas amarelas demarcam as áreas com ocorrência de depósitos glaciogênicos da Glaciação Marinoana. O posterior fechamento do Oceano Climeane, que separou o bloco Amazônia dos blocos Rio de La Plata e São Francisco-Congo em 630 M.a., gerou a Faixa Paraguai, com estabilização dos eventos orogênicos concomitantes a consolidação do supercontinente Gondwana, em 530 M.a. B) reconstrução paleogeográfica durante o Criogeniano - Ediacarano. 1) cinturões de dobramento marginais; 2) remanescentes ofiolíticos; 3) arcos magmáticos; 4) cinturões vulcanossedimentares; 5) coberturas sedimentares fanerozóicas e áreas desconhecidas. Siglas - AM: Amazônia, SL – WA: S. Luís- Oeste África, PR: Parnaíba, RN: Rio Grande do Norte, CGT: Central Goiás – Tocantins, SFCKA: São Francisco – Congo – Angola, PP: Paranapanema, KAL: Kalahari, RP: Rio de La Plata, PA: Pampia, AA – Arequipa, Ks: fragmentação do Cretáceo superior.. 11
- Figura 6 – Sequências de litologias e estruturas sedimentares em depósitos de capas carbonáticas pós-marinoanas..... 13
- Figura 7 – Exemplo de acritarcos de Officer Basin, Austrália: A) esferomorfo simples do gênero *Leiosphaeridia* sp.; B) acantomorfo circular da espécie *Appendisphaera tabifica*, com processos finos projetados ortogonalmente a partir da parede celular. .... 14
- Figura 8 – Composição das principais assembléias microfossilíferas (eixo x) versus quantidade de táxons (eixo y) dos fósseis eucariontes não-metazoários do Proterozóico ao Cambriano Inferior de várias partes do mundo. Destaque às assembléias 5 (Grupo Roper, Austrália), 18 (Grupo Ungoolya, pós- Marinoano, Austrália) 19 (Formação Doushantuo, China), 20 (Formação Pertatataka, Austrália). .... 15
- Figura 9 – Biozoneamento em palinofloras de acritarcos pós - marinoanos (Ediacarano) da Austrália. .... 17



Figura 10 – A) Mapa representativo da Província Tocantins, com destaque ao segmento Norte da Faixa Paraguai. B) Seção geológica esquemática W - E e C) Mapa geológico da porção Norte da Faixa Paraguai, em C' legenda referente às unidades geológicas em C..... 19

Figura 11 – Coluna litoestratigráfica correspondente aos depósitos sedimentares aflorantes no segmento Norte da Faixa Paraguai, com destaque a Formação Guia. .... 23

Figura 12 - Holoestratótipo da Capa Carbonática Araras localizada na mina Terconi, região de Mirassol d'Oeste (MT). A) Visão geral das paredes de lavra atualmente desativada. B) Contato abrupto entre os dolomitos da Formação Mirassol d'Oeste e os calcários da Formação Guia. C) Leques de pseudomorfs de aragonita e laminações milimétricas de calcário e folhelho constituem a base da formação Guia, porção calcária da capa carbonática. D) Fotomicrografia da microfácies mudstone calcífero com laminação de grãos terrígenos (nicóis X). E) fotomicrografia da microfácies cementstone, com abundantes leques de cristais e crostas de calcita. .... 25

Figura 13 - Acumulação de hidrocarbonetos em bolsões cimentados por calcita (A) e em fraturas cimentadas por calcita e dolomita barroca (B) nos calcários Guia. .... 26

Figura 14 – Mapa geológico da porção Norte da Faixa Paraguai, modificado de Nogueira (2003). Os números localizam as pedreiras estudadas - 1) EMAL-CAMIL, 2) Carmelo, 3) COPACEL e 4) Sinclinal da Guia. Quadro litoestratigráfico correspondente aos depósitos sedimentares aflorantes no segmento Norte da Faixa Paraguai, com destaque a Formação Guia. # Datação U-Pb em zircão detrítico. \*Datação Pb-Pb em carbonato. .... 31

Figura 15 – Perfis estratigráficos da Formação Guia obtidos a partir de afloramentos em frentes de lavra nos municípios de Cáceres (A / B), Nobres (C) e Ns<sup>a</sup>. Sr<sup>a</sup>. da Guia (D), sudoeste do estado do Mato Grosso..... 35

Figura 16 – Aspectos litológicos e estratigráficos das zonas de contato da Formação Guia. A) Diamictito referente à Formação Puga, a 15 m das primeiras camadas de calcário da Formação Guia, Mina Copacel, Nobres. O contato direto entre as duas formações não foi observado, e, portanto, foi inferido a partir das medidas de campo. B) Fotomicrografia do diamictito, com litoclastos imersos em matriz areno-argilosa. C) Contato litoestratigráfico entre as formações Serra do Quilombo e Guia, marcado por brechas dolomíticas cimentadas; pedreira EMAL-CAMIL, Cáceres. C') foto de detalhe das brechas cimentadas, com clastos tabulares e estruturas sedimentares ainda preservadas. .... 36

Figura 17 – Litofácies da AF1. A) Truncamento entre marcas onduladas de cristas angulosas e sinuosas da fácies Cmo. B) Desenho esquemático da foto em A. C) Calcário da fácies Ch. D) Desenho esquemático da foto em C, com destaque a estratificação cruzada hummocky. E) Calcário alternado com marga (níveis ondulados com tons amarelados) da fácies Cao. F) Fotomicrografia da fácies Cmo com laminações inclinadas constituídas por grãos terrígenos finos. G) Fotomicrografia dos níveis com marga da fácies Cao, composta por abundantes

grãos terrígenos, dolomita e partições de dissolução impregnados por hidrocarbonetos. H) Calcário da fácies Cao com laminação formada por grãos terrígenos e ooides / peloides. .... 38

Figura 18 – Litofácies da associação AF2. A) Seção panorâmica da Mina Copacel - Nobres. As siglas correspondem as fácies: Cpf – calcário com partição de folhelho, Cl – calcário laminado e Bc – brecha calcária. B) Foto de detalhe do retângulo em A, com as fácies Cpf e Cl. C) calcário com pseudolaminação formada por partições de dissolução paralelas entre si. D) fotomicrografia da fácies Cl, formada por calcita microespática com grãos terrígenos, estilólitos e partição de dissolução impregnados por hidrocarbonetos e óxido-hidróxido de ferro..... 41

Figura 19 – Litofácies da AF3. A) Brecha calcária com empacotamento frouxo e clastos tabulares (Bt). B) Brecha com feições de escorregamento (Be). Seta branca indica acumulações de hidrocarbonetos em estilólitos. C) Brecha calcária com arcabouço fechado (Bc). D) Fotomicrografia de brecha da fácies Bc, com clastos irregulares e alongados, formados por microesparito a pseudoesparito, delimitados por limites estilolíticos. E) Substituição de calcita microespática por dolomita barroca (seta em preto). F) Porosidade intercrystalina (seta amarela) associada à dolomita..... 43

Figura 20- Modelo deposicional da Formação Guia, com sedimentação em plataforma do tipo rampa..... 46

Figura 21- Tratos de sistemas interpretados para a Formação Guia no sul do Cráton Amazônico e Norte da Faixa Paraguai..... 49

Figura 22 – Leiosferídeos da espécie *L. crassa* e *L. minutíssima*..... 51

Figura 23 – Distribuição da frequência de acritarcos (leiosferídeos e indeterminados) em número de indivíduos pelo intervalo de diâmetros mensurados. As barras em amarelo demonstram uma acentuada bimodalidade no diâmetro dos indivíduos, com duas populações bem marcantes: uma com diâmetro entre 16 a 20  $\mu\text{m}$  e a outra com diâmetro entre 36 a 40  $\mu\text{m}$ . Isso pode sugerir duas espécies distintas de acritarcos com base apenas na dimensão das vesículas. *L. minutíssima* corresponderia à população com menor diâmetro, entre 16 e 20  $\mu\text{m}$ , e *L. crassa* a população com maior diâmetro, entre 36 e 40  $\mu\text{m}$ . ..... 52

Figura 24– A – F) Acritarcos esferomorfos indeterminados, parcialmente degradados. G – I) formas filamentosas bastante degradadas. .... 53

Figura 25 – A) Abundante matéria orgânica amorfa com tons amarronzados, os quais denotam moderado grau de maturação da matéria orgânica. B) Acritarco acantomorfo indeterminado, com pequenos prolongamentos quase ortogonais a parede vesicular do indivíduo. .... 54

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Associações de fácies, litofácies, microfácies e processos deposicionais pertencentes à Formação Guia no segmento Norte da Faixa Paraguai. ....	37
--	----

## SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>v</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>viii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>x</b>
<b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES</b> .....	<b>xii</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>xv</b>
<b>SUMÁRIO</b> .....	<b>xvi</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1 APRESENTAÇÃO .....	1
1.2 LOCALIZAÇÃO E ACESSO À ÁREA DE TRABALHO .....	2
1.3 OBJETIVOS .....	2
1.4 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO .....	4
<b>2 MÉTODOS</b> .....	<b>5</b>
2.1 ANÁLISE DE FÁCIES.....	5
2.2 ANÁLISE PETROGRÁFICA .....	5
2.3 ANÁLISE ESTRATIGRÁFICA .....	6
2.4 ANÁLISE PALINOLÓGICA.....	6
<b>3 O NEOPROTEROZÓICO</b> .....	<b>8</b>
3.1 PALEOGEOGRAFIA .....	9
3.2 GLACIAÇÕES .....	10
3.3 PALEOBIOLOGIA.....	13
<b>4 CONTEXTO GEOLÓGICO</b> .....	<b>18</b>
4.1 FAIXA PARAGUAI.....	18
4.2 GRUPO ARARAS .....	20
4.2.1 Trabalhos anteriores .....	20
4.2.2 Litoestratigrafia.....	21
4.2.3 Idade .....	22
4.2.4 Formação Guia.....	24
<b>5 A PLATAFORMA CARBONÁTICA DA FORMAÇÃO GUIA, EDIACARANO DA FAIXA PARAGUAI NORTE, ESTADO DO MATO GROSSO, BRASIL</b> .....	<b>27</b>
5.1 RESUMO.....	27
5.2 ABSTRACT .....	27
5.3 INTRODUÇÃO .....	28
5.4 FAIXA PARAGUAI.....	29
5.5 MÉTODOS .....	32
5.6 FORMAÇÃO GUIA .....	32
5.6.1 Aspectos gerais e base de dados .....	32
5.6.2 Associações de fácies.....	33

5.6.2.1 AF1 – Face de praia inferior ( <i>lower shoreface</i> ).....	33
5.6.2.2 AF2 – Costa afora ( <i>offshore</i> ) .....	39
5.6.2.3 AF3 – Costa afora externa inclinada ( <i>distally-steepened offshore</i> ) .....	40
5.7 MODELO DEPOSICIONAL .....	44
5.8 CONCLUSÕES .....	47
<b>6 TRATOS DE SISTEMAS.....</b>	<b>48</b>
<b>7 MICROFÓSSEIS DA FORMAÇÃO GUIA .....</b>	<b>50</b>
7.1 PALINOMORFOS.....	50
7.2 O REGISTRO DE ACRITARCOS E A GLACIAÇÃO MARINOANA .....	54
7.3 ORIGEM DA MATÉRIA ORGÂNICA DA FORMAÇÃO GUIA .....	55
<b>8 CONCLUSÕES FINAIS.....</b>	<b>56</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>58</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 APRESENTAÇÃO

O Neoproterozóico corresponde a um período com drásticas e abruptas mudanças climáticas, registradas em diversos depósitos sedimentares no mundo (Hoffman e Schrag, 2002). Um dos aspectos geológicos mais intrigantes é a associação de rochas de origem glacial com extensas plataformas carbonáticas de clima quente, disseminadas em diversas partes do globo, em resposta à súbita elevação da temperatura global concomitante ao degelo das coberturas glaciais que promoveram eventos transgressivos (Allen e Hoffman, 2005). Também pertinente ao Neoproterozóico é a existência de rochas carbonáticas ricas em matéria orgânica, associadas a *plays* de petróleo, encontradas em diversos países como Oman, Mauritânia, Rússia, Austrália e Estados Unidos (Craig *et al.*, 2006).

No Brasil, um dos melhores exemplos de depósitos carbonáticos transgressivos pós-glaciação global de idade Ediacarana (630 - 580 Ma), relacionados à última glaciação do Criogeniano (ou Glaciação Marinoana) é a Formação Guia, exposta por centenas de quilômetros no segmento Norte da Faixa Paraguai e Sul do Cráton Amazônico. A Formação Guia, pertencente ao Grupo Araras e objeto deste estudo, representa uma sucessão constituída por calcários e folhelhos com espessuras superiores a 400 m, excepcionalmente ricos em matéria orgânica de origem ainda pouco compreendida (Nogueira *et al.*, 2001). Devido sua possível potencialidade para geração de hidrocarbonetos, a Formação Guia está atualmente incorporada ao rol de prováveis rochas geradoras da Bacia dos Parecis (ANP, 2008).

A Formação Guia possui grande importância para o entendimento das condições paleoambientais que regeram o final do Neoproterozóico principalmente por favorecer a preservação de microfósseis, fornecendo informações sobre a diversificação das primeiras formas de vida. Além disso, estas características apontam para a acumulação e preservação da matéria orgânica, despertando estudos acerca de sua aplicabilidade para a indústria do petróleo. O incipiente entendimento e a complexidade geológica destes depósitos foram os principais desafios para a definição do arcabouço faciológico e estratigráfico, para a compreensão dos processos e ambientes deposicionais envolvidos, bem como para a identificação da matéria orgânica acumulada nestas rochas.

Em virtude disto, a presente dissertação visou o estudo paleoambiental da Formação Guia, com base na análise de fácies e estratigráfica em combinação com o estudo microfossilífero, para a reconstituição do sistema marinho pós-criogeniano e identificação do tipo de matéria orgânica, que serviu de fonte para os hidrocarbonetos do Grupo Araras.

## 1.2 LOCALIZAÇÃO E ACESSO À ÁREA DE TRABALHO

As áreas de trabalho estão situadas na região Centro-Oeste do Brasil, na porção sudoeste do estado do Mato Grosso, abrangendo a região de Guia, distrito da capital Cuiabá e os municípios de Nobres, distante cerca de 142 Km da capital do estado, e Cáceres, à 214 Km da referida capital (Figura 1).

Em Cuiabá, grandes e extensas exposições dos calcários da Formação Guia são encontradas nas frentes de lavra Caieira Mineração Guia, localizada no Km 26 da rodovia MT - 010, à 30 Km NW da capital (Lima, 2008). Em Nobres, a frente de lavra destes calcários acham-se na mina COPACEL – Unidade 2, pertencente ao grupo COPACEL Indústria e Comércio de Calcário e Cereais Ltda, situada no Km 477 da rodovia BR - 163, distante cerca de 6 Km do centro de Nobres (Lima, 2008). Em Cáceres, as exposições encontram-se em duas minas: a primeira referente a mina EMAL - Unidade Camil, pertencente a Empresa de Mineração Aripuanã Ltda (EMAL), situada no Km 708 da rodovia BR - 070, distante 20 Km da sede municipal; e a segunda referente a mina Calcário Carmelo, com acesso pelo Km 680 da BR - 070, distante cerca de 40 Km da sede municipal de Cáceres (Lima, 2008).

Todas estas frentes de lavra encontram-se na zona de dobramentos da porção norte da Faixa Paraguai e possuem produção de calcário agrícola, cal e brita. Os paredões resultantes da atividade mineira, atualmente em funcionamento, expõem excelentes perfis formados por rochas sem evidências de metamorfismo e com incipiente ou nenhuma evidência de alteração intempérica, ideais para os estudos desenvolvidos neste trabalho.

## 1.3 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho consiste em reconstituir o paleoambiente da porção distal da plataforma carbonática estabelecida às margens do Cráton Amazônico durante o Ediacarano (635 a 542 M.a.), na qual se depositaram os calcários e folhelhos da Formação Guia.

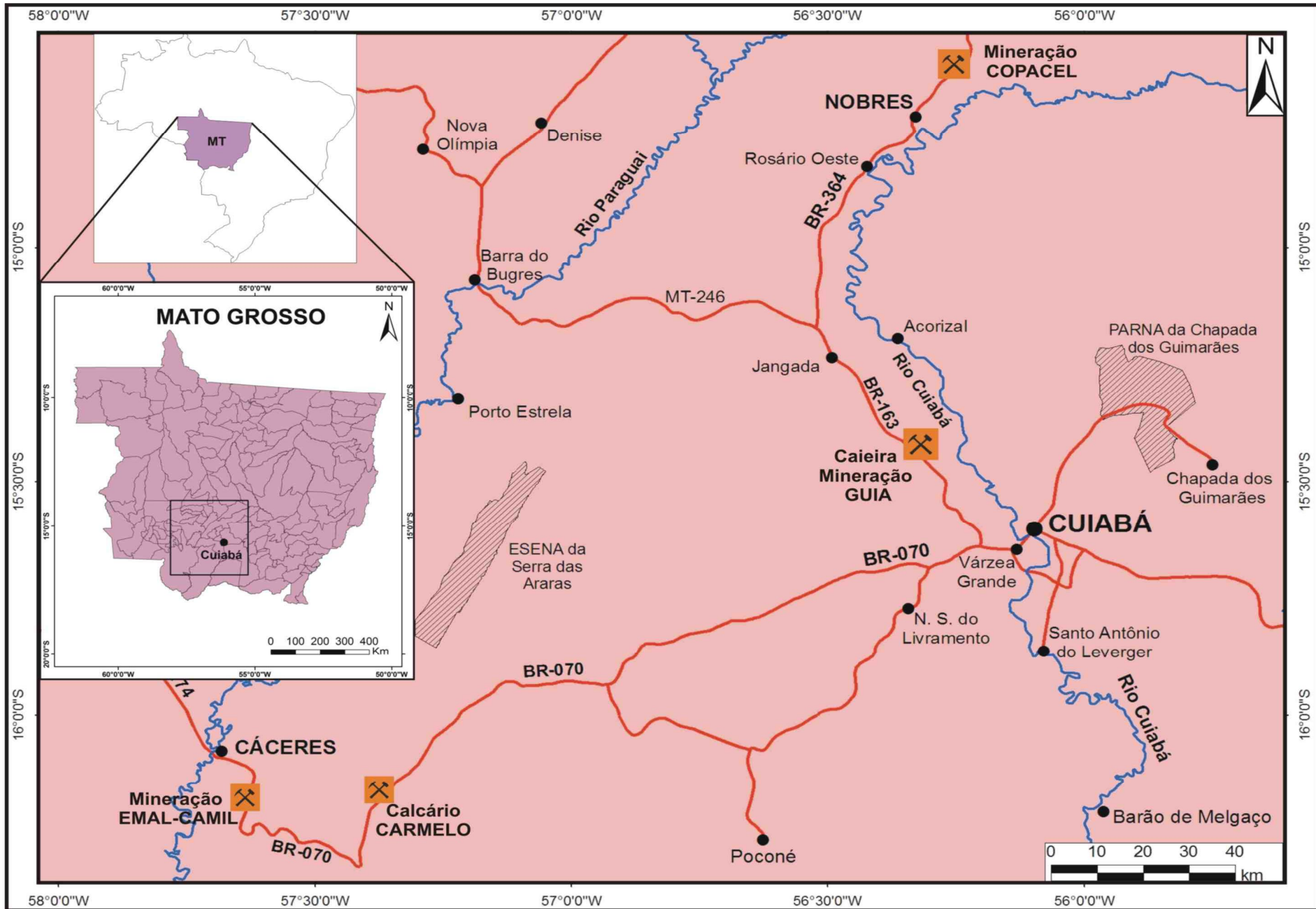


Figura 1 – Mapa de localização das pedreiras estudadas.



## 1.4 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação contém sete capítulos. O Capítulo 1 corresponde à Introdução, a qual aborda a apresentação da problemática, justificativa e relevância da pesquisa, bem como a localização da área de estudo e os objetivos. O Capítulo 2 refere-se aos métodos utilizados para viabilização dos objetivos traçados. O Capítulo 3 aborda os principais eventos geológicos ocorridos durante o Neoproterozóico relacionados à paleogeografia, glaciações e paleobiologia desta Era, correlacionando-os ao contexto da Faixa Paraguai e aos depósitos da Formação Guia. O Capítulo 4 abrange a geologia regional, com a descrição dos aspectos geológicos da Faixa Paraguai e Grupo Araras. O Capítulo 5 apresenta o artigo submetido à Revista Brasileira de Geociências, o qual traz a definição das fácies, estratigrafia e interpretação paleoambiental dos depósitos da Formação Guia. O Capítulo 6 trata acerca da palinologia da Formação Guia, contendo considerações quanto ao registro da glaciação marinoana nestes depósitos e uma breve avaliação a respeito da origem da matéria orgânica nesta unidade com base no conteúdo palinológico das rochas estudadas. Por fim, o Capítulo 7 encerra a dissertação com as conclusões finais e com as referências utilizadas no desenvolvimento deste trabalho.

## 2 MÉTODOS

### 2.1 ANÁLISE DE FÁCIES

A análise faciológica, proposta por Walker (1990), compreende aspectos como a individualização e descrição de fácies por meio da identificação da composição da rocha, geometria, texturas, estruturas sedimentares, definição de processos sedimentares e associação de fácies contemporâneas e cogenéticas, os quais agrupados refletem os ambientes sedimentares e os sistemas deposicionais envolvidos no contexto de plataformas carbonáticas.

A descrição de fácies foi auxiliada por perfis estratigráficos, seções panorâmicas, coleta sistemática de amostras e estudo petrográfico.

Os paleoambientes e os sistemas deposicionais foram representados em blocos - diagramas. As interpretações paleoambientais estão fundamentadas nas associações de fácies, geometria e em suas interrelações (Kerans e Tinker, 1997; Tucker e Wright, 1990; Walker e James, 1992).

### 2.2 ANÁLISE PETROGRÁFICA

O estudo petrográfico tem como objetivo a identificação dos constituintes deposicionais e diagenéticos, texturas e fábricas, e se constitui em uma ferramenta essencial para análise de fácies carbonáticas. Nesta análise foram utilizadas 52 seções delgadas sem lamínulas, analisadas no Laboratório de Petrografia Sedimentar do Grupo de Análises de Bacias Sedimentares da Amazônia – GSED da Universidade Federal do Pará (UFPA). As seções delgadas foram confeccionadas a partir de amostras sistematicamente coletadas a partir dos perfis estratigráficos levantados nas quatro pedreiras. Para a identificação da mineralogia, estas seções foram tingidas com alizarina vermelha S (0,2 g / 100 mL de 1,5% HCl) (Adams *et al.*, 1987).

A classificação das rochas carbonáticas seguiu a proposta petrográfica de Dunham (1962), cuja terminologia, difundida na indústria do petróleo, está baseada na proporção entre matriz e grãos que constituem o arcabouço da rocha e cujos termos refletem a energia do ambiente deposicional. Por outro lado, as brechas carbonáticas foram classificadas e interpretadas de acordo com o trabalho de Laznicka (1988), cuja obra sintetiza grande parte do conhecimento existente acerca de todos os tipos de brechas já estudados (Figura 2). Nesta obra, o autor lança mão das propostas de Embry e Klován (1971) e Dunham (1962) para nomear os diferentes tipos

de brechas. Quanto à petrografia de brechas, a obra contém sugestões de fácil aplicação na definição de aspectos texturais como forma, limite e orientação dos clastos, além de conter interpretações quanto aos processos genéticos e ambientes deposicionais destas rochas.

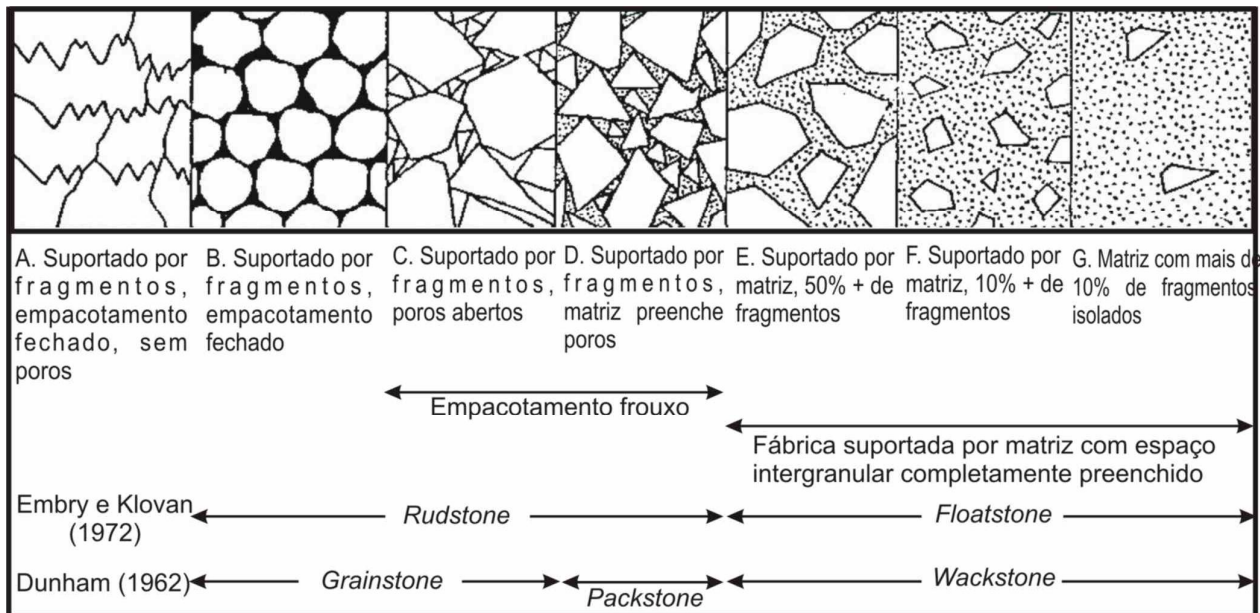


Figura 2 – Espectro de arcabouço suportado por grãos e matriz em rochas rudáceas.  
Fonte: Laznicka (1988)

## 2.3 ANÁLISE ESTRATIGRÁFICA

A análise faciológica dos calcários da Formação Guia foi avaliada a luz dos conceitos da estratigrafia de sequências (Catuneanu 2006; Kerans e Tinker, 1997; Mitchum e Van Vagoner, 1991; Ribeiro 2001; Vail 1987; Van Vagoner *et al.*, 1988). A utilização destes conceitos permitiu a definição de superfícies chaves, ciclos de sedimentação, tratos sistemas e, principalmente, a reconstituição arquitetural das fácies, de modo a contribuir para o entendimento da história evolutiva da plataforma carbonática desenvolvida na porção sul do Cráton Amazônico durante o final do Neoproterozóico.

## 2.4 ANÁLISE PALINOLÓGICA

A determinação dos microfósseis de parede orgânica foi realizada de acordo com a metodologia proposta por Grey (1999), desenvolvida para a extração de palinórfos mais comuns durante o Neoproterozóico, como os acritarcos e acantomorfos.

O método elaborado por Grey (1999) foi adaptado às condições litológicas das amostras estudadas. Os procedimentos adotados a este específico caso abrangem basicamente seis etapas: 1- limpeza, 2- desagregação, 3- remoção de carbonatos, 4- neutralização da solução com a fração insolúvel (matéria orgânica, minerais opacos, e poucos terrígenos), 5- acondicionamento de 100 ml da solução em frascos herméticos etiquetados e 6- preparação da lâmina (Figura 3). No total foram confeccionadas 27 seções palinológicas. Os procedimentos utilizados nesta análise foram realizados no Laboratório de Paleobiologia do Pré - Cambriano da Universidade Federal do Pará (UFPA). As lâminas confeccionadas foram analisadas com o auxílio de microscopia por luz transmitida.

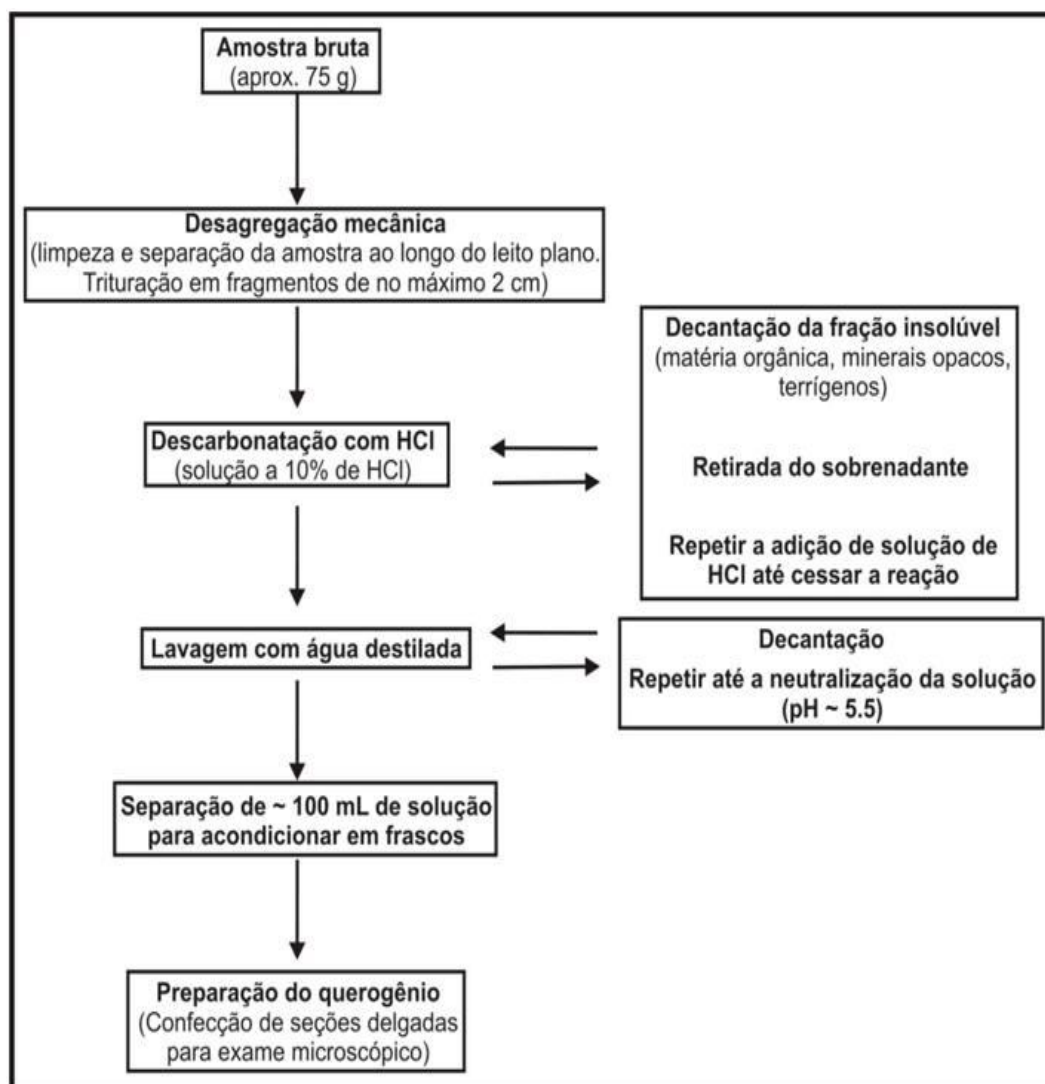


Figura 3 – Fluxograma das etapas de preparação de seções delgadas para análise palinológica.  
Fonte: Grey (1999)

### 3 O NEOPROTEROZÓICO

A Comissão Internacional de Estratigrafia (Gradstein *et al.*, 2004) subdividiu o Neoproterozóico em três períodos: Toniano (1000 a 850 M.a.); Criogeniano (850 a 630 M.a.) e Ediacarano (630 a 542 M.a.) (Figura 4). Os 458 M.a. desta Era foram marcados por drásticas mudanças paleoambientais como: 1) intensa migração de placas tectônicas; 2) glaciações globais; 3) precipitação abrupta de capas carbonáticas diretamente sobre diamictitos glaciais; 4) excursões isotópicas anômalas de C e O e; 5) inovações biológicas com surgimento e extinção de espécies (Knoll *et al.*, 2004). Estes são alguns dos exemplos mais notórios e intrigantes ocorridos ao final do Pré-Cambriano.

Assim, este capítulo aborda os principais eventos relacionados à paleogeografia, às glaciações e à paleobiologia do Neoproterozóico, com ênfase no Ediacarano. O intuito foi fornecer o contexto paleoambiental que condicionou a deposição dos calcários e folhelhos betuminosos da Formação Guia.

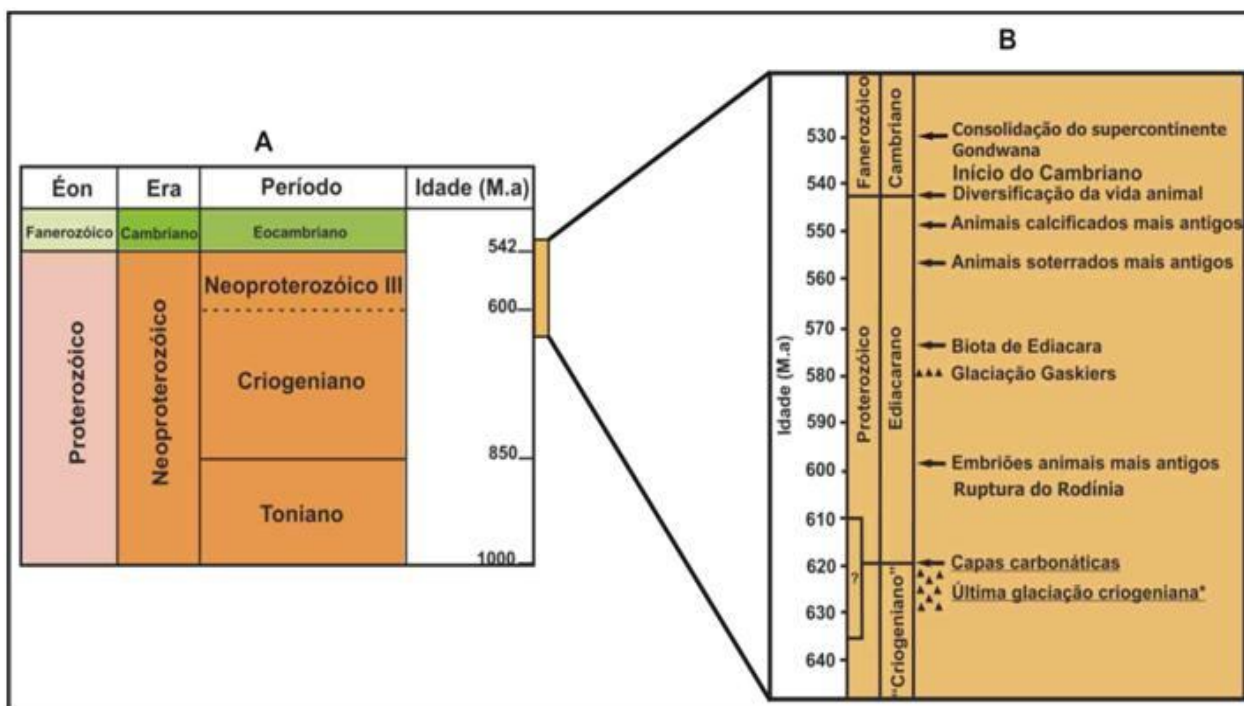


Figura 4 – Escala do tempo geológico com ênfase no Neoproterozóico. A) antiga subdivisão do Neoproterozóico segundo a Comissão Internacional de Estratigrafia (2000). B) Atual subdivisão, com a substituição do termo Neoproterozóico III por Ediacarano e síntese dos principais eventos ocorridos durante o final do Neoproterozóico e início do Cambriano.

Fonte: Gradstein *et al.* (2004) e Knoll *et al.* (2004)

### 3. 1 PALEOGEOGRAFIA

O início do Neoproterozóico (1000 - 900 M.a) marca um período de grande estabilidade do supercontinente Rodínia (Figura 5A), o qual agregara em etapas anteriores quase todos os fragmentos crustais existentes em torno do seu núcleo (constituído por Laurentia e pelo Bloco Amazônia), através de mecanismos de acreção ou colisão de blocos continentais (Li *et al.*, 2008).

De acordo com Cordani *et al.* (2009) e Tohver *et al.* (2010), em aproximadamente 850 M.a., os primeiros sinais de atividades de uma superpluma a NW do Rodínia começavam a surgir. Iniciaram-se os processos de rifteamento continental, em escala global, e por conseqüência a ruptura do supercontinente proterozóico. Tal fragmentação se intensificou ao redor de 720 M.a. (Figura 5A). A esta época, os blocos Amazônia e Oeste África, pertencentes ao núcleo Laurentia, estavam separados dos blocos São Francisco - Congo e Rio de La Plata, por um grande oceano denominado Climene.

Segundo Collins e Pisarevsky (2005) e Trindade *et al.* (2006) a quebra do supercontinente Rodínia teria ocorrido de modo diacrônico, entre 880 M.a. 500 M.a., originando blocos crustais pequenos e dispersos, separados por vastos oceanos. O maior evento de ruptura, que encerraria o Rodínia, decorreria da separação do Bloco Amazônia da porção sudeste do Laurentia, em 630 M.a. (Figura 5A). Este processo de geração de margens extensionais, resultaria na abertura do Oceano Iapetus, entre Laurentia, Amazônia e Báltica (Li *et al.*, 2008). A esta época, a maior parte dos novos blocos crustais, remanescentes da fragmentação do Rodínia, já pertenceriam ao recém-formado Gondwana Oeste (Cordani *et al.*, 2009).

Para a amalgamação deste novo supercontinente, grandes bacias oceânicas foram invertidas, entre elas o Climene, decorrente da convergência dos blocos Amazônia, São Francisco-Congo e Rio de Plata. Esta colisão culminaria na criação da Faixa Paraguai em 528 M.a. (Tohver *et al.*, 2010) (Figura 5A). Esta idade, por sua vez, é coerente com a idade do pólo de referência do supercontinente Gondwana, estimada em aproximadamente 525 M.a. (Trindade *et al.*, 2006; Tohver *et al.*, 2006; Tohver *et al.*, 2010). Alternativamente, Trindade *et al.* (2006) sugerem que após a abertura do Iapetus, o Bloco Amazônico teria se chocado com outros blocos crustais menores, como o Rio Apa e Pampia, culminando no fechamento do Climene e na consolidação do Gondwana em entre 530 - 520 M.a.

Em oposição a estas reconstruções paleogeográficas, Fuck *et al.* (2008) propõem um esboço da paleogeografia para a América do Sul e África durante o final do Criogeniano (Figura 5B). Neste, a Faixa Paraguai seria o resultado da convergência entre os Blocos Amazônia e Paranapanema, este último desconsiderado nos modelos de reconstrução do Rodínia e identificado apenas por gravimetria. Segundo aqueles autores, a escassez e baixa confiabilidade de dados paleomagnéticos e geocronológicos, (em parte devido ao contexto geológico local, visto que a maior parte das porções cratônicas e faixas de dobramentos neoproterozóicas no Brasil foram retrabalhadas no Evento Brasileiro) e a desconsideração do papel geotectônico de vários fragmentos descendentes do Rodínia nos mapas de reconstrução paleogeográfica, a exemplo do Bloco Paranapanema totalmente encoberto pelos sedimentos da Bacia do Paraná, têm causado muitas incertezas quanto a real paleogeografia do Neoproterozóico, incertezas estas manifestadas na diversidade de modelos de reconstrução paleogeográfica para este supercontinente.

### 3.2 GLACIAÇÕES

Durante o Neoproterozóico, o mundo passou por pelo menos três episódios de severas glaciações globais ocorridas concomitantemente à fragmentação do continente Rodínia, compreendida entre o Criogeniano e Ediacarano (Evans 2000, 2003; Chumakov, 2004 e Trindade e Macouin, 2007). De acordo com dados geocronológicos, a **Glaciação Esturtiana** ocorreu entre 726 a 660 M.a., a **Glaciação Marinoana** (ou “última glaciação do Criogeniano”) se deu entre 655 a 635 M.a. e a **Glaciação Gaskiers** em cerca de  $583 \pm 0.5$  M.a. De todas as 77 formações sedimentares estudadas por Hoffman e Li (2009) com ocorrência em 22 paleocontinentes, os depósitos glaciogênicos oriundos da Glaciação Marinoana apresentam maior abrangência, com registro em 32 unidades sedimentares distribuídos entre 15 paleocontinentes (Figura 5A).

Especula-se que as glaciações criogenianas tenham sido mais severas que as glaciações subseqüentes (Hoffman e Li, 2009). Essas glaciações encontram-se inseridas no cenário catastrófico proposto pela hipótese da Terra Bola de Neve (“*Snowball Earth*”, Kirschvink, 1992), na qual coberturas glaciais atingiram as condições paleogeográficas equatoriais. Segundo esta teoria as temperaturas médias globais oscilaram em torno de  $-50^{\circ}\text{C}$ ; a vida e a circulação de águas oceânicas estiveram restritas a reduzidas fontes hidrotermais ou a fissuras abaixo de capa de gelo menos espessas, através das quais seria possível haver penetração da radiação solar (Hoffman *et al.*, 1998 e Hoffman e Schrag, 2002).



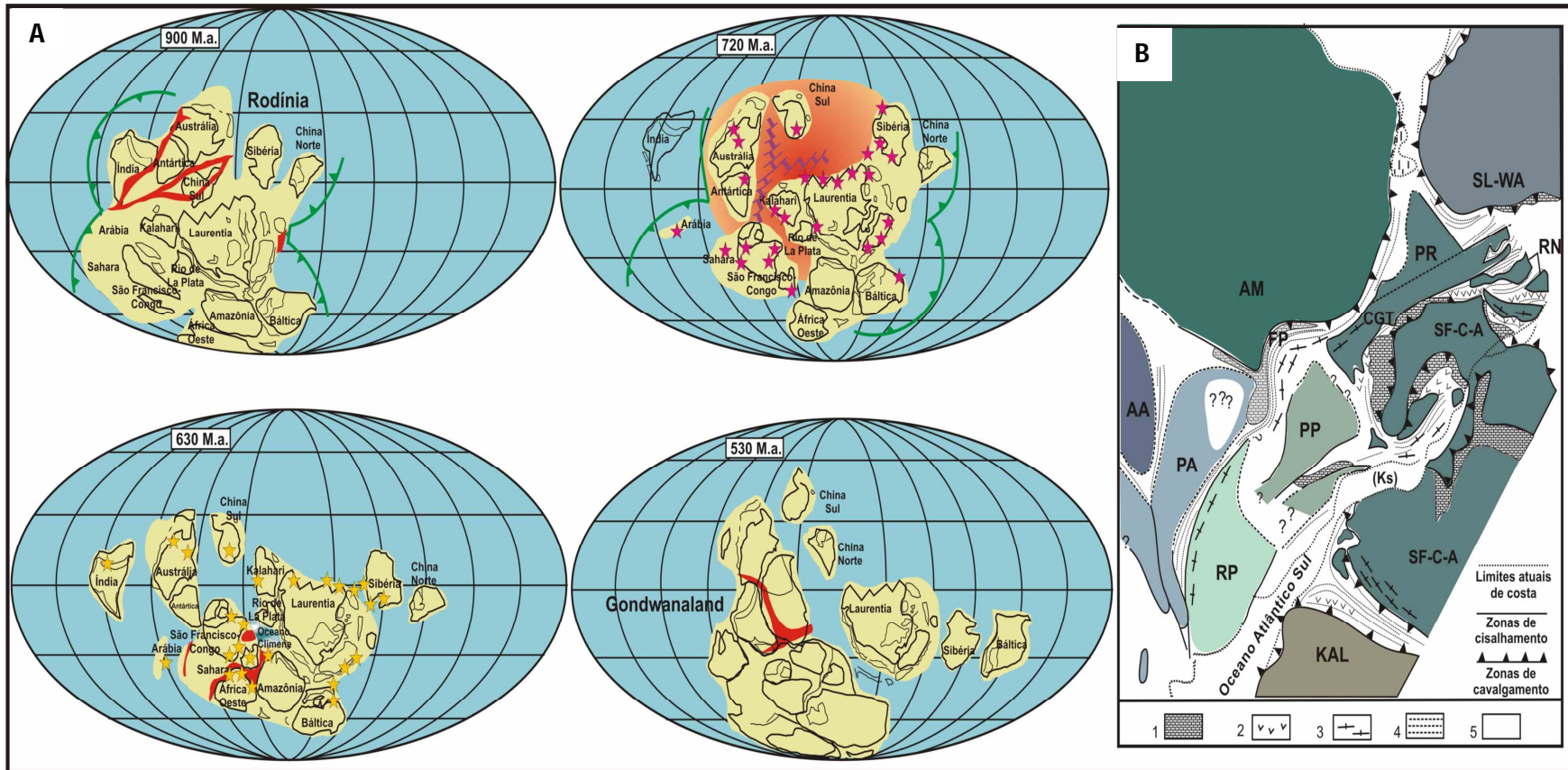


Figura 5 – Modelos paleogeográficos para períodos distintos no Neoproterozóico. A) supercontinente Rodínia, totalmente estabilizado em 900 M.a. Em 720 M.a. o processo de fragmentação do Rodínia pela ação de superplumas resulta na criação de vários blocos continentais. As estrelas em rosa demarcam os paleocontinentes com registros da glaciação Esturtiana. Em 630 M.a. ocorrem os pulsos finais de ruptura do Rodínia, com a separação do bloco Amazônia do supercontinente Laurentia. As estrelas amarelas demarcam as áreas com ocorrência de depósitos glaciogênicos da Glaciação Marinoana. O posterior fechamento do Oceano Climeño, que separou o bloco Amazônia dos blocos Rio de La Plata e São Francisco-Congo em 630 M.a., gerou a Faixa Paraguai, com estabilização dos eventos orogênicos concomitantes a consolidação do supercontinente Gondwana, em 530 M.a. B) reconstrução paleogeográfica durante o Criogeniano - Ediacarano. 1) cinturões de dobramento marginais; 2) remanescentes ofiolíticos; 3) arcos magmáticos; 4) cinturões vulcanossedimentares; 5) coberturas sedimentares fanerozóicas e áreas desconhecidas. Siglas - AM: Amazônia, SL - WA: S. Luís- Oeste África, PR: Parnaíba, RN: Rio Grande do Norte, CGT: Central Goiás - Tocantins, SFCKA: São Francisco - Congo - Angola, PP: Parapanema, KAL: Kalahari, RP: Rio de La Plata, PA: Pampia, AA - Arequipa, Ks: fragmentação do Cretáceo superior.

Fonte: Li *et al.* (2008), Hoffman e Li (2009), Tohver *et al.* (2010), Trindade *et al.* (2006) e Fuck *et al.* (2008)



Contudo, esta teoria tem sido refutada por diversos pesquisadores, os quais tem proposto um novo cenário de glaciação global menos drástico que a hipótese de *Snowball Earth*. Esta nova teoria, denominada “*Slushball Earth*” (Hyde *et al.*, 2000), propõe que as capas de gelo cobririam apenas 60% do oceano e, portanto não alcançariam o paleoequador. Neste entendimento, as temperaturas médias alcançariam 0°C e seus efeitos seriam menos catastróficos, favorecendo a vida e a circulação oceânica nos trópicos.

Passados milhões de anos, as condições glaciais cederiam lugar a condições estufa, por meio da liberação de gás carbônico para a atmosfera através de processos tectônicos. O derretimento das capas glaciais e o rápido aumento na temperatura global resultaram na precipitação abrupta de capas carbonáticas sobre depósitos glaciais, distribuídas em diversas regiões do globo como Canadá, Austrália, Namíbia, arquipélago norueguês de Svalbard, Brasil, dentre outros (Allen e Hoffman, 2005; Corsetti *et al.*, 2006; Corsetti e Lorentz, 2006; Nogueira *et al.*, 2003; Halverson *et al.*, 2004, James *et al.*, 2001; Xiao *et al.* 2004) (Figura 6).

As capas carbonáticas são depósitos de espessuras métricas e acham-se diretamente sobre sedimentos glaciogênicos, sem qualquer evidência de hiato deposicional. Dentre as estruturas sedimentares estão: laminações estromatolíticas, formas de tubos e *tepees*, fábricas peloidais e oolíticas, crostas de calcita e leques de cristais com morfologias variadas. Em adição, uma característica intrínseca a todas as capas carbonáticas são as excursões isotópicas fortemente negativas de  $C^{13}$ , em torno de -2 a -6% (Kaufman e Knoll, 1995). A origem destas feições e das próprias capas ainda é assunto muito controverso, contudo, acredita-se que a formação deste depósito está relacionada ao início da transgressão sobre uma paisagem previamente congelada. Esta transgressão estaria relacionada com uma rápida subida do nível do mar devido à deglaciação durante a passagem de condições glaciais (*icehouse*) para condições de efeito estufa (*greenhouse*) (Grotzinger e James, 2000).

No Brasil, o registro da Glaciação Marinoana encontra-se nos depósitos da Formação Puga e em sua respectiva capa carbonática, representada pelos dolomitos rosados estromatolíticos da Formação Mirassol d’Oeste, e pela base Formação Guia, formada por calcários finos, com precipitados pseudomorfos de aragonita em forma de leques de cristais de calcita e folhelhos betuminosos ricos em pirita (Figura 6), depositados em ambiente plataformal abaixo da base de onda (Nogueira, 2003).

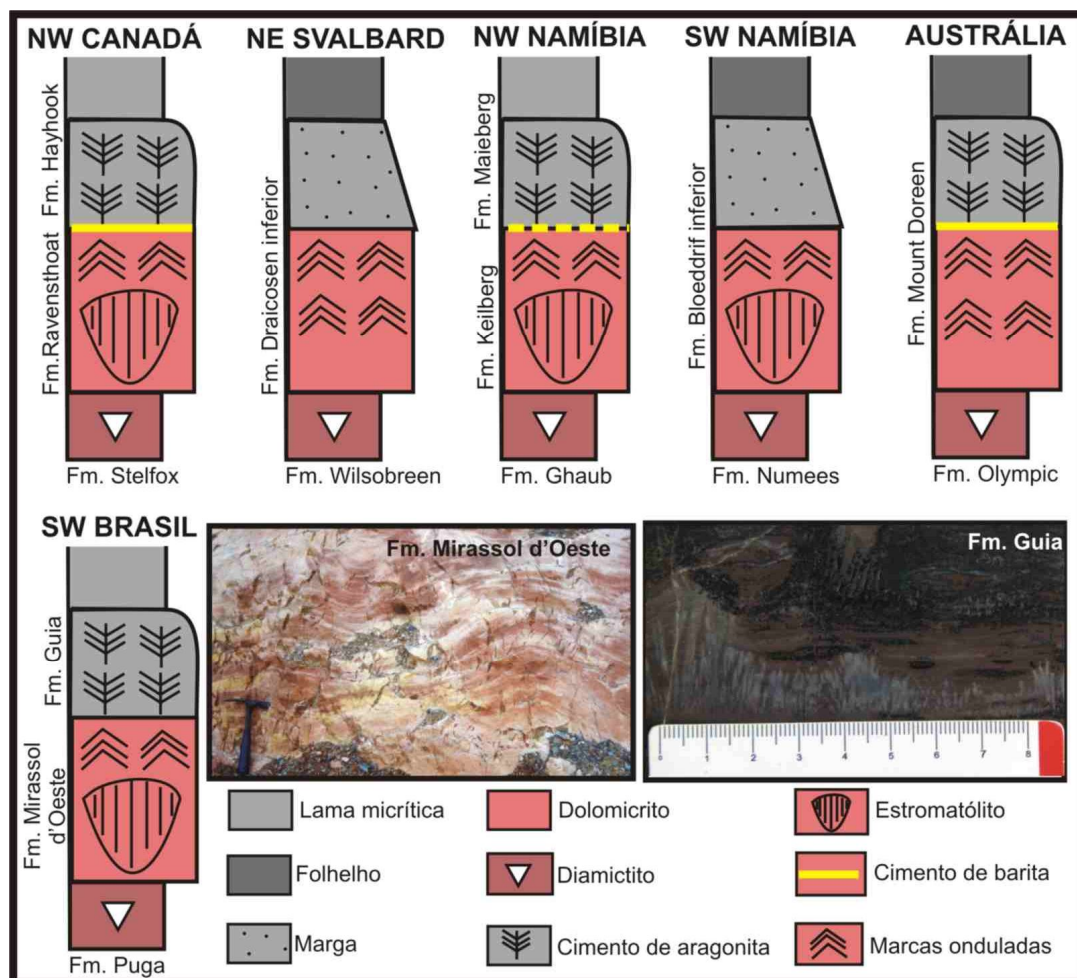


Figura 6 – Sequencias de litologias e estruturas sedimentares em depósitos de capas carbonáticas pós-marinoanas. Fonte: Allen e Hoffman (2005).

### 3. 3 PALEOBIOLOGIA

Dentre os microfósseis tipicamente encontrados em sucessões sedimentares neoproterozóicas como bactérias filamentosas, cianobactérias, acritarcos, algas megascópicas, estromatólitos e metazoários, os acritarcos são os que apresentam maior notoriedade neste período. Devido à grande abundância, complexidade morfológica, ampla distribuição litológica e geográfica e restrita ocorrência no tempo geológico, os acritarcos vem sendo utilizados na tentativa de estabelecer correlações bioestratigráficas globais entre vários depósitos sedimentares pós - glaciais no mundo todo (Grey, 2005).

Acritarcos são organismos eucariontes, unicelulares, fotossintéticos, aeróbicos, formados por parede orgânica e com afinidade biológica ainda desconhecida (Armstrong e

Brasier, 2005). Geralmente ocorrem sob formas vesiculares com 20 - 150  $\mu\text{m}$  de diâmetro, das quais podem se projetar espinhos e cristas. A superfície exterior pode ser suave, granulada, com ornamentos espinhosos ou reticulados, indentações e/ ou microporos. Os tipos de processos podem ser simples, bifurcados, ramificados ou conectados por uma fina membrana.

Caracteres morfológicos são critérios fundamentais para definir espécies e gêneros. Os dois tipos de acritarcos mais encontrados durante o Pré-Cambriano pertencem ao Subgrupo *Sphaeromorphae* (esferomorfos), caracterizados por apresentar vesículas circulares ou elipsoidais ornamentadas com ausência de processos ou cristas; e ao Subgrupo *Acanthomorphae* (acantomorfos), que apresenta formas circulares, com processos simples ou ramificados e sem cristas no interior da célula (Figura 7) (Armstrong e Brasier, 2005).

Estes organismos estão entre os primeiros eucariontes preservados no registro fóssil, encontrados principalmente em folhelhos e em *mudstones* de *offshore* de depósitos pré-cambrianos (Schopf e Klein, 1992). A composição de sua membrana, formada por um polímero complexo denominado esporopolenina, lhe confere alta resistência à degradação oriunda do processo geológico natural. Muitos acritarcos provavelmente são cistos no ciclo de vida de algas fitoplanctônicas ou ainda podem representar estágios imóveis (ficoma) do ciclo de vida de modernas prasinofíceas (algas verdes) (Armstrong e Brasier, 2005).

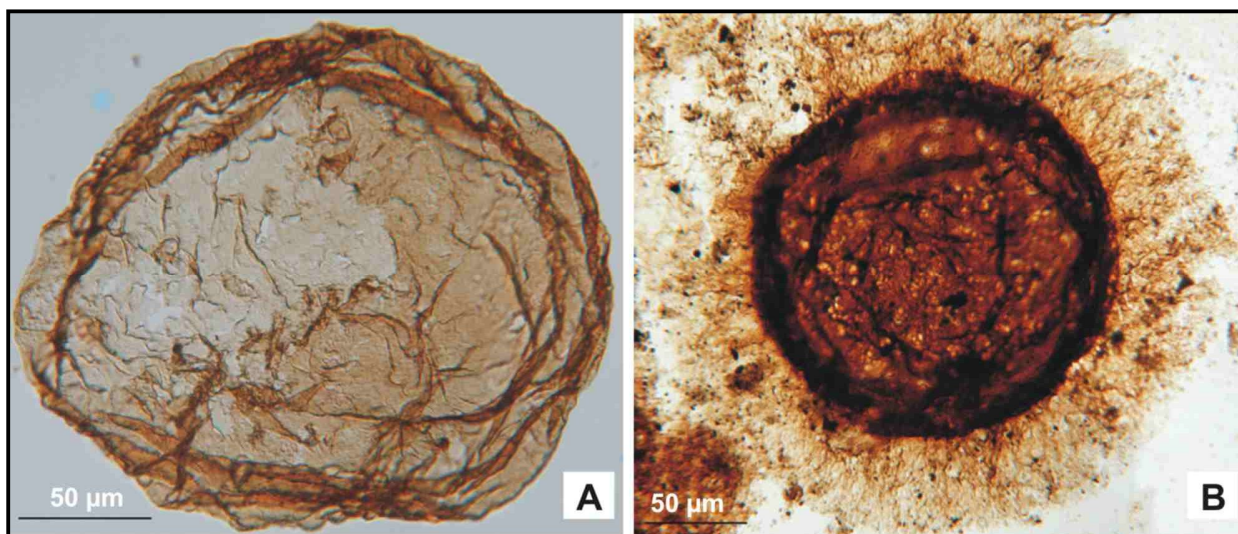


Figura 7 – Exemplo de acritarcos de Officer Basin, Austrália: A) esferomorfo simples do gênero *Leiosphaeridia* sp.; B) acantomorfo circular da espécie *Appendisphaera tabifica*, com processos finos projetados ortogonalmente a partir da parede celular.

Fonte: Willman e Moczydlowska (2008)

Estudos acerca da diversidade de acritarcos sugerem reduzido número de espécies desde a primeira ocorrência no Paleoproterozóico até o fim do Toniano. A diversidade taxonômica de acritarcos aumentou notavelmente a época da glaciação esturtiana, onde muitas novas feições morfológicas de acritarcos são descritas, como: vesículas poliedrais, bulbos, vasos, funis, dentre outros (Knoll *et al.*, 2006) (Figura 8).

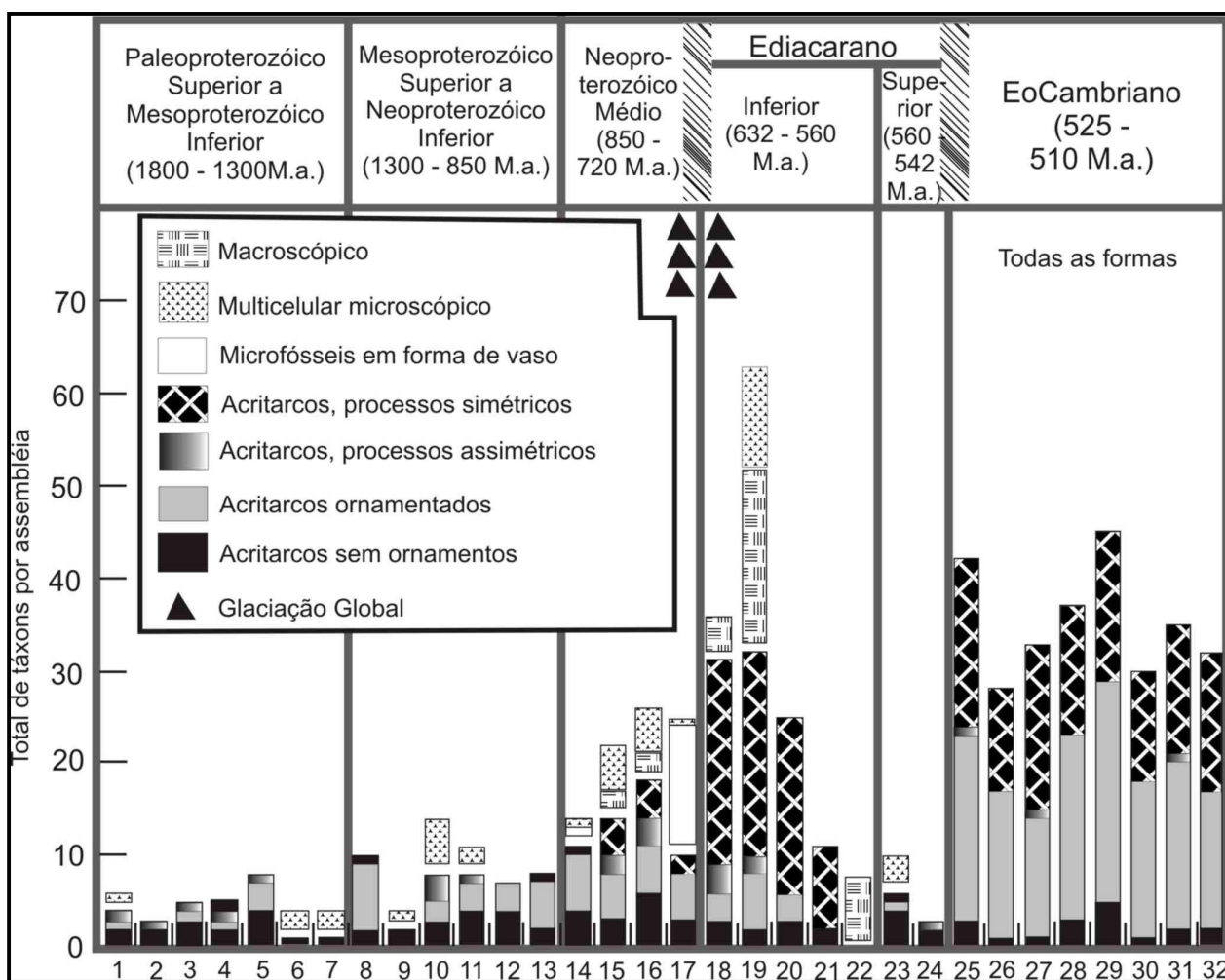


Figura 8 – Composição das principais assembléias microfossilíferas (eixo x) versus quantidade de táxons (eixo y) dos fósseis eucariontes não-metazoários do Proterozóico ao Cambriano Inferior de várias partes do mundo. Destaque às assembléias 5 (Grupo Roper, Austrália), 18 (Grupo Ungoolya, pós- Marinoano, Austrália) 19 (Formação Doushantuo, China), 20 (Formação Pertatataka, Austrália).

Fonte: Knoll *et al.* (2006)

Após as glaciações esturtiana e marinoana, verifica-se um acentuado decaimento taxonômico e de caracteres morfológicos de acritarcos. Contudo, após ambos os episódios de glaciações, verifica-se uma inesperada e curta diversificação de acritarcos, representados por pequenos esferomorfos e poucos acantomorfos (Huntley *et al.*, 2006).

No Grupo Araras foram encontrados registros de microfósseis pós - marinoanos. Hidalgo (2008) descreve filamentos de algas verdes (possivelmente remanescentes de cianobactérias), abundantes acritarcos esferoidais, como *Leiosphaeridia minutissima* e *L. crassa*, e acantomorfos, como o *Appendisphaera sp.*, *Cavaspina sp.* e *Cavaspina acuminata*. Estes microfósseis são correlatos a duas palinofloras (biozonas) de acritarcos estabelecidas por Grey (2005) para sucessões neoproterozóicas com registro da Glaciação Marinoana na Austrália – “*Ediacaran Leiosphere Palynoflora*” – ELP, composto por simples esferomorfos pós - glaciação Marinoana (~ 620 - 580 M.a.) e “*Ediacaran Complex Acanthomorph Palynoflora*” – ECAP, formada por acritarcos acantomorfos largos, com espinhos e processos complexos, caracterizando uma rápida diversificação de espécies de curta duração (~ 580 - 570 M.a.) (Figura 9).

A biozona ECAP é em parte correlata aos acantomorfos identificados na Formação Doushantuo, conhecidos como Microbiotas de Doushantuo - Pertatataka (em alusão as Formações Doushantuo (China) e Pertatataka (Austrália), os quais marcaram a maior radiação de acritarcos completamente inovadores do Pré-Cambriano. Estes largos microfósseis limitados a águas rasas desaparecem do registro fóssil por volta de 580 M.a, período em que surgiram os primeiros fósseis bilaterianos pertencentes à Biota de Ediacara (~575 M.a.) (Huntley *et al.*, 2006).

A aparição da Biota de Ediacara corresponde ao mais dramático decréscimo na disparidade morfológica de acritarcos a níveis jamais observados desde o Paleoproterozóico. As possíveis explicações podem estar relacionadas à predação de acritarcos pelos organismos de Ediacara ou à competição por alimento, que favoreceu a Biota de Ediacara em detrimento do extermínio da microbiota de Doushantuo - Pertatataka (Peterson e Butterfield, 2005), marcando a primeira extinção bem definida do registro fóssil.

Após o declínio verificado entre 580 - 542 M.a., pesquisadores observam um aumento na diversidade de acritarcos concomitante com o período da explosão cambriana (~ 540 M.a.). Esta observação pode implicar em uma conexão entre os dois grupos ecológicos (acritarcos e metazoários), ainda não muito óbvio. Por outro lado, é possível que a diversificação dos metazoários tenha sido induzida pela radiação morfológica e ecológica de produtores primários, incluindo a maioria dos acritarcos (Moczydlowska, 2001, 2002 *in* Huntley *et al.*, 2006).



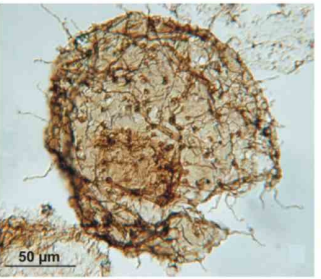
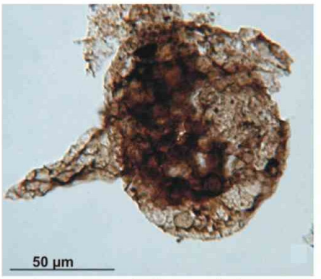
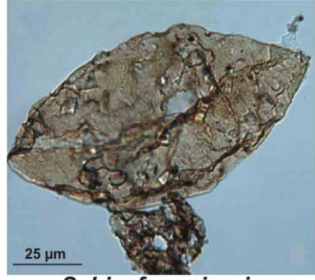
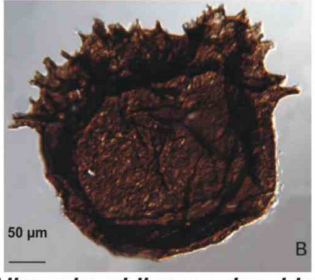
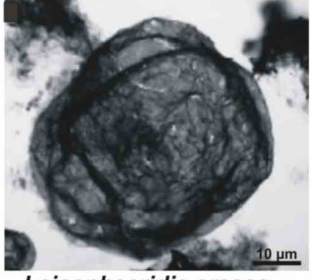
<p><b>Palinoflora Ediacarana de Acanthomorfos Complexos</b> (ECAP - Ediacaran Complex Acanthomorph Palynoflora)</p>	<p><i>Ceratosphaeridium mirabile</i> <i>Distosphaera australica</i> <i>Apodastoides verobturatus</i></p>	 50 µm <i>Apodastoides verobturatus</i>
	<p><i>Tanarium irregulare</i> <i>Ceratosphaeridium glaberosum</i> <i>Multifronsphaeridium pelorium</i></p>	 50 µm <i>Ceratosphaeridium glaberosum</i>
	<p><i>Tanarium conoideum</i> <i>Schizofusa risoria</i> <i>Variomargosphaeridium litoschum</i></p>	 25 µm <i>Schizofusa risoria</i>
	<p><i>Alicesphaeridium barbata</i> <i>Alicesphaeridium medusoidum</i> <i>Gyalosphaeridium pulchrum</i></p>	 50 µm <i>Alicesphaeridium medusoidum</i>
<p><b>Palinoflora Ediacarana de Leiosferídeos</b> (ELP - Ediacaran Leiosphere Palynoflora)</p>	<p><i>Leiosphaeridia jacutica</i> <i>Leiosphaeridia crassa</i></p>	 10 µm <i>Leiosphaeridia crassa</i>

Figura 9 – Biozoneamento em palinofloras de acritarcos pós - marinoanos (Ediacarano) da Austrália.  
Fonte: Grey (2005)

## 4 CONTEXTO GEOLÓGICO

### 4.1 FAIXA PARAGUAI

Zonas colisionais do ciclo Pan-Africano / Brasileiro constituem importantes feições do Pré-Cambriano brasileiro. No Centro Oeste do país, cinturões orogênicos se desenvolveram na borda sudeste do Cráton Amazônico denominado primeiramente de Faixa Paraguai-Araguaia por Almeida (1964). Posteriormente, Almeida (1974, 1984) subdividiu este cinturão em duas unidades: a Faixa Araguaia (Tocantins-Araguaia), a leste e a Faixa Paraguai, ao longo da margem sul - sudeste do Cráton Amazônico.

A Faixa Paraguai compreende uma grande sutura colisional que se estende desde o sudoeste de Goiás, passando pelos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul ao longo de aproximadamente 1500 km. Em planta, apresenta a configuração de um arco, com uma mudança de 90° em sua curvatura de E - W no segmento norte, para NNW - SSE ao sul (Figura 10A). Esta grande sutura é o registro geológico da colisão entre os crátons Amazônia, São Francisco - Congo e Rio de La Plata (Hasui *et al.*, 1992; Tohver *et al.*, 2010) ou entre o Bloco Paranapanema (Fuck *et al.*, 2008).

Almeida (1984) propôs para a Faixa Paraguai três zonas estruturais em seção W - E: (1) a cobertura sedimentar denominado como “Brasilides não-metamórficas”, (2) zona externa dobrada, com pouco ou sem metamorfismo (zona transicional) e a (3) zona interna metamórfica com intrusões graníticas chamada de “Brasilides metamórficas” (Figura 10B). Analogamente, Nogueira (2003) dividiu a Faixa em dois domínios de NW a SE: 1) domínio externo indeformado a fracamente deformado nas margens do Cráton Amazônico com camadas que apresentam leve mergulho em direção a duas bacias *foredeep* e 2) domínio interno dobrado e falhado (Figura 10C).

Dentre as rochas mais antigas que constituem a Faixa estão as rochas metassedimentares deformadas do Grupo Cuiabá, distribuídos por uma vasta área a sul e a leste do orógeno, e os diamictitos glaciais da Formação Puga, situados acima do Grupo Cuiabá, cuja origem é atribuída ao episódio glacial Marinoano, com depósitos similares na Formação Ghaub (Namíbia), Elatina (Austrália) e Grupo Nafun (Oman) (Allen e Hoffman, 2005; Hoffman *et al.*, 1998; Hoffman e Schrag, 2002; Kennedy *et al.*, 2001; Nogueira *et al.*, 2003).

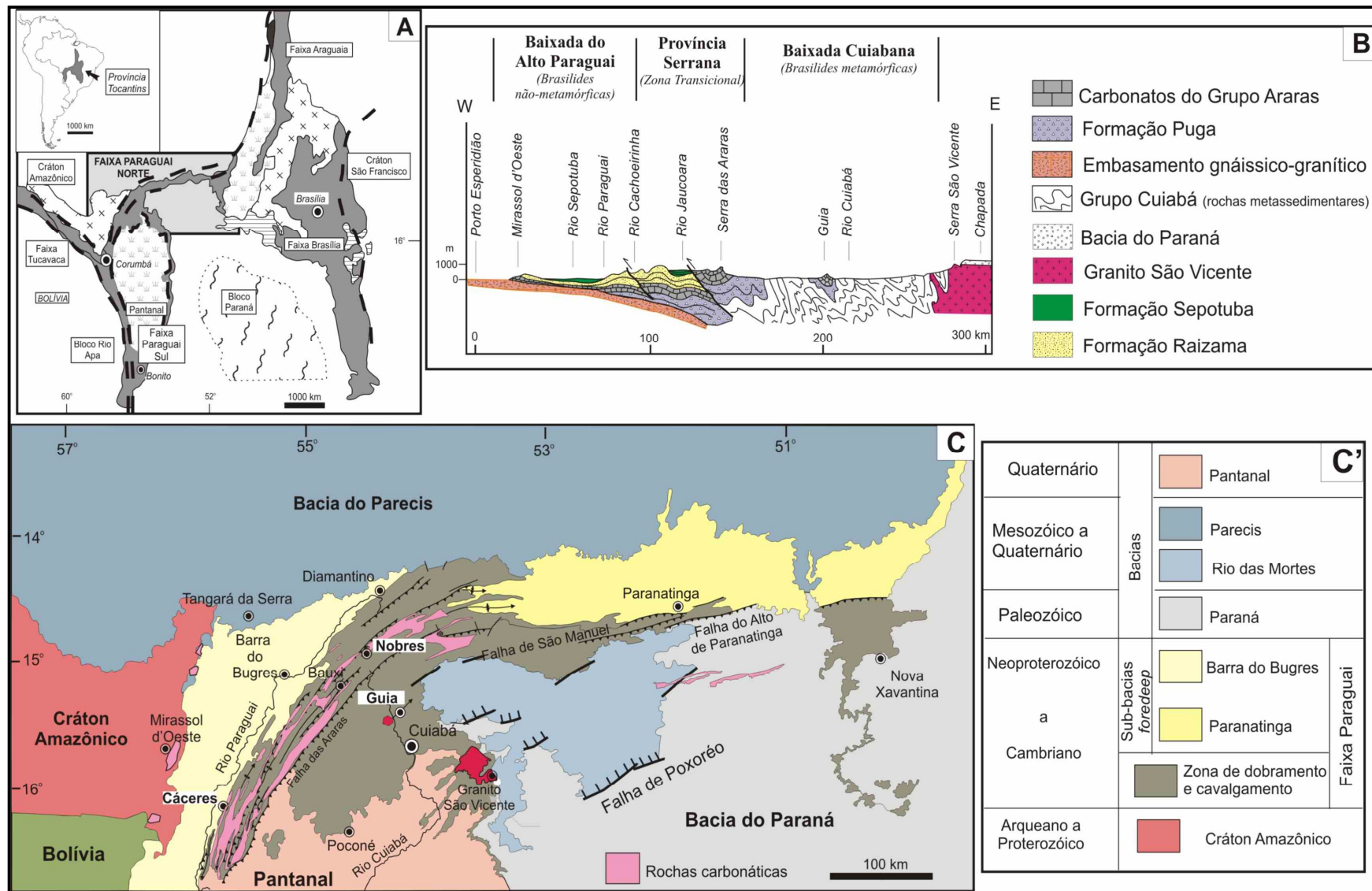


Figura 10 – A) Mapa representativo da Província Tocantins, com destaque ao segmento Norte da Faixa Paraguaí. B) Seção geológica esquemática W - E e C) Mapa geológico da porção Norte da Faixa Paraguaí, em C' legenda referente às unidades geológicas em C.  
Fonte: Almeida (1964, 1974, 1984) e Nogueira (2003).



De modo abrupto, rochas carbonáticas do Grupo Araras recobrem os diamictitos Puga. Os primeiros 40 m desta sucessão carbonática de quase 600 m de espessura são caracterizados por litologias e estruturas típicas de capas carbonáticas, produtos das súbitas mudanças ambientais que sucederam às condições glaciais durante o final do Criogeniano e início do Ediacarano. O Grupo Araras é recoberto pela sucessão predominantemente siliciclástica do Grupo Alto Paraguai, cuja gênese está intrinsecamente relacionada à tectônica responsável pelo fechamento da bacia de antepaís instalada às margens do Cráton Amazônico no início do Cambriano (Bandeira *et al.*, 2011).

Idades baseadas em LA - ICPM obtidas a partir de zircões provenientes do plúton granítico São Vicente, intrudido em rochas metamorfizadas em fácies xisto verde do Grupo Cuiabá, porção central do domínio interno dobrado, apontam idades U - Pb de  $518 \pm 4$  M.a., as quais marcam o término do evento deformacional na Faixa Paraguai e os estágios finais de acreção do supercontinente Gondwana. Além disso, este limite cronométrico impõe a idade mínima para a deposição de toda cobertura sedimentar que compõe a Faixa Paraguai (McGee *et al.*, 2011)

## 4.2 GRUPO ARARAS

### 4.2.1 Trabalhos anteriores

Os primeiros relatos acerca de rochas carbonáticas na área da folha Cuiabá (SD. 21) foram feitos por Castelnau (1850) em seu trabalho “*Expédition dans les parties centrales de l’Amérique du Sud*” (Barros *et al.* 1982), onde cita os calcários do município de Nobres e os situados entre o trecho Cáceres - Jauru (*apud* Almeida, 1984).

Anos mais tarde, em 1894, Evans chamou de “*Araras Limestone*” o pacote de rochas calcárias que afloram nos cursos dos rios Cuiabá e Paraguai, identificado por ele durante viagem de reconhecimento geológico na porção centro-oeste do Mato Grosso (Barros *et al.*, 1982). No início do século XX, Campos (1908), Lisboa (1909) e Oliveira (1915) descreveram calcários e dolomitos situados entre Cuiabá e Cáceres (*in* Barros *et al.*, 1982). Posteriormente Oliveira e Leonardos (1943 *in* Barros *et al.*, 1982), em sua obra “Geologia do Brasil”, enquadraram na Série Corumbá os “Calcários Araras” (de Evans, 1894) e “Guia”.

Scorza (1960 *in* Barros *et al.*, 1982), pela primeira vez, designou de “Série Araras” os afloramentos de calcários e quartzitos na região da Serra do Tombador como de idade Cambriana. Mas somente em 1964, Almeida viria a classificar a sequência de rochas

carbonáticas da porção norte-noroeste do Mato Grosso de “Grupo Araras”, formado por rochas pelítico - carbonáticas, na base, e por dolomitos, no topo.

Durante campanha de levantamento geológico, Oliveira (1964a *in* Barros *et al.*, 1982) voltou a correlacionar o Grupo Araras de Almeida (1964) com a Série Corumbá, ambos considerados naquele momento como correlatos aos calcários da Série Bambuí (Formação Sete Lagoas), já que encontram-se sobrejacentes à depósitos glaciais.

Hennies (1966 *in* Barros *et al.*, 1982), em sua tese de doutoramento sobre a geologia do centro-oeste mato-grossense, reafirmou a proposta de Almeida (1964), dividindo o grupo em duas formações: Guia, caracterizada por uma sequência pelítico-carbonática na base, e Nobres, com rochas dolomíticas no topo do grupo.

As primeiras interpretações paleoambientais relacionaram esses calcários à ambientes de plataforma marinha (Almeida 1964, Luz *et al.* 1978 *in* Barros *et al.* 1982). Zaine (1991) e Boggiani (1997) ao estudar afloramentos isolados, interpretaram estas sucessões carbonáticas como depósitos de planície de maré sob condições evaporíticas (Nogueira e Riccomini 2006).

#### 4.2.2 Litoestratigrafia

O Grupo Araras é uma sucessão predominantemente carbonática de aproximadamente 600 m de espessura, que ocorre em toda a extensão da Faixa Paraguai Norte, localizada ao longo da margem Sul - Sudeste do Cráton Amazônico (Figura 10). Esta sucessão acha-se sobreposta aos diamictitos glaciais da Formação Puga e encontra-se recoberta pelos siliciclásticos do Grupo Alto Paraguai (Figura 11).

Os 40 m basais deste grupo, constituídos por dolomitos e estromatólitos da Formação Mirassol d’Oeste, e por calcários e folhelhos da Formação Guia, compõem a sequência de capa carbonática (Figura 11), cujo depósito é o registro geológico das drásticas mudanças ambientais ocorridas pós - glaciação marinoana, com súbita elevação da temperatura global e implantação de condições estufa, as quais condicionaram a deposição de sequências carbonáticas transgressivas em várias sucessões ediacaranas no mundo (Nogueira 2003).

A proposta estratigráfica utilizada neste trabalho baseia na tese de doutorado de Nogueira (2003). De acordo com esta proposta, as rochas carbonáticas estão agrupadas em quatro formações: Mirassol d’Oeste, Guia, Serra do Quilombo e Nobres (Figura 11).

A Formação Mirassol d’Oeste exhibe no máximo 15 m de espessura; é formada por dolomitos rosados e finos com peloides e estromatólitos. Esta formação está sobreposta

diretamente aos diamictitos maciços da Formação Puga em contato brusco e lateralmente ondulado e irregular.

A Formação Guia, objeto de estudo deste trabalho, é constituída essencialmente por calcários finos e betuminosos, de cor cinza a preto, intercalados por laminações de folhelhos betuminosos e piritosos. Estruturas incomuns típicas de capas carbonáticas são encontradas, como crostas e cristais fibrosos alongados, com hábito pseudo-hexagonal e acicular em arranjos do tipo mamiliforme ou paliçada. O contato com a Formação Serra do Quilombo é marcado por calcários e dolomitos bastante fraturados, formando brechas cimentadas por dolomita.

A Formação Serra do Quilombo consiste de dolomitos finos a arenosos, brechas com cimento de dolomita e brechas com matriz.

A Formação Nobres é composta por dolomitos finos (*dolomudstone*) a arenosos (*dolorudstone* intraclástico), brechas e conglomerados dolomíticos, pelitos e níveis de sílex secundário. Estromatólitos dômicos e estratiformes também foram identificados na parte superior desta Formação.

#### 4.2.3 Idade

A ausência de horizontes estratigráficos adequados para datação dentro da sequência do Grupo Araras, como derrames básicos ou tufos vulcânicos, tem dificultado o estabelecimento de idades deposicionais para este grupo. Contudo, a presença de capa carbonática na base do Grupo Araras tem possibilitado esboçar correlações bio, químio e cronoestratigráfica destes depósitos com outras sucessões neoproterozóicas registradas em diversos continentes (Nogueira e Riccomini, 2006).

Babinski *et al.* (2006) puderam obter idades isocrônicas Pb-Pb a partir de dolomitos e calcários da capa carbonática Araras, as quais apontaram idade em torno de  $627 \pm 32$  M.a. Esta idade tem sido interpretada como a idade deposicional tendo em vista que estes depósitos apresentam-se bem preservados e sem quaisquer sinais de deformação ou metamorfismo. Além disso, esta idade mostra-se concordante com as idades estabelecidas em outras sucessões pós - marinoanas, como na Namíbia, Austrália e China, sugerindo que a glaciação Marinoana foi um evento global e síncrono (Babinski *et al.*, 2006; Hoffman e Schrag 2002; Nogueira 2003; Nogueira *et al.* 2007) .

Idade		Litoestratigrafia		Paleoambiente
Cambriano?	544 Ma	Formação Diamantino		Fluvial entrelaçado, delta e mar restrito / prodelta
		Formação Sepotuba		Plataforma marinha sob influência de tempestades
Neoproterozóico III	~590 Ma	Formação Raizama		Plataforma rasa sob influência de tempestade e maré
		Formação Nobres		Planície de maré / <i>sabkha</i>
		Formação Serra do Quilombo		Plataforma moderadamente profunda sob ação de tempestades e eventuais sismos
		Formação Guia		Plataforma profunda anóxica
		Formação Mirassol d'Oeste		Plataforma profunda eufótica
		Formação Puga		Glacial marinho
		Dolomito betuminoso      Arenito dolomítico, e brecha com matriz      Sílex secundário      Pelito Dolomito      Brecha cimentada      Carbonato silicificado      Arenito Diamictito      Calcário/folhelho betuminoso      Dolomito/arenito      Estromatólito		

Figura 11 – Coluna litoestratigráfica correspondente aos depósitos sedimentares aflorantes no segmento Norte da Faixa Paraguai, com destaque a Formação Guia.

Fonte: Nogueira (2003) e Nogueira e Riccomini (2006).

Adicionalmente, idades relativas para a base do Grupo Araras estão baseadas no conteúdo fóssilífero e em dados isotópicos correspondentes à capa carbonática. Assembléias microfossilíferas identificadas na Formação Mirassol d'Oeste e Guia são correlacionáveis à assembléia de microfósseis da Austrália, de idade Ediacarana (620 a 580 M.a) (Grey, 2005; Hidalgo *et al.*, 2008). Neste mesmo contexto, dados isotópicos de C apresentam valores fortemente negativos, em torno de  $-5\%$  PDB, característicos de capas carbonáticas da última glaciação do Criogeniano, datada em cerca de 630 M.a. (Nogueira e Riccomini, 2006).

#### 4.2.4 Formação Guia

A Formação Guia, objeto de estudo deste trabalho, é formada predominantemente por uma sucessão de calcários cinzas, finos e betuminosos intercalados por laminações milimétricas a centimétricas de folhelhos betuminosos, constituindo empilhamentos de mais de 200 m de espessura, contínuos lateralmente por centenas de metros (Nogueira 2003; Nogueira e Riccomini, 2006).

O contato inferior da Formação Guia no domínio do Cráton Amazônico, nas regiões de Mirassol d'Oeste e Tangará da Serra, se dá de modo brusco e sem evidências de deformação com os dolomitos da Formação Mirassol d'Oeste (Figura 12A e B). Por outro lado, não há quaisquer descrições sobre a existência do limite superior da Formação Guia com a Formação Serra do Quilombo neste domínio.

A base da Formação Guia no domínio do Cráton compõe a porção calcária da capa carbonática Araras, caracterizada por duas microfácies: o *mudstone* calcífero, formado pela alternância de micrito neomorfizado e laminações de grãos terrígenos (Figuras 12 C e D); e *cementstone* (Figuras 12 C e E), constituído por crostas calcíticas e leques de cristais de calcita pseudomorfos a partir da aragonita, com formas fibrosas, alongadas e hábitos pseudo-hexagonal e acicular, semelhantes aos leques de cristais que ocorrem na capa carbonática *Ice Brook* no Canadá (James *et al.*, 2001).

Além disso, é notável nestes calcários a presença de bolsões e fraturas cimentados por calcita e/ou dolomita impregnados por hidrocarbonetos (Figuras 13 A e B). Os hidrocarbonetos (em parte, betume) apresentam aspecto vítreo e, além de ocupar bolsões e fraturas, ocorrem concentrados em superfícies estilolitizadas, juntamente com grãos terrígenos finos, minerais opacos e oxi - hidróxidos de ferro.



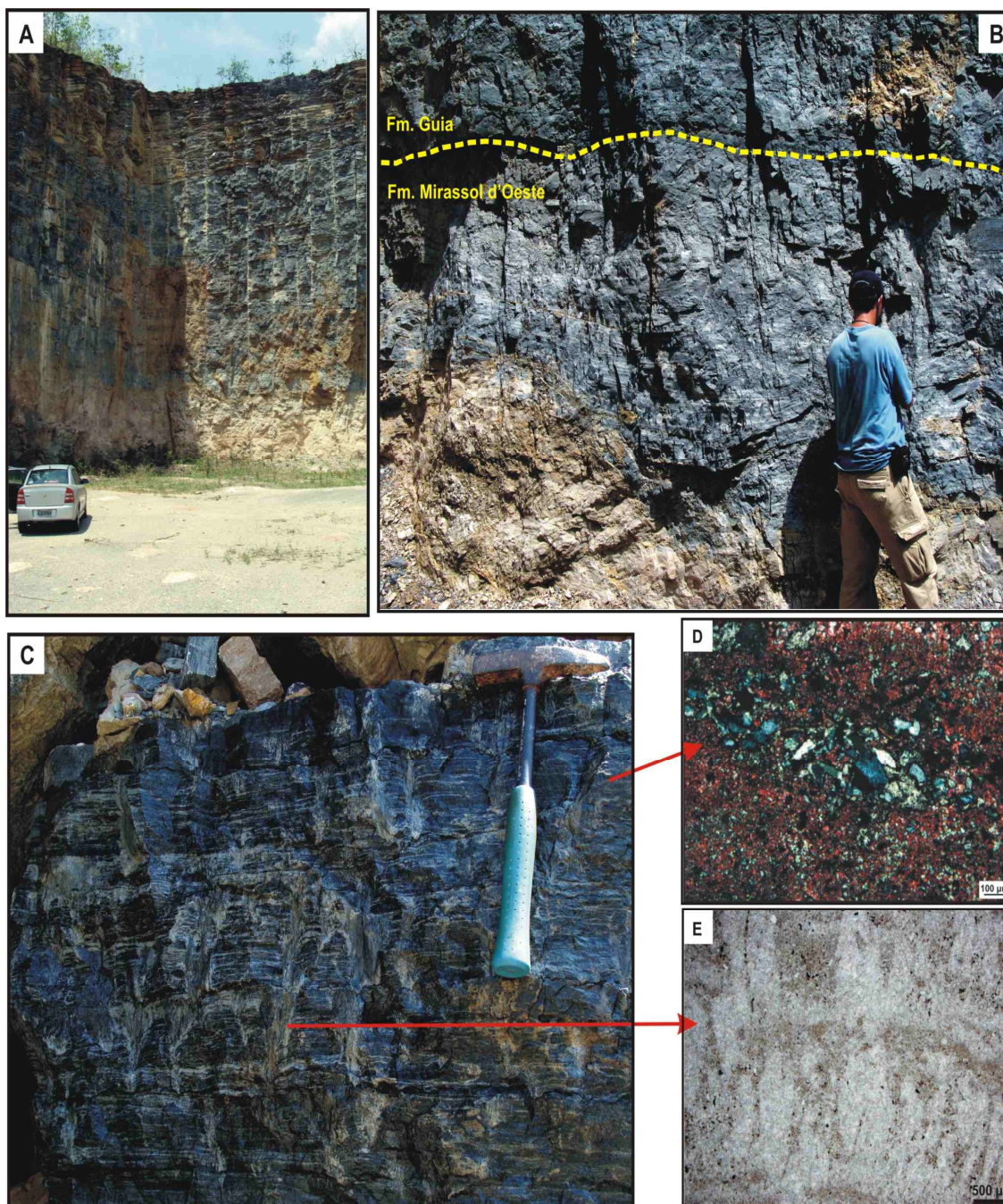


Figura 12 - Holoestratótipo da Capa Carbonática Araras localizada na mina Terconi, região de Mirassol d'Oeste (MT). A) Visão geral das paredes de lavra atualmente desativada. B) Contato abrupto entre os dolomitos da Formação Mirassol d'Oeste e os calcários da Formação Guia. C) Leques de pseudomorfos de aragonita e laminações milimétricas de calcário e folhelho constituem a base da formação Guia, porção calcária da capa carbonática. D) Fotomicrografia da microfácies mudstone calcífero com laminação de grãos terrígenos (nicóis X). E) fotomicrografia da microfácies cementstone, com abundantes leques de cristais e crostas de calcita.

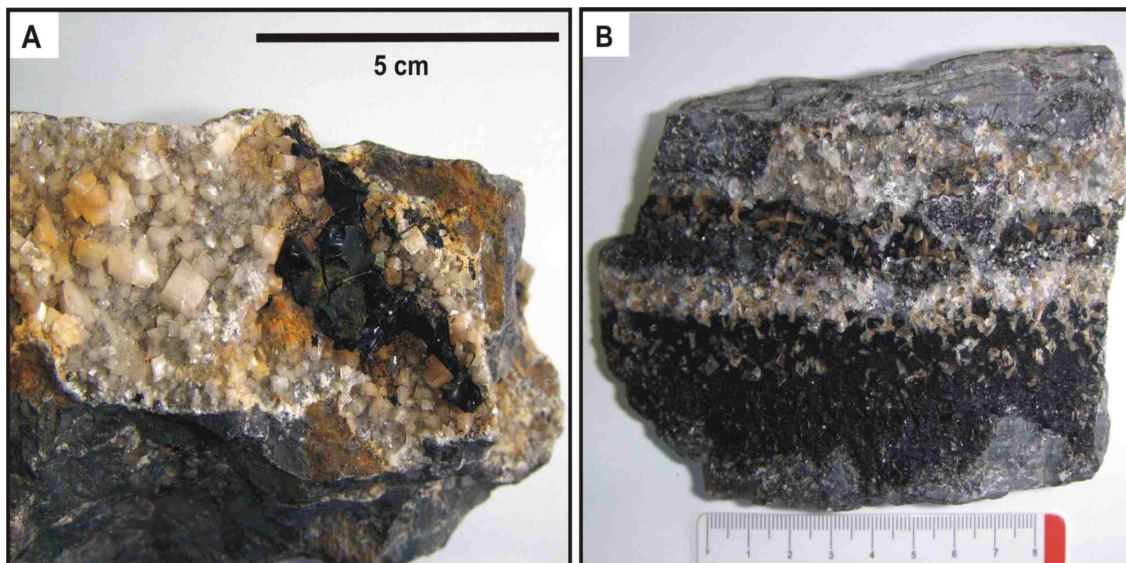


Figura 13 - Acumulação de hidrocarbonetos em bolsões cimentados por calcita (A) e em fraturas cimentadas por calcita e dolomita barroca (B) nos calcários Guia.

No segmento Norte da Faixa Paraguai, os depósitos da Formação Guia encontram-se bem expostos, lateralmente contínuos e com empilhamento de centenas de metros ainda pouco estudados. O entendimento da Formação Guia na Faixa Paraguai, cujas fácies são bastante distintas daquelas aflorantes no Cráton Amazônico, completará lacunas existentes na interpretação paleoambiental da plataforma carbonática Araras, as quais serão elucidadas nos capítulos a seguir.



## 5 A PLATAFORMA CARBONÁTICA DA FORMAÇÃO GUIA, EDIACARANO DA FAIXA PARAGUAI NORTE, ESTADO DO MATO GROSSO, BRASIL

### 5.1 RESUMO

Após a última glaciação do Criogeniano (635 Ma), o aumento da temperatura e a contínua transgressão marinha propiciaram a instalação de plataformas carbonáticas na margem sul do Cráton Amazônico. Mares anóxicos profundos foram sítios de acumulação de lama carbonática rica em matéria orgânica, que originaram os mais espessos depósitos do Grupo Araras, a Formação Guia. Esta unidade com mais de 400 m de espessura, exposta no segmento Norte da Faixa Paraguai, foi estudada em frentes de lavra, nas regiões de Cáceres, Nobres e Cuiabá, sudoeste do Estado do Mato Grosso. A análise de fácies e estratigráfica da Formação Guia permitiu reconhecer três associações de fácies, representativas de uma sucessão retrogradacional lateralmente extensa por centenas de quilômetros: I) face de praia inferior (*lower shoreface*), formado por calcário cinza fino, rico em grãos terrígenos, e marga, com estruturas produzidas por ondas de tempo bom e de tempestades (megamarcas onduladas, acamamento ondulado e estratificação cruzada *hummocky*); II) costa afora (*offshore*), constituído por calcário cinza com partições de folhelho, rico em matéria orgânica; e III) costa afora externa inclinada (*distally-steepened offshore*), representado diferentes tipos de brechas calcárias, intercaladas em calcário cinza e folhelho, produzidos por fluxos gravitacionais de massa em águas profundas e anóxicas. A transição vertical dos depósitos de águas rasas (*shoreface*) para de águas profundas (*offshore*) sem mudança abrupta de fácies, a ausência de estruturas deformacionais rúpteis sinsedimentares e a extensão por centenas de quilômetros destes depósitos são coerentes com sedimentação em rampa homoclinal desenvolvida no Neoproterozóico na porção central do Brasil.

Palavras-chave: Neoproterozóico, Faixa Paraguai, Formação Guia, Rampa Carbonática.

### 5.2 ABSTRACT

After the last Cryogenian glaciation (635 Ma), the increase of temperature and the progressive marine transgression led to the development of carbonate platforms in the southern Amazon craton. Deep anoxic seas were depositional sites of lime mud with abundant organic matter, that generated the thickest deposits of the Araras Group, the Guia Formation.



The unit has more than 400 m thick, exposed in northern Paraguay Belt, was investigated in open pits of quarries in the Cáceres, Nobres and Cuiabá regions, southwestern State of Mato Grosso. The facies and stratigraphic analysis of the Guia Formation allowed to recognize three facies associations representative of a retrogradational succession laterally extensive for hundreds of kilometers: 1) lower shoreface, formed by grey terrigenous-rich fine-grained limestone and marl with structures produced by fairweather and storms waves (megaripple bedding, wavy bedding and hummocky cross-stratification); 2) offshore, consisting of grey to black organic-rich parted to ribbon limestone interbedded with shale; and 3) distally-steepened offshore, represented by different types of limestone breccias interbedded with subordinate grey limestone and shale, produced by gravitational mass flows in anoxic deep waters. The smooth transition of shallow from deep deposits, the absence of brittle sedimentary deformation and the lateral continuity of these deposits for hundreds of kilometers suggest sedimentation in a homocline ramp developed in the central region of Brazil.

Keywords: Neoproterozoic, Paraguay Belt, Guia Formation, carbonate ramp.

### 5.3 INTRODUÇÃO

A implantação de extensas plataformas carbonáticas após a última glaciação do Criogeniano (~ 635 Ma) é relatada em diversas partes do globo em resposta à súbita elevação da temperatura global, concomitante ao degelo das coberturas glaciais que promoveram eventos transgressivos identificados na China, Canadá, Austrália e Oman (Allen e Hoffman 2005, Brasier *et al.* 2000, Burchette e Wright 1992, Hoffman e Schrag 2002, Jiang *et al.* 2003).

No Brasil, um dos melhores exemplos de depósitos transgressivos pós-glaciação global de idade ediacarana (620 – 580 Ma) é a Formação Guia, exposta por centenas de quilômetros no segmento Norte da Faixa Paraguai, Sul do Cráton Amazônico (Figura 14). A Formação Guia, pertencente ao Grupo Araras, representa uma sucessão constituída predominantemente por calcários e folhelhos negros excepcionalmente ricos em matéria orgânica de origem ainda pouco compreendida.

Estas rochas neoproterozóicas tem obtido grande notoriedade por conter informações relevantes, relacionadas não somente às anomalias climáticas e geoquímicas que caracterizaram os episódios pós - glaciais, mas também por apresentar indícios significativos

acerca da origem da vida e ainda por possuir potencial para a geração de hidrocarbonetos, os quais podem ter contribuído como *play* gerador para um possível sistema petrolífero pré-cambriano (em preparação), bem como para a Bacia dos Parecis de idade paleozóica (ANP, 2008).

Trabalhos anteriores desenvolvidos por Nogueira (2003), Nogueira e Riccomini (2006) e Soares e Nogueira (2008) definiram com bastante precisão o limite inferior da Formação Guia com a Formação Mirassol d'Oeste, ao estudar detalhadamente as capas carbonáticas nas regiões de Mirassol d'Oeste e Tangará da Serra, sudoeste do Estado do Mato Grosso. Contudo, ainda é incipiente o entendimento faciológico e paleoambiental da porção superior da Formação Guia, aflorante na Faixa Paraguai, interpretada como depósitos de plataforma profunda anóxica (Nogueira e Riccomini 2006).

O levantamento faciológico de perfis estratigráficos da Formação Guia em pedreiras localizadas nas regiões de Nobres, Cáceres e Guia (distrito de Cuiabá), no sudoeste do estado do Mato Grosso, Centro-Oeste do Brasil, permitiu ampliar a compreensão dos processos deposicionais e diagenéticos desta unidade. Os afloramentos localizados em flancos de dobras são formados por exposições quilométricas, com espessuras que variam de 50 m a mais de 400 m, resultantes da atividade de lavra. Esta nova avaliação paleoambiental da Formação Guia possibilitou o detalhamento da tipologia da plataforma carbonática instalada na porção central da América do Sul no início do Ediacarano e, deste modo, contribuiu para a reconstituição do sistema marinho que acumulou a matéria orgânica e originou os hidrocarbonetos após a última glaciação do Criogeniano (~ 635 M.a.).

#### 5.4 FAIXA PARAGUAI

A Faixa Paraguai compreende uma grande sutura colisional que se estende desde o sudoeste de Goiás, até o Mato Grosso do Sul (Figura 14), ao longo de aproximadamente 1500 km (Almeida 1984). De acordo com os trabalhos de Hasui *et al.* (1992), Tohver *et al.* (2010), dentre outros, esta sutura seria o registro da colisão entre os blocos Amazônia, São Francisco-Congo e Rio de La Plata. Alternativamente, Fuck *et al.* (2008) propõem que a Faixa Paraguai seria o resultado da convergência entre o Cráton Amazônico e o Bloco Paranapanema, este último identificado apenas por métodos gravimétricos.

Almeida (1984) subdividiu a Faixa Paraguai em três zonas estruturais, de oeste a leste: (1) cobertura sedimentar denominada “Brasilides não-metamórficas”, (2) zona externa dobrada, com pouco ou sem metamorfismo (zona transicional) e (3) zona interna metamórfica

com intrusões graníticas chamada de “Brasilides metamórficas”. Os litotipos pertencentes à Formação Guia afloram no segmento Norte da Faixa Paraguai, na zona transicional, deformada, contudo, sem evidências de metamorfismo ou superposição de camadas.

Dentre as rochas mais antigas que constituem a faixa estão as rochas metassedimentares do Grupo Cuiabá, distribuídas por uma vasta área a sul e a leste do orógeno. Estes depósitos são sobrepostos pelos diamictitos da Formação Puga, cuja origem é atribuída ao episódio glacial marinoano (Alvarenga e Trompette 1992, Alvarenga *et al.* 2004, Nogueira *et al.*, 2003), também referido atualmente como “última glaciação do Criogeniano” (Knoll *et al.* 2004, Williams *et al.* 2008).

Os diamictitos da Formação Puga são recobertos pelas rochas carbonáticas do Grupo Araras, uma sucessão carbonática com mais de 600 m de espessura, aflorante no segmento Norte da Faixa Paraguai e margem Sul do Cráton Amazônico (Almeida 1964, Nogueira e Riccomini 2006). Esta unidade tem sido subdividida em quatro formações: Mirassol d’Oeste, Guia, Serra do Quilombo e Nobres (Figura 14). A Formação Mirassol d’Oeste, com 15 m de espessura, é formada por dolomitos rosados e finos, com peloides e estromatólitos. Encontra-se sobre os diamictitos da Formação Puga em contato brusco, lateralmente ondulado e irregular. A Formação Guia, objeto deste estudo, é constituída essencialmente por calcários finos e betuminosos, de cor cinza a preto, intercalados a laminações de folhelhos. O contato da Formação Guia com a Formação Serra do Quilombo é marcado por calcários e dolomitos bastante fraturados, formando brechas cimentadas por dolomita. A Formação Serra do Quilombo consiste de dolomitos finos a arenosos, brechas com cimento de dolomita e brechas com matriz. A Formação Nobres é composta por dolomitos finos a arenosos, brechas, conglomerados dolomíticos, pelitos e níveis de sílex secundário. Subordinadamente ocorrem estromatólitos dômicos e estratiformes na parte superior desta formação. Os primeiros 40 m do Grupo Araras, constituídos por dolomitos, estromatólitos (Formação Mirassol d’Oeste) e calcários (base da Formação Guia), vem compor a sequência de capa carbonática, resultante de eventos transgressivos globais pós-glaciação marinoana (Allen e Hoffman 2005, Nogueira 2003) (Figura 1). Por sua vez, o Grupo Araras acha-se recoberto pelos depósitos siliciclásticos do Grupo Alto Paraguai (Figura 14).

Publicações recentes relacionadas à datação da Faixa Paraguai tem revelado que a tectônica colisional que originou a Faixa perdurou até o Cambriano (McGee *et al.* 2012). Idades U-Pb obtidas a partir de zircões provenientes do plúton granítico São Vicente, intrudido em rochas metamorfixadas em fácies xisto verde do Grupo Cuiabá, porção central do domínio interno dobrado, apontam idades de  $518 \pm 4$  Ma (McGee *et al.* 2012).

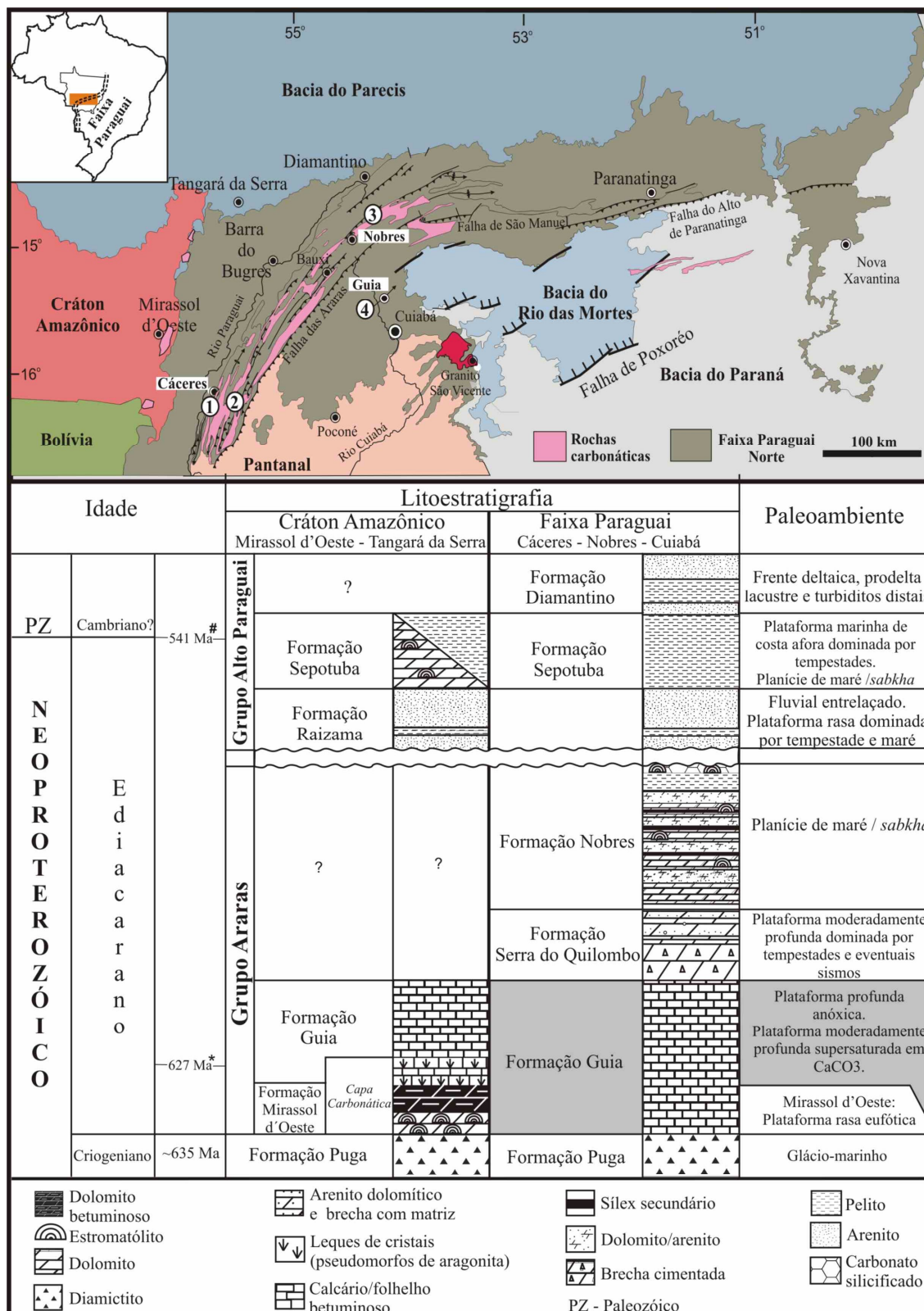


Figura 14 – Mapa geológico da porção Norte da Faixa Paraguaí, modificado de Nogueira (2003). Os números localizam as pedreiras estudadas - 1) EMAL-CAMIL, 2) Carmelo, 3) COPACEL e 4) Sinclinal da Guia. Quadro litoestratigráfico correspondente aos depósitos sedimentares aflorantes no segmento Norte da Faixa Paraguaí, com destaque a Formação Guia. # Datação U-Pb em zircão detrítico. \*Datação Pb-Pb em carbonato. Fonte: Babinski *et al.* (2006), Bandeira *et al.* (2006), Nogueira (2003) e Nogueira e Riccomini (2006)

Esta idade marca o término do evento deformacional na Faixa Paraguai e os estágios finais de acreção do supercontinente Gondwana. Em adição, idades U-Pb obtidas a partir de grãos de zircão provenientes da unidade de topo do grupo Alto Paraguai apontam idade mínima das áreas-fonte de  $541 \pm 7$  Ma. Esta idade indica que a deposição sedimentar da Bacia Paraguai alcançou o Eopaleozóico (Bandeira *et al.* 2011).

## 5.5 MÉTODOS

Para a determinação das fácies sedimentares foi adotada a proposta de Walker (1990) que compreende aspectos como composição da rocha, geometria, texturas e estruturas sedimentares das fácies que, agrupadas em associações, possibilitam a reconstituição de ambientes e sistemas deposicionais. Como auxílio às interpretações paleoambientais, foram realizadas análises petrográficas para a identificação dos constituintes deposicionais e diagenéticos, texturas e fábricas dos litotipos. A classificação das rochas carbonáticas seguiu a proposta petrográfica de Dunham (1962), enquanto as brechas calcárias foram interpretadas de acordo com o trabalho de Laznicka (1988). As amostras foram coletadas sistematicamente a partir do levantamento faciológico realizado em campo, e as lâminas confeccionadas a partir das amostras foram tingidas com alizarina vermelha-s para o reconhecimento das fases minerais carbonáticas (Adams *et al.* 1984).

## 5.6 FORMAÇÃO GUIA

### 5.6.1 Aspectos gerais e base de dados

Os afloramentos correspondentes à Formação Guia são numerosos no segmento Norte da Faixa Paraguai, principalmente em frentes de lavra. No total foram levantados, estudados e correlacionados quatro perfis estratigráficos: dois situados na região de Cáceres, nas Pedreiras EMAL – CAMIL e Carmelo; um na região de Nobres, na Mina COPACEL e um na região de Nossa Senhora da Guia, distrito de Cuiabá, pertencente à Guia Mineração (Figuras 14 e 15). Estas exposições apresentam espessuras que variam entre 50 m a mais de 400 m e são observadas em estruturas de sinclinal, como o afloramento da pedreira em Ns<sup>a</sup>. Sr<sup>a</sup>. da Guia, e em flancos de dobra com direção SE-NW e mergulhos que variam entre 40° a 60°, com sentido para SE.

As fácies da Formação Guia formam camadas tabulares, lateralmente contínuas por dezenas de quilômetros, representadas principalmente por calcários finos e folhelhos de

coloração cinza e, subordinadamente, brechas sinsedimentares. O contato entre a base da Formação Guia e o topo da Formação Puga não é aflorante na área de estudo. Contudo, os calcários da Formação Guia e os diamictitos maciços da Formação Puga afloram a poucos metros um dos outros, o que possibilitou inferir o contato entre as duas formações. O limite entre a Formação Guia e Formação Serra do Quilombo, identificado na seção da EMAL - CAMIL, é abrupto, caracterizado por brechas dolomíticas cimentadas (Figuras 15 e 16).

Foram individualizadas oito litofácies agrupadas em três associações de fácies: i) face de praia inferior, ii) costa afora e iii) costa afora externa inclinada (Figura 15 e Tabela 1). Calcários com abundantes grãos terrígenos são encontrados na base da Formação Guia, próximo ao contato com os diamictitos da Formação Puga, e se estendem até os primeiros 40 m da sucessão, com estruturas sedimentares produzidas por ondas. Acima deste nível, em direção ao topo, a Formação Guia é caracterizada por estratos tabulares e monótonos de calcários intercalados a folhelhos negros. Em interação com estas fácies, há vários níveis de brechas, com texturas e fábricas distintas. Em todos os litotipos é comum a presença de partições de dissolução, nódulos de sílica, bolsões com acumulações de hidrocarbonetos e estilólitos com concentrações de grãos terrígenos, oxi-hidróxido de ferro e matéria orgânica. Vênulas, microfraturas e microfalhas também são recorrentes.

## 5.6.2 Associações de fácies

### 5.6.2.1 AF1 – Face de praia inferior (*lower shoreface*)

A associação de fácies 1 (AF1) é caracterizada por calcários com estruturas produzidas por ondas. Os calcários possuem abundantes grãos terrígenos finos, que ressaltam as estruturas sedimentares. As litofácies que compõem esta associação de fácies são calcário com acamamento de megamarcas onduladas (Cmo), calcário com estratificação cruzada *hummocky* (Ch) e calcário com acamamento ondulado (Cao) (Tabela 1). Estes depósitos abrangem no máximo 40 m de espessura e passam de forma gradual para calcários do *offshore* proximal (AF2) com poucos terrígenos.

A fácies Cmo é formada por calcário cinza claro contendo lâminas de grãos terrígenos. As megamarcas onduladas são predominantemente assimétricas, com altura máxima de 4 cm e comprimentos de onda entre 15 a 30 cm. Localmente ocorrem truncamentos nas marcas onduladas com cristas angulosas a sinuosas, exibindo laminações de grãos terrígenos impregnadas por oxi - hidróxido de ferro / matéria orgânica (Figura 17 A e B). A fácies Ch apresenta estratificação cruzada *hummocky* (ECH) de pequeno porte, com dimensões

milimétricas a centimétricas, formada por *sets* ondulados, com mergulho suave (inferior a 10°), constituídos por silte grosso a areia muito fina. Os *sets* de ECH se espessam e se adelgamam sistematicamente, com truncamentos de baixo ângulo. Subordinadamente ocorrem níveis com laminações plano-paralelas, onduladas e cruzadas, truncadas pelos *sets* basais da ECH (Figura 17 C e D). A fácies Cao é formada por calcário cinza claro, com acamamento suavemente ondulado de grande comprimento de onda e pequena altura, com cristas sinuosas recobertas por níveis de marga, com tom amarelado, oriundo da ação intempérica, as quais acompanham a ondulação dos estratos (Figura 17 E).

Em seção delgada, estes calcários são compostos por calcita microespática. Dentre os abundantes grãos terrígenos foram identificados principalmente quartzo, feldspatos alterados e micas (em sua maioria muscovita), de granulometria silte grosso a areia muito fina, com formas predominantemente subangulosas, compondo lâminas plano - paralelas, onduladas e cruzadas (Figura 17 F). Nos níveis margosos da fácies Cao, com abundantes grãos terrígenos, a dolomitização é intensa e partições de dissolução (*dissolution seams*) são frequentes, impregnados por hidrocarbonetos ou oxi-hidróxido de ferro (Figura 17 G). Além disso, foram identificados fantasmas de oóides / pelóides nesta fácies, com formas circulares a elípticas, diâmetros entre 100 a 250 µm, de granulometria areia muito fina a média (Figura 17 H). Estes grãos ora compõem laminações onduladas, ora se acham dispersos na matriz microespática. O intenso neomorfismo destes constituintes não permitiu a identificação de estruturas internas, o que impossibilitou a definição do tipo do grão carbonático.

A sedimentação destes calcários ocorreu em ambiente marinho raso sob ação de ondas. Em condições mais energéticas, a migração de formas de leito causada pelo fluxo oscilatório resultou na formação de megamarcas onduladas nos calcários da fácies Cmo. A migração das cristas superimpostas das megamarcas onduladas em diferentes direções indica a influência do fluxo oscilatório concomitante com a agradação das formas de leito. Por sua vez, a deposição alternada entre lama carbonática e grãos terrígenos finos retrabalhados pelo fluxo oscilatório no fundo da plataforma gerou estratos ondulados característicos da fácies Cao. Estas ondulações se ressaltam em virtude do recobrimento por siliciclásticos finos, que se depositaram a partir de suspensão. A presença de estratificação cruzada *hummocky* implica em sedimentação eventualmente sujeita a ação de ondas de tempestades. Estas estruturas são comumente formadas em ambiente marinho raso, acima ou próximo à base das onda de tempestade.

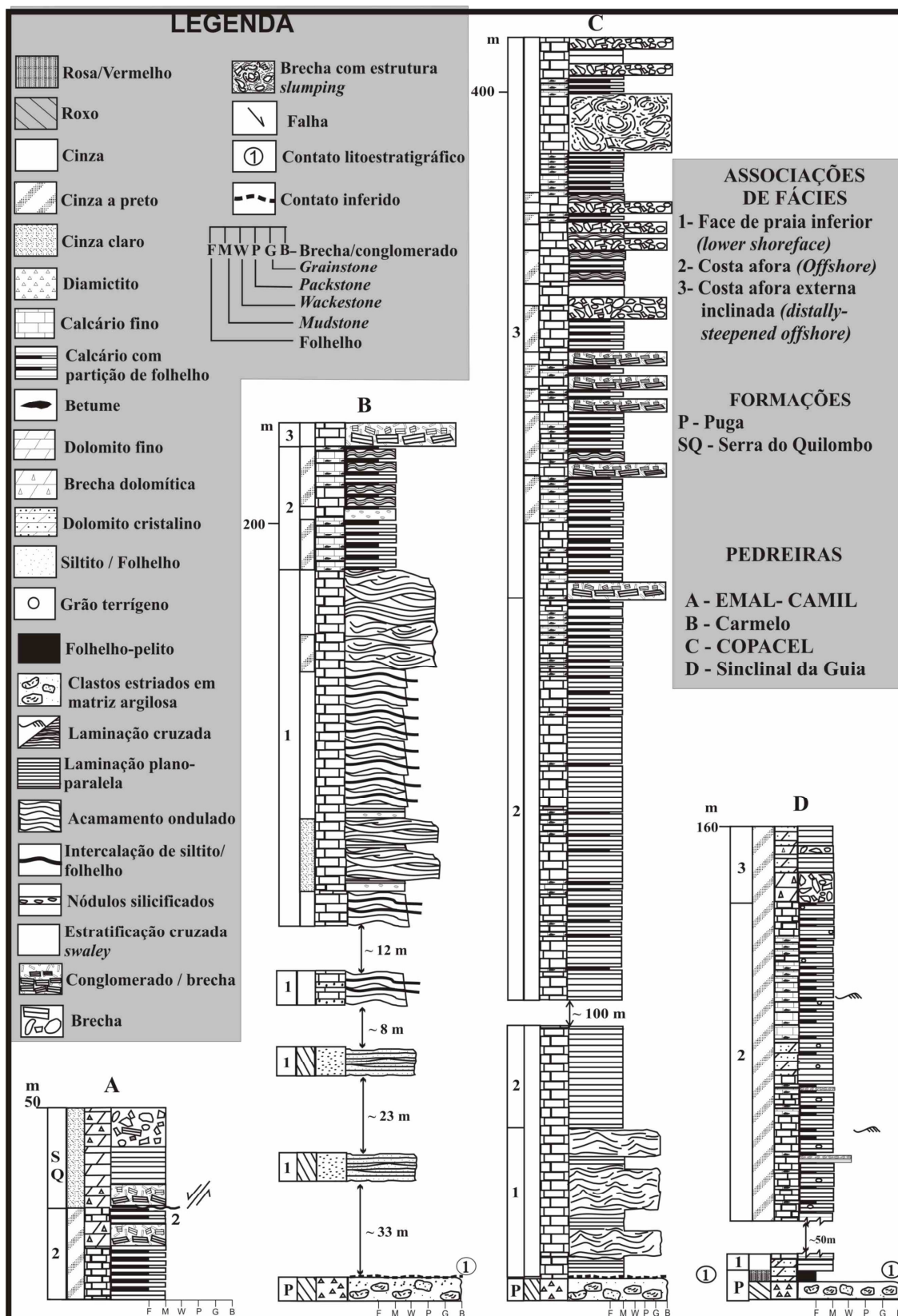


Figura 15 – Perfis estratigráficos da Formação Guia obtidos a partir de afloramentos em frentes de lavra nos municípios de Cáceres (A / B), Nobres (C) e Ns<sup>a</sup>. Sr<sup>a</sup>. da Guia (D), sudoeste do estado do Mato Grosso.



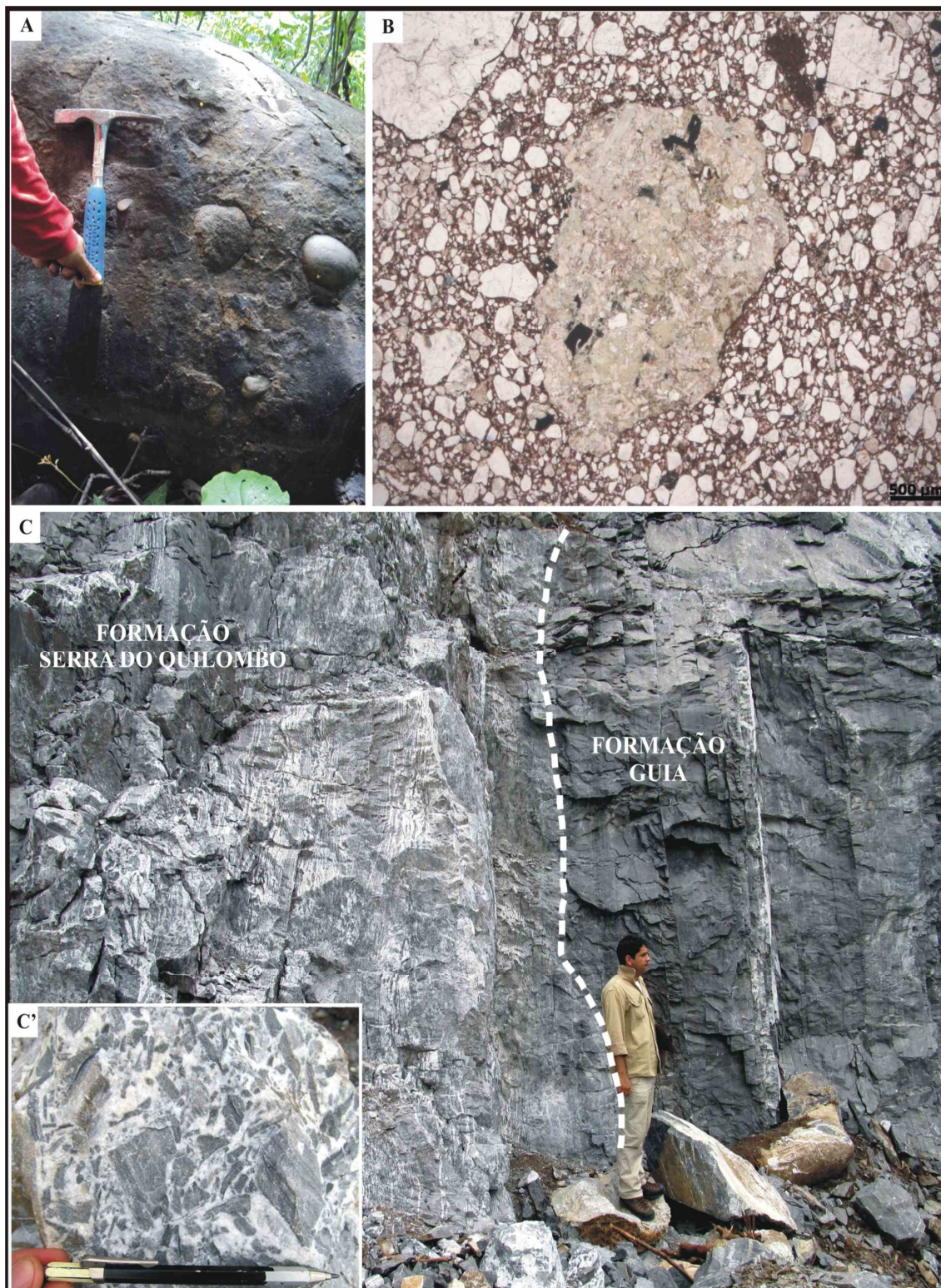


Figura 16 – Aspectos litológicos e estratigráficos das zonas de contato da Formação Guia. A) Diamictito referente à Formação Puga, a 15 m das primeiras camadas de calcário da Formação Guia, Mina Copacel, Nobres. O contato direto entre as duas formações não foi observado, e, portanto, foi inferido a partir das medidas de campo. B) Fotomicrografia do diamictito, com litoclastos imersos em matriz areno-argilosa. C) Contato litoestratigráfico entre as formações Serra do Quilombo e Guia, marcado por brechas dolomíticas cimentadas; pedreira EMAL-CAMIL, Cáceres. C') foto de detalhe das brechas cimentadas, com clastos tabulares e estruturas sedimentares ainda preservadas.

Associações de Fácies	Litofácies / Microfácies	Descrição	Processo / Interpretação
Face de praia inferior ( <i>lower shoreface</i> ) (AF1)	Calcário com acamamento ondulado (Cao) / <i>Mudstone</i> a <i>Wackestone</i> com ooides/peloides	Camadas onduladas de calcário fino cinza, separadas por níveis de marga. Laminação interna paralela a cruzada	Migração de marcas onduladas por fluxo oscilatório. Fluxo combinado produzido durante o declínio de tempestades ( <i>waning</i> ).
	Calcário com acamamento de megamarcas onduladas (Cmo) / <i>Mudstone</i>	Calcário fino com laminações de grãos terrígenos, as quais ressaltam megamarcas onduladas e laminações onduladas e truncadas. Laminação plano-paralela subordinada	Migração de macroformas por ação de fluxo oscilatório combinado.
	Calcário com estratificação cruzada <i>hummocky</i> (Ch) / <i>Mudstone</i>	Camadas onduladas de calcário fino cinza a bege com laminações truncadas de baixo ângulo (< 10°), tipo <i>hummocky</i> , ressaltadas por grãos terrígenos. Subordinada estratificação plano-paralela a cruzada de baixo ângulo	Ação de fluxo combinado, predominantemente oscilatório produzido por ondas de tempestades. Migração de marcas onduladas e fluxo em lençol gerados no declínio de tempestades.
Costa afora ( <i>offshore</i> ) (AF2)	Calcário laminado (Cl) / <i>Mudstone</i>	Camadas tabulares de calcário fino, com no máximo 3 cm de espessura, intercaladas a lâminas milimétricas de folhelho, contínuos lateralmente por dezenas de metros	Sedimentação hemipelágica em ambiente anóxico de baixa energia, abaixo da base de ondas de tempestade, com predominância de deposição por suspensão.
	Calcário com partição de folhelho (Cpf) / <i>Mudstone</i>	Alternância entre camadas delgadas de calcário cinza fino (até 1 cm de espessura) e partições de folhelho negro, contínuos lateralmente por dezenas de metros. Semelhante à fácies Cl, contudo, as camadas de calcário são menos espessas, e os limites calcário-folhelho são bastante nítidos	Alternância entre processos de precipitação de lama carbonática e deposição por suspensão de siliciclásticos finos em ambiente anóxico de baixa energia, relacionado a sedimentação hemipelágica. Concentração de matéria orgânica
Costa afora externa inclinada ( <i>distally steepened distal offshore</i> ) (AF3)	Brecha calcária grão-suportada (Bc) / <i>Rudstone</i>	Camadas tabulares de brecha calcária suportada por clastos. Clastos são subarredondados a subangulosos, formados por calcita microespática. Abundantes estilólitos e ocorrência de bolsões de matéria orgânica	Deposição a partir de fluxos gravitacionais subaquosos (correntes de turbidez de alta densidade ou fluxo de detritos), relacionados à escorregamentos.
	Brecha calcária matriz-suportada (Bt) / <i>Floatstone</i>	Camadas tabulares de brecha monomítica suportada por matriz, com clastos predominantemente tabulares, milimétricos a centimétricos, constituídos por calcita, e imersos em matriz microespática. Ocorrência de matéria orgânica	Deposição a partir de fluxos de detritos laminares, com alta viscosidade.
	Brecha com deformação sedimentar pervasiva (Be) / <i>Floatstone</i>	Camadas espessas e tabulares de brecha monomítica suportada por matriz, com deformação plástica sinsedimentar, constituída de calcita microespática com abundantes estilólitos. Fenoplastos presentes na matriz	Deposição a partir de fluxos gravitacionais turbulentos e liquefeitos de alta viscosidade.

Tabela 1 – Associações de fácies, litofácies, microfácies e processos deposicionais relacionados à Formação Guia no segmento Norte da Faixa Paraguai.



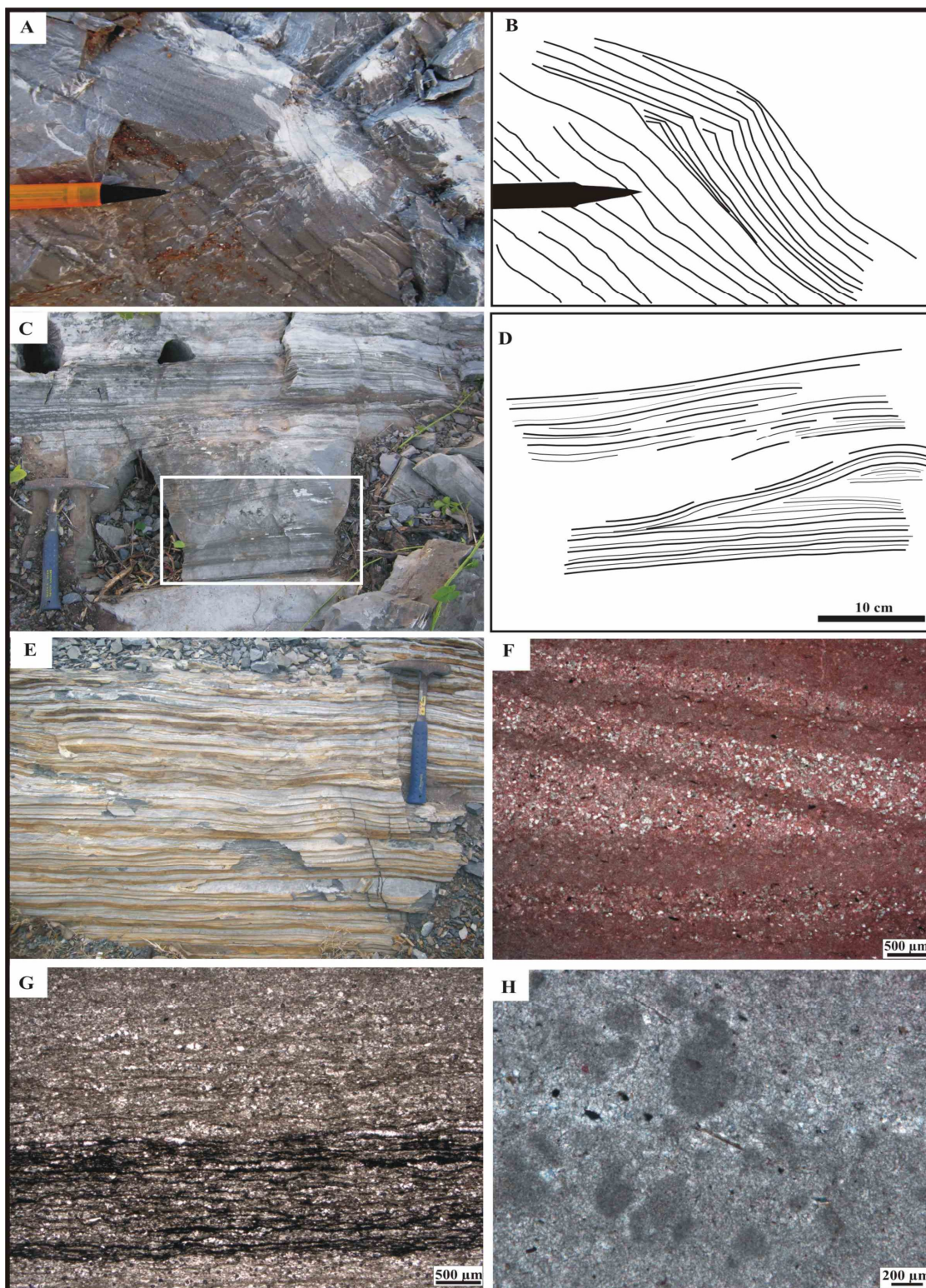


Figura 17 – Litofácies da AF1. A) Truncamento entre marcas onduladas de cristas angulosas e sinuosas da fácies Cmo. B) Desenho esquemático da foto em A. C) Calcário da fácies Ch. D) Desenho esquemático da foto em C, com destaque a estratificação cruzada hummocky. E) Calcário alternado com margá (níveis ondulados com tons amarelados) da fácies Cao. F) Fotomicrografia da fácies Cmo com laminações inclinadas constituídas por grãos terrígenos finos. G) Fotomicrografia dos níveis com margá da fácies Cao, composta por abundantes grãos terrígenos, dolomita e partições de dissolução impregnados por hidrocarbonetos. H) Calcário da fácies Cao com laminação formada por grãos terrígenos e ooides / peloides.

A preservação destas estruturas, bastante precárias em carbonatos, se dá em virtude das altas taxas de agitação sedimentar durante os eventos de tempestade (Dumas e Arnott, 2006). Subordinadamente, laminações plano-paralelas, onduladas e cruzadas com truncamento de baixo ângulo provavelmente estão relacionadas ao fluxo oscilatório menos intenso durante o declínio (*wanning*) das tempestades.

A presença de ooides / peloides também indica que a sedimentação se deu em ambientes de águas rasas, com alta energia e sob ação de ondas. Estas condições ambientais são muito comuns para a maioria dos ooides / peloides encontrados no registro sedimentar, apesar de não representar uma feição diagnóstica de um ambiente sedimentar em particular, visto que ocorrem em um amplo espectro ambiental (Tucker e Wright, 1990). Os requisitos ambientais necessários para a formação destes grãos são águas quentes, rasas, saturadas ou supersaturadas em carbonato de cálcio, condições típicas de mares tropicais rasos atuais. A origem dos ooides até hoje permanece em aberto, contudo, acredita-se que alguns ooides são formados por processos biogênicos, enquanto outros são puramente precipitados químicos (Tucker e Wright, 1990).

#### 5.6.2.2 AF2 – Costa afora (*offshore*)

A associação de fácies 2 corresponde aos maiores e mais expressivos depósitos da Formação Guia no segmento Norte da Faixa Paraguai. Apesar da extensão de centenas de quilômetros e espesso empilhamento sedimentar, esta associação abrange apenas duas fácies: calcário laminado (Cl) e calcário com partição de folhelho (Cpf) (Figura 18 A e B). Ambas as fácies apresentam uma única estrutura sedimentar: a estratificação plano - paralela, contínua por dezena de metros. Isto reflete o notável caráter monótono destes depósitos plataformais de grande continuidade lateral. Esta associação de fácies é mais representativa na Mina Copacel, região de Nobres, onde apresenta espessuras superiores a 150 m (Figura 18 A).

A fácies Cl é formada por calcário fino cinza, disposto em camadas tabulares de até 3 cm de espessura, alternando com laminações plano-paralelas milimétricas de grãos terrígenos e / ou folhelhos negros, com espessuras de no máximo 0,5 mm. A fácies Cpf é formada por camadas delgadas e tabulares de calcário fino cinza escuro alternadas a lâminas de folhelhos negros, ambos de espessuras milimétricas a centimétricas de no máximo 1 cm. Esta fácies é bastante semelhante à fácies Cl (Calcário laminado), todavia, os estratos apresentam menor espessura e as partições de folhelho são mais frequentes, conferindo fissilidade à rocha nos níveis de folhelho (Figura 18 B).

Em seção delgada, estes calcários são constituídos por mosaico xenotópico de microesparito (5 a 30  $\mu\text{m}$ ) a pseudoesparito (30 a 50  $\mu\text{m}$ ). São comuns partições de dissolução e estilólitos, que conferem a rocha uma pseudolaminação (Figuras 18 C e D). De acordo com a classificação de Dunham, tratam-se exclusivamente de *mudstones*.

Camadas planas de calcário fino contínuas por quilômetros são coerentes com sedimentação em uma extensa plataforma carbonática, em condições de baixa energia e abaixo da base de ondas de tempestade. Além disso, a cor cinza destes calcários, impregnados por matéria orgânica e a presença de folhelhos negros com pirita revelam condições de anoxia e de água estagnada, as quais favoreceram o acúmulo e preservação da matéria orgânica.

A intercalação entre calcário e folhelho sugere a alternância entre processos de precipitação química da lama carbonática e deposição a partir de suspensão de siliciclásticos finos, oriundos da própria sedimentação hemipelágica / pelágica, ou provenientes de correntes de turbidez de baixa densidade em porções distais (*offshore*) da plataforma carbonática. A aparente foliação encontrada nos calcários da fácies Cpf está provavelmente relacionada a deformação tectônica dos depósitos, com deslizamentos intraestratais concentrados nos níveis de folhelho.

#### 5.6.2.3 AF3 – Costa afora externa inclinada (*distally-steepened offshore*)

A associação de fácies 3 representa os depósitos mais distais da plataforma carbonática, constituídos por diferentes tipos de brechas calcárias com matriz, análogos a depósitos formados por fluxo gravitacionais em taludes. As brechas apresentam espessuras bastante variáveis, de poucos centímetros até 12 m. Estes pacotes encontram-se intercalados a calcários da fácies Cl e Cpf, cujo contato com as brechas é brusco, com superfícies irregulares a onduladas (Figura 19 C). As brechas são mais expressivas na Pedreira Copacel e representam três tipos: brecha calcária matriz-suportada, com clastos tabulares (Bt), brecha calcária grãos-suportada (Bc) e brecha com deformação sedimentar pervasiva (Be).

A fácies Bt compõe camadas com espessuras de até 4 m. São brechas monomíticas com fábrica anisotrópica suportada por matriz, onde é possível observar a estrutura primária do acamamento nos clastos (Figura 19 A). Os clastos do arcaibouço mostram comprimentos milimétricos a centimétricos e flutuam na matriz. São predominantemente tabulares, mostram imbricação e estão orientados de modo subparalelo, ondulado a oblíquo em relação ao acamamento original. Segundo Embry e Klován (1971), estas brechas correspondem à *floatstones*, análogos aos *wackestones* de Dunham (1962).



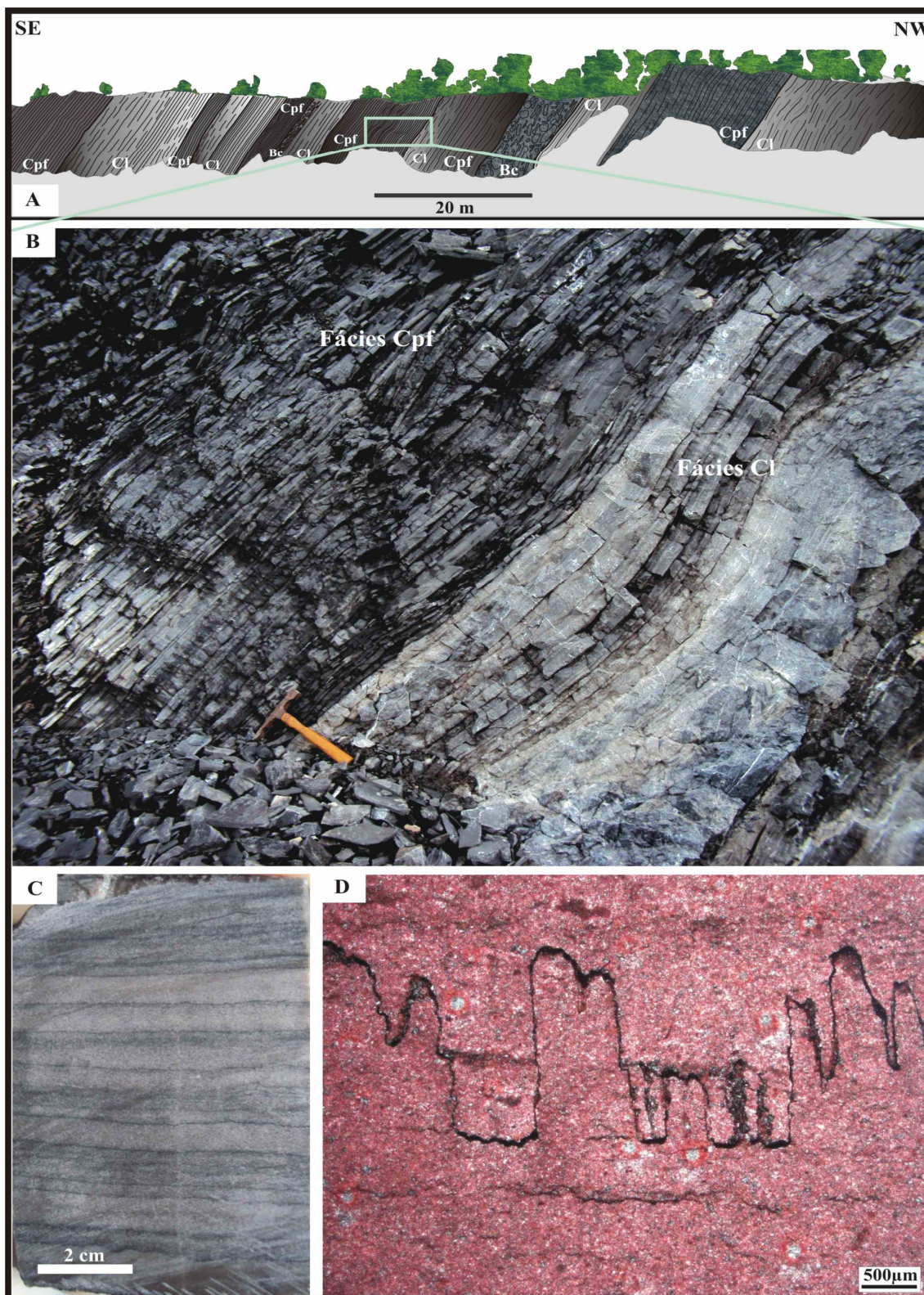


Figura 18 – Litofácies da associação AF2. A) Seção panorâmica da Mina Copacel - Nobres. As siglas correspondem as fácies: Cpf – calcário com partição de folhelho, Cl – calcário laminado e Bc – brecha calcária. B) Foto de detalhe do retângulo em A, com as fácies Cpf e Cl. C) calcário com pseudolaminação formada por partições de dissolução paralelas entre si. D) fotomicrografia da fácies Cl, formada por calcita microespática com grãos terrígenos, estilólitos e partição de dissolução impregnados por hidrocarbonetos e óxido-hidróxido de ferro.

A fácies Be, com feições de escorregamento, compreende camadas tabulares de até 13 m de espessura. Apresenta arcabouço aberto suportado por matriz, com padrão zebado marcado por estilólitos (Figura 19 B). Associado a esta fácies ocorrem laminações convolutas. Acumulações de hidrocarbonetos em superfícies estilolíticas são comuns nesta fácies (Figura 19 B). Os poucos fenoplastos que compõem este tipo de brecha são subarredondados e apresentam limites suturados (estilólitos). Grande parte dos fenoplastos não é passível de distinção da matriz devido ao elevado grau de deformação e homogeneização entre clastos e matriz. De acordo com Embry e Klovan (1971), essas brechas são denominadas *floatstones* e *mudstones*, equivalente aos *wackestones* e *mudstones* de Dunham (1962).

As brechas da fácies Bc constituem camadas tabulares com espessuras de até 6 m. São monomíticas, suportadas por clastos de comprimento que variam de milímetros a centímetros (Figura 19 C). Suas formas variam entre tabular, circular a irregular, dispostas de modo caótico no arcabouço, sem imbricação ou quaisquer vestígios do acamamento original. A matriz microespática está presente em pequenas proporções, preenchendo os diminutos interstícios entre os clastos. Estas brechas correspondem ao *rudstone* de Embry e Klovan (1971) ou *packstone*, de Dunham (1962).

Em seção delgada, matriz e clastos são constituídos por um mosaico xenotópico de microesparitos a pseudoesparitos. Estilólitos e fraturas são feições diagenéticas muito comuns. A interseção entre estilólitos, ou entre fraturas e estilólitos delimitam microclastos, de tamanho silte grosso a seixo (Figura 19 D).

Processo de dolomitização foi identificado nestas brechas. São encontrados cristais romboédricos, anédricos e massas anedrais de dolomita substituindo matriz e clastos. Além disso, cristais de dolomita barroca com faces curvadas e extinção ondulante, de tamanho médio a muito grosso ocorrem em clastos (Figura 19 E), fraturas e falhas. Associada a dolomitização ocorre porosidade. São comuns poros intercristalinos interconectados no contorno de romboedros e massas de dolomita anédrica e de dolomita barroca (Figura 19 E), alguns preenchidos por hidrocarbonetos.

Depósitos de brechas com intraclastos de *mudstone*, ora suportado por matriz, ora suportado por clastos, com pobre seleção e fábrica isotrópica predominante são características relacionadas a mecanismos transicionais entre fluxos de detritos e correntes de turbidez de alta densidade, ambos variantes de fluxos gravitacionais subaquosos, ocorridos na porção



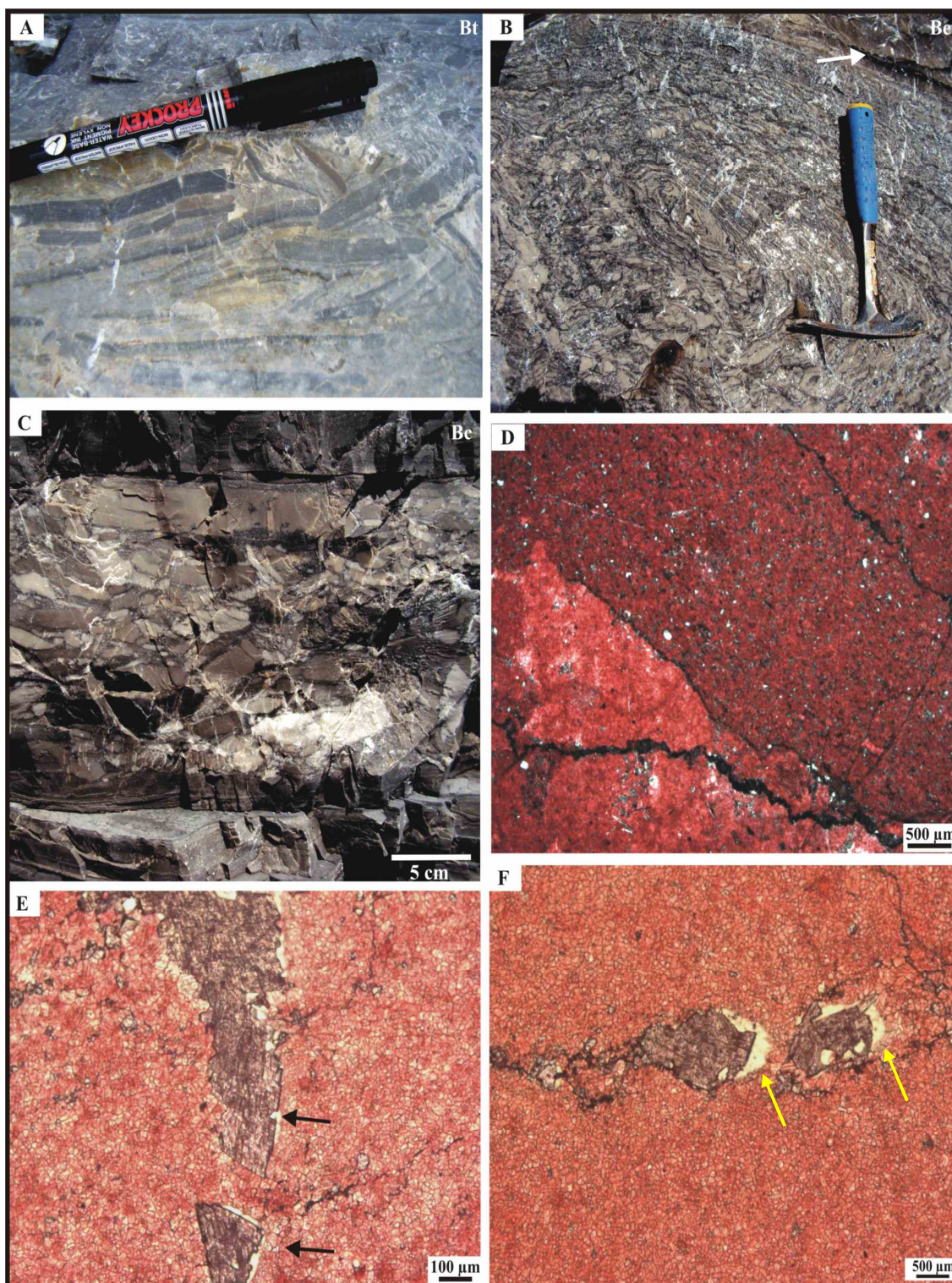


Figura 19 – Litofácies da AF3. A) Brecha calcária com empacotamento frouxo e clastos tabulares (Bt). B) Brecha com feições de escorregamento (Be). Seta branca indica acumulações de hidrocarbonetos em estilólitos. C) Brecha calcária com arcabouço fechado (Bc). D) Fotomicrografia de brecha da fácies Bc, com clastos irregulares e alongados, formados por microesparito a pseudoesparito, delimitados por limites estilolíticos. E) Substituição de calcita microespática por dolomita barroca (seta em preto). F) Porosidade intercristalina (seta amarela) associada à dolomita.



externa da plataforma. Estas correntes trativas possuem competência para transportar intraclastos grossos, e, por isso, possuem potencial erosivo capaz de gerar clastos tabulares do substrato ainda semi consolidado ( fácies Cpf /Cl), incorporando-os parcialmente ao fluxo gravitacional. Os depósitos resultantes são debritos, ou seja, uma mistura coesa de detritos e sedimentos (Einsele *et al.* 1991).

A geometria tabular destas camadas é uma característica comum em sequências turbidíticas calcárias, depositados a partir de fluxos sob forma de lençol. Além disso, os limites estilolíticos dos clastos do arcabouço das brechas são feições comuns em turbiditos grossos submetidos à dissolução por pressão preferencial ao longo dos limites dos clastos (Einsele *et al.* 1991).

O aspecto caótico e as feições semelhantes ao fluxo turbulento/liquefeito dos depósitos de brecha com feições de escorregamento indicam que estas rochas experimentaram deformação sinsedimentar, ainda em estado plástico, relacionada aos fluxos gravitacionais de alta viscosidade. Trata-se de depósitos de escorregamento de sedimentos inconsolidados, um tipo de fluxo gravitacional de massa que ocorre com frequência em substratos sob gradiente suave a íngreme (poucos graus). O padrão zebrado desta brecha pode refletir a alternância de dois litotipos distintos que serviram de fonte para o fluxo de massa, ou seja, o calcário e folhelho. A origem das laminações convolutas, associadas às brechas da fácies Be, pode ser atribuída a diversos processos: escape de água por compactação diferencial das porções mais basais da camada, escorregamentos, deformação causada pela movimentação de correntes (de turbidez, por exemplo) e deformação sinsedimentar por sobrecarga causada pelo peso das camadas sobrejacentes são algumas das sugestões mais comuns para a formação destas estruturas (Potter e Pettijohn, 1977). Apesar das diversas sugestões, convoluções são estruturas recorrentes em sequências turbidíticas, também relacionados aos fluxos gravitacionais de massa (Potter e Pettijohn, 1977).

## 5.7 MODELO DEPOSICIONAL

A Formação Guia na região Norte da Faixa Paraguai corresponde a uma sucessão carbonática retrogradante, de plataforma intermediária a profunda, com depósitos de face de praia inferior (*lower shoreface*), influenciados por ondas de tempestade, sobreposta por depósitos plataformais de calcários e folhelhos, e brechas, estas últimas na porção externa da plataforma instalada no sul do Cráton Amazônico durante o Ediacarano inferior (635 – 580 M.a.).

O início da sedimentação na plataforma carbonática ocorreu logo acima dos depósitos glaciogênicos da Formação Puga. A sedimentação foi predominantemente mista, com grande contribuição de material terrígeno. Calcários com megamarcas onduladas, acamamento ondulado e com estratificação cruzada *hummocky*, bem como ooides / peloides, identificados em seção delgada, são evidências inequívocas de deposição em ambiente marinho raso sujeito a ação de ondas de tempo bom e de tempestades (face de praia inferior).

Os depósitos de face de praia, com até 40 m de espessura, são recobertos gradualmente por fácies de costa afora, com espessuras de centenas de metros. São depósitos com acentuada monotonia litológica e estrutural, refletida pela continuidade lateral por centenas de quilômetros de camadas tabulares de calcário intercalado a delgadas lâminas de folhelho, os quais são produto da sedimentação hemipelágica da plataforma, abaixo da ação de ondas de tempestades, em águas anóxicas e estagnadas, indicada pela presença de sulfetos e abundância de material orgânico acumulado nestas rochas.

Em porções mais profundas e distais de costa afora houve grande acúmulo de sedimentos, favorecido pela alta produção de carbonatos. Nestas regiões foram formados sedimentos rudáceos (brechas) provenientes de fluxos gravitacionais de massa que retrabalharam fácies do substrato (Cl/Cpf). Estes litotipos são comuns em regiões onde há quebra da plataforma, ou seja, nos taludes, contudo, devido a pouca continuidade lateral desses depósitos, não é possível delimitar um paleotalude para a sucessão calcítica encontrada na região norte da Faixa Paraguai. A ausência de fácies pelágicas na sucessão sedimentar sugere duas hipóteses: ou esta plataforma não foi tão profunda a ponto de desenvolver condições bacinais, ou os sedimentos bacinais do topo da sucessão Guia foram expostos e erodidos.

Para a definição da morfologia da plataforma, alguns aspectos foram considerados: a transição vertical dos depósitos de águas rasas (face de praia) para de águas profundas (costa afora) sem mudança abrupta de fácies, a ausência de estruturas deformacionais rúpteis sinsedimentares (falhas e de depósitos de deslizamento) e a extensão por centenas de quilômetros destes depósitos. Todas estas feições são diagnósticas de plataformas em rampa do tipo homoclinal (Read 1982, 1985) (Figura 20).

Plataformas em rampa ocorrem na maior parte dos tipos de bacias sedimentares, contudo, são mais desenvolvidas onde a subsidência é flexural e os gradientes são suaves por grandes áreas, como em bacias de margem passiva. O Golfo Arábico aparece como o representante moderno e ideal das plataformas tipo rampa. Já dentre os exemplos neoproterozóicos de rampas carbonáticas pode-se citar a Formação Wonoka, no Sul da

Austrália, e o Grupo Huqf, na porção central de Oman, no qual ambas as rampas foram dominadas por ondas (Haines, 1988; Wright *et al.* 1990 in Burchette e Wright 1992), semelhante a rampa carbonática da Formação Guia.

De acordo com Read (1985) e Burchette e Wright (1992), plataformas em rampa foram mais frequentes durante o Pré-Cambriano, onde não havia metazoários secretores de esqueletos / carapaças, ou em situações de crise climática e/ou tectônica, nos quais os bioconstrutores, principalmente as algas verdes, tiveram acentuada diminuição na abundância de populações e na diversidade de espécies. No contexto da Formação Guia, rampas carbonáticas foram favorecidas visto que os carbonatos se depositaram diretamente sobre os diamictos glaciais da Formação Puga, em um contexto de *stress* ambiental pós glaciação global que permeou o início do Ediacarano.

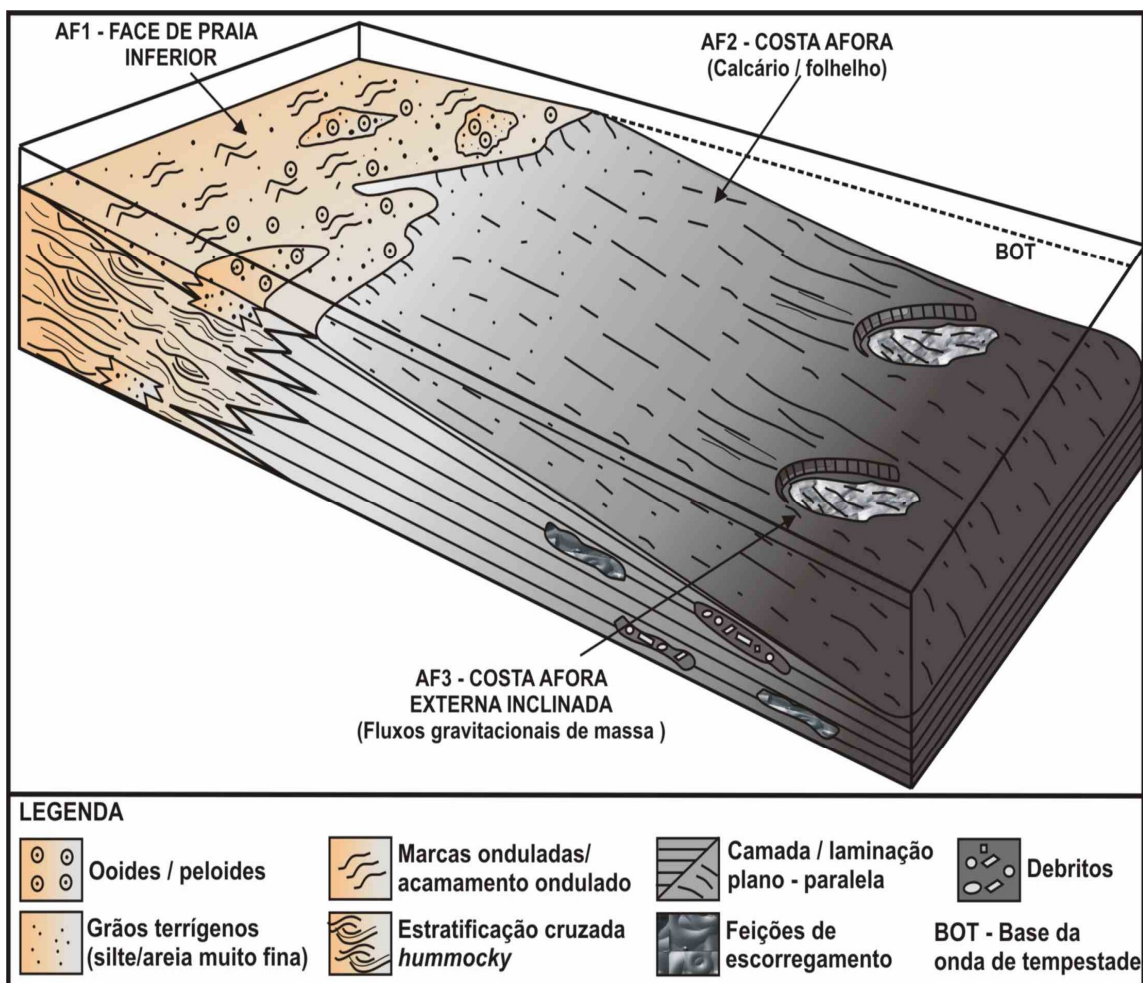


Figura 20- Modelo deposicional da Formação Guia, com sedimentação em plataforma do tipo rampa.

## 5.8 CONCLUSÕES

Os calcários e folhelhos da Formação Guia correspondem aos mais espessos depósitos do Grupo Araras, com mais de 400 m de espessura, bem expostos no segmento Norte da Faixa Paraguai e margem sul do Cráton Amazônico. Por meio da análise de fácies, foi possível determinar oito litofácies, depositadas em plataforma carbonática do tipo rampa homoclinal, com depósitos de face de praia influenciados por ondas de tempestades, costa afora e costa afora externa inclinada, caracterizada por brechas com clastos de lama carbonática provenientes de fluxos gravitacionais.

A evolução da sedimentação nesta plataforma se deu em um contexto de transgressão do mar pós-glaciação global, em consequência do degelo das coberturas glaciais formadas durante a última glaciação do Criogeniano (~ 635 M.a.). Deste modo, calcários com estruturas produzidas por ondas recobrem diretamente os diamictitos da Formação Puga. A mudança dos depósitos de face de praia para costa afora ocorre de modo gradual, com sedimentação de lama carbonática e siliciclásticos finos abaixo da base de ondas de tempestades, em condições de águas estagnadas e anóxicas, as quais propiciaram o acúmulo e preservação da matéria orgânica. Os últimos 70 m da sucessão sedimentar são marcados por depósitos de fluxos gravitacionais de massa nas porções externas da plataforma, favorecidos pela alta produção de carbonatos.

O estudo faciológico e estratigráfico desta unidade ampliou o conhecimento paleoambiental da plataforma carbonática Araras que se instalou no Sul do Cráton Amazônico durante o Ediacarano. Esta extensa plataforma serviu de sítio deposicional para acumulação de carbonatos excepcionalmente ricos em matéria orgânica, os quais podem ter contribuído como um *play* gerador para um possível sistema petrolífero neoproterozóico e também para as bacias adjacentes de idade Paleozóica.

## 6 TRATOS DE SISTEMAS

A deposição dos diamictitos da Formação Puga, considerados oriundos da última glaciação do Criogeniano (ou “Glaciação Marinoana”), se deu nos pulsos iniciais de transgressão marinha, como produto da deglaciação das geleiras que cobriram o Cráton Amazônico e o Norte da Faixa Paraguai no final do Criogeniano e início do Ediacarano. Alvarenga (1988) e Alvarenga & Trompette (1992) interpretaram a Formação Puga como depósitos glácio-marinhos plataformais com influência de fluxo de detritos no domínio mais distal. A influência marinha costeira a distal é indicada pela proximidade dos carbonatos sobrepostos abruptamente aos diamictitos. Da mesma forma, a ambiência glacial mais proximal pode ser sugerida pela diversidade litológica dos clastos (estriados e facetados) dos diamictitos, que sugere a abrasão e retrabalhamento de rochas do embasamento e depósitos sedimentares pelas geleiras. Neste processo abrasivo foi gerada grande parte da matriz pelítico-arenosa. O recuo dos lençóis de gelo teria proporcionado a formação de ambientes lagunares e de plataforma marinha onde se acumularam, por suspensão ou fraca corrente, siltes e areias caídos durante o degelo de *icebergs* (Nogueira 2003). O influxo continental, provavelmente ainda associado com as fases finais do degelo, pode explicar a alta quantidade de terrígenos observada logo nos primeiros metros da Formação Guia, onde a presença de arenitos e margas são os litotipos frequentes. A súbita elevação da temperatura global, ocasionada por mecanismos ainda pouco entendidos, favoreceu a deposição de calcários e folhelhos plataformais diretamente por sobre os diamictitos, a partir das águas rasas sob a influência de ondas de tempo bom e de tempestades.

A passagem entre os depósitos influenciados por ondas para os calcários e folhelhos de *offshore* ocorreu gradualmente, acompanhando a subida progressiva do nível do mar. A precipitação da lama carbonática e lamas ricas em matéria orgânica, acumulada pela proliferação do plâncton, em águas estagnadas e abaixo da base da onda de tempestade, marcam o início do trato sistema de mar alto na rampa carbonática. Neste intervalo formou-se uma zona de inundação máxima, posteriormente substituída pela intensa acumulação de carbonato, numa plataforma subsidente que propiciou o acúmulo de mais de 340 m de sedimentos químicos. Esta acumulação anômala de carbonatos durante a o trato de sistemas de mar alto nas porções mais distais da rampa, gerou zonas instáveis onde o carbonato foi redepositado por fluxos gravitacionais. Brechas com feições de escorregamento e com clastos de diversas formas, fábricas e texturas, intercalados aos calcários e folhelhos oriundos da sedimentação hemipelágica cíclica, corroboram este contexto paleoambiental.

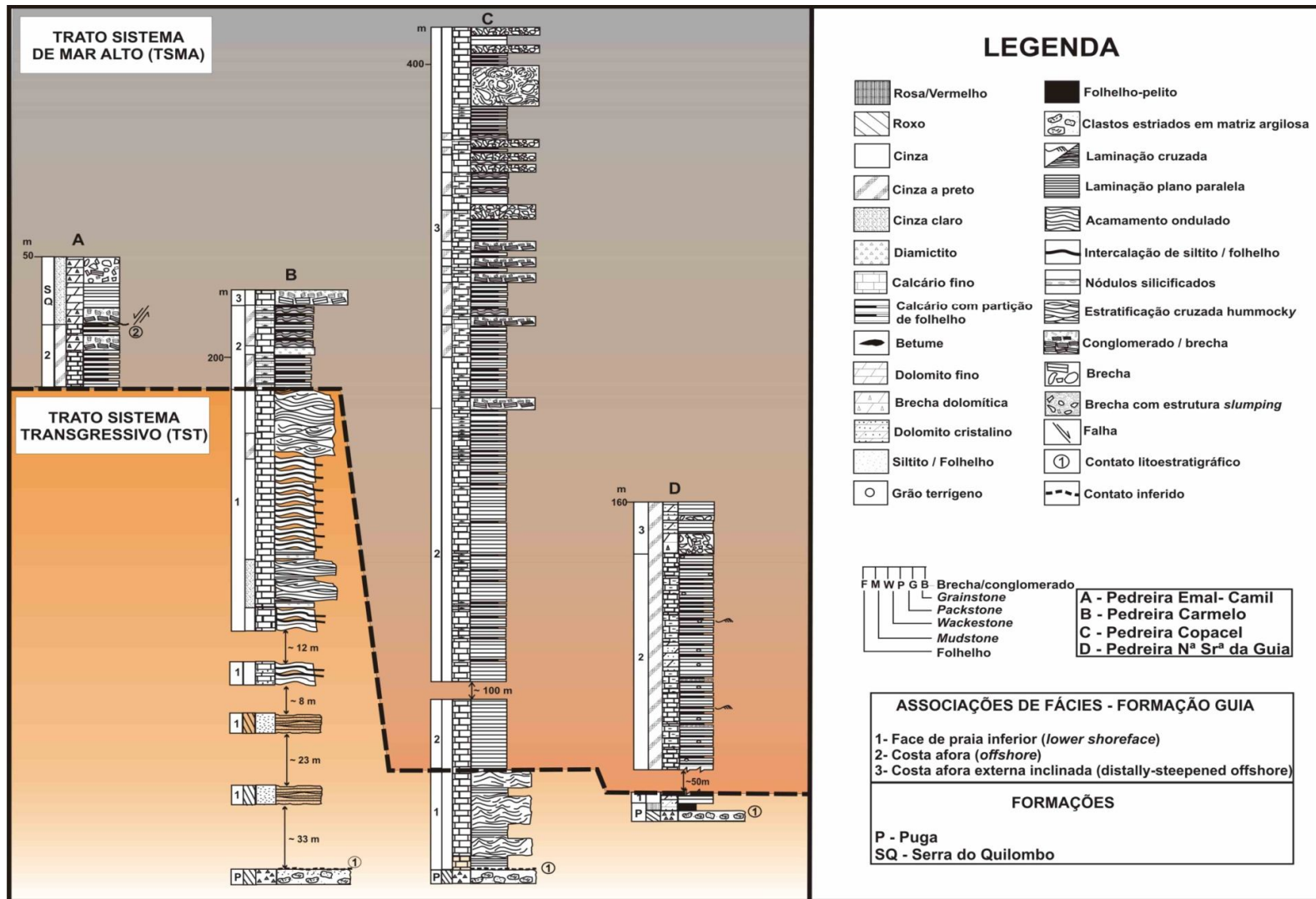


Figura 21- Tratos de sistemas interpretados para a Formação Guia no sul do Cráton Amazônico e Norte da Faixa Paraguai.

## 7 MICROFÓSSEIS DA FORMAÇÃO GUIA

O registro de microfósseis da Formação Guia é bastante escasso, restrito apenas a poucas espécies de leiosferídeos, simples acritarcos esferomorfos indeterminados, prováveis fragmentos de algas e abundante matéria orgânica amorfa. A coloração marrom dos palinomorfos e do material orgânico amorfo indica grau moderado de maturação. A raridade de formas orgânicas bem preservadas e a grande quantidade de matéria orgânica amorfa revelam a alta degradação a que os palinomorfos foram submetidos. Apesar da pouca preservação do conteúdo orgânico presente nos calcários e folhelhos da Formação Guia, algumas informações relacionadas à vida nos mares neoproterozóicos e a Glaciação Marinoana (~ 635 M.a.) puderam ser obtidas, bem como a determinação da origem da matéria orgânica excepcionalmente acumulada nas rochas desta unidade.

### 7.1 PALINOMORFOS

Dentre os microfósseis encontrados passíveis de identificação, somente leiosferídeos foram reconhecidos. Estes correspondem às espécies *Leiosphaeridia crassa* e *Leiosphaeridia minutissima* (Figura 21). Estas espécies são caracterizadas por apresentar formas esféricas simples, membranas translúcidas, paredes sem ornamentações e com diâmetros inferiores a 70  $\mu\text{m}$ . Na Formação Guia, estas espécies ocorrem isoladas, apresentam diâmetro médio de 27  $\mu\text{m}$ , e duas populações bem distintas: a primeira com diâmetros de 16 - 20  $\mu\text{m}$  e a segunda de 36 - 40  $\mu\text{m}$  (Figura 22). Apesar disso, dois indivíduos com mais de 50  $\mu\text{m}$  foram identificados. A distinção entre ambas as espécies é feita apenas pela espessura e coloração de suas paredes celulares: mais espessas e escuras na espécie *L. crassa* e mais delgadas e translúcidas na espécie *L. minutissima*.

Outros acritarcos esféricos foram encontrados, contudo, não foi possível determinar sua espécie (Figura 23). Estes apresentam grande semelhança morfológica com leiosferídeos, todavia, exibem paredes celulares deformadas, membrana com aspecto enrugado e ausência de estruturas internas. Além destes acritarcos indistintos, organismos filamentosos semelhante a algas foram encontrados mal preservados, com extremidades rompidas e sem estruturas internas nítidas.



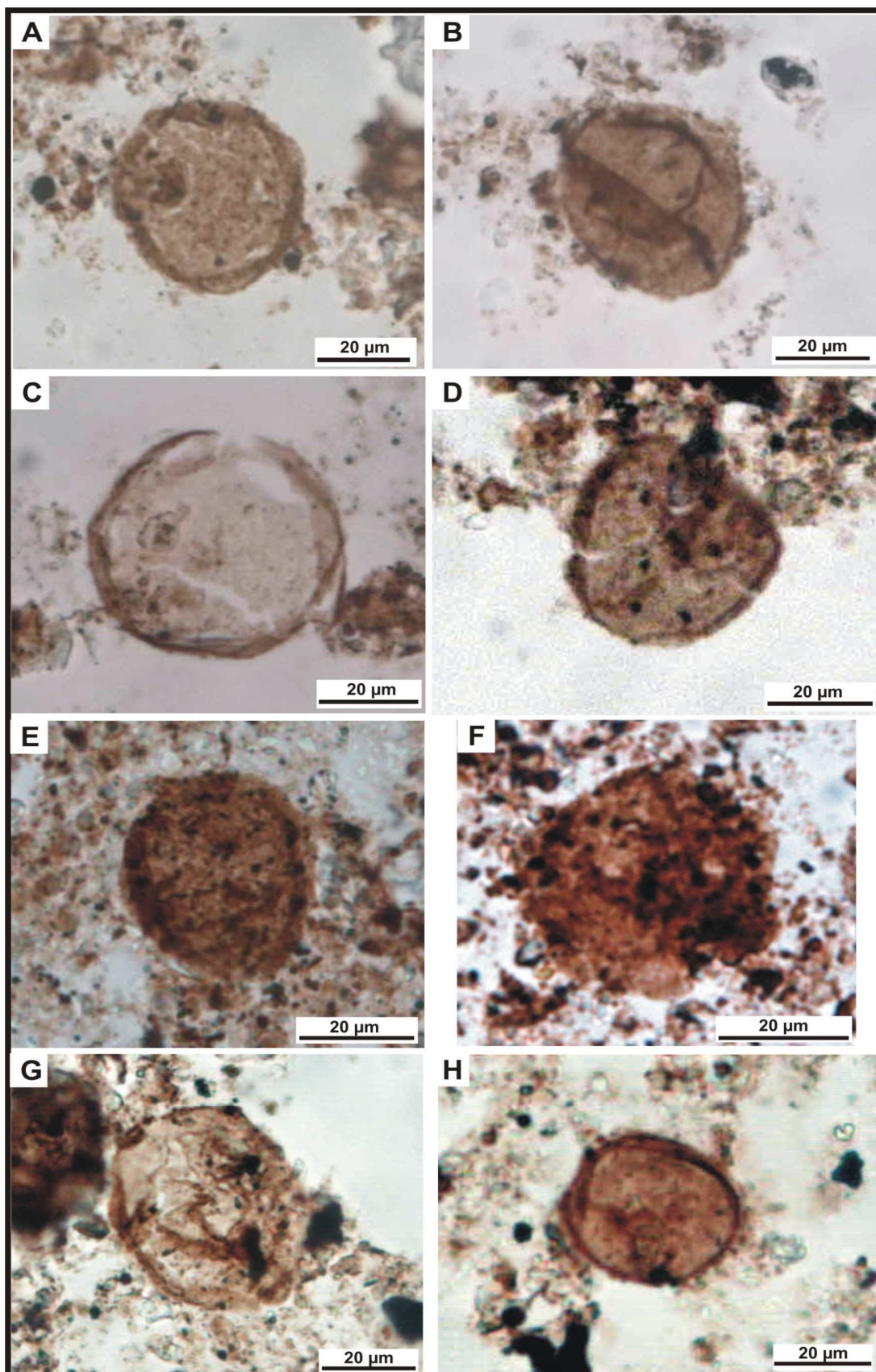


Figura 22 – Leiosferídeos da espécie *L. crassa* e *L. minutíssima*.



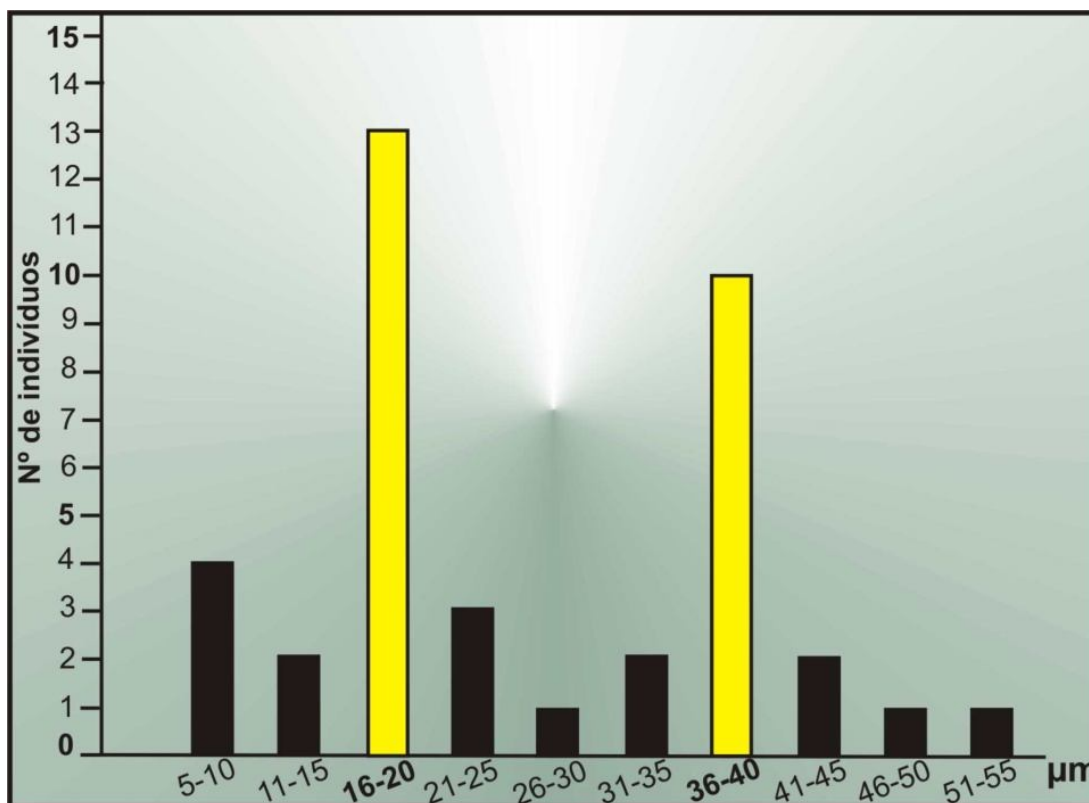


Figura 23 – Distribuição da frequência de acritarcos (leiosferídeos e indeterminados) em número de indivíduos pelo intervalo de diâmetros mensurados. As barras em amarelo demonstram uma acentuada bimodalidade no diâmetro dos indivíduos, com duas populações bem marcantes: uma com diâmetro entre 16 a 20  $\mu\text{m}$  e a outra com diâmetro entre 36 a 40  $\mu\text{m}$ . Isso pode sugerir duas espécies distintas de acritarcos com base apenas na dimensão das vesículas. *L. minutissima* corresponderia à população com menor diâmetro, entre 16 e 20  $\mu\text{m}$ , e *L. crassa* a população com maior diâmetro, entre 36 e 40  $\mu\text{m}$ .

Apesar da escassez de microfósseis bem preservados em meio ao abundante detrito orgânico amorfo (Figura 24 A), apenas um único acritarco acantomorfo foi identificado (Figura 24 B). Este indivíduo apresenta vesícula circular, com diâmetro de 25  $\mu\text{m}$ , parede celular suave a levemente irregular, e membrana celular pouco translúcida, com coloração marrom. Além disso, mostra ornamentações quase perpendiculares a parede celular, semelhante a pequenos espinhos.

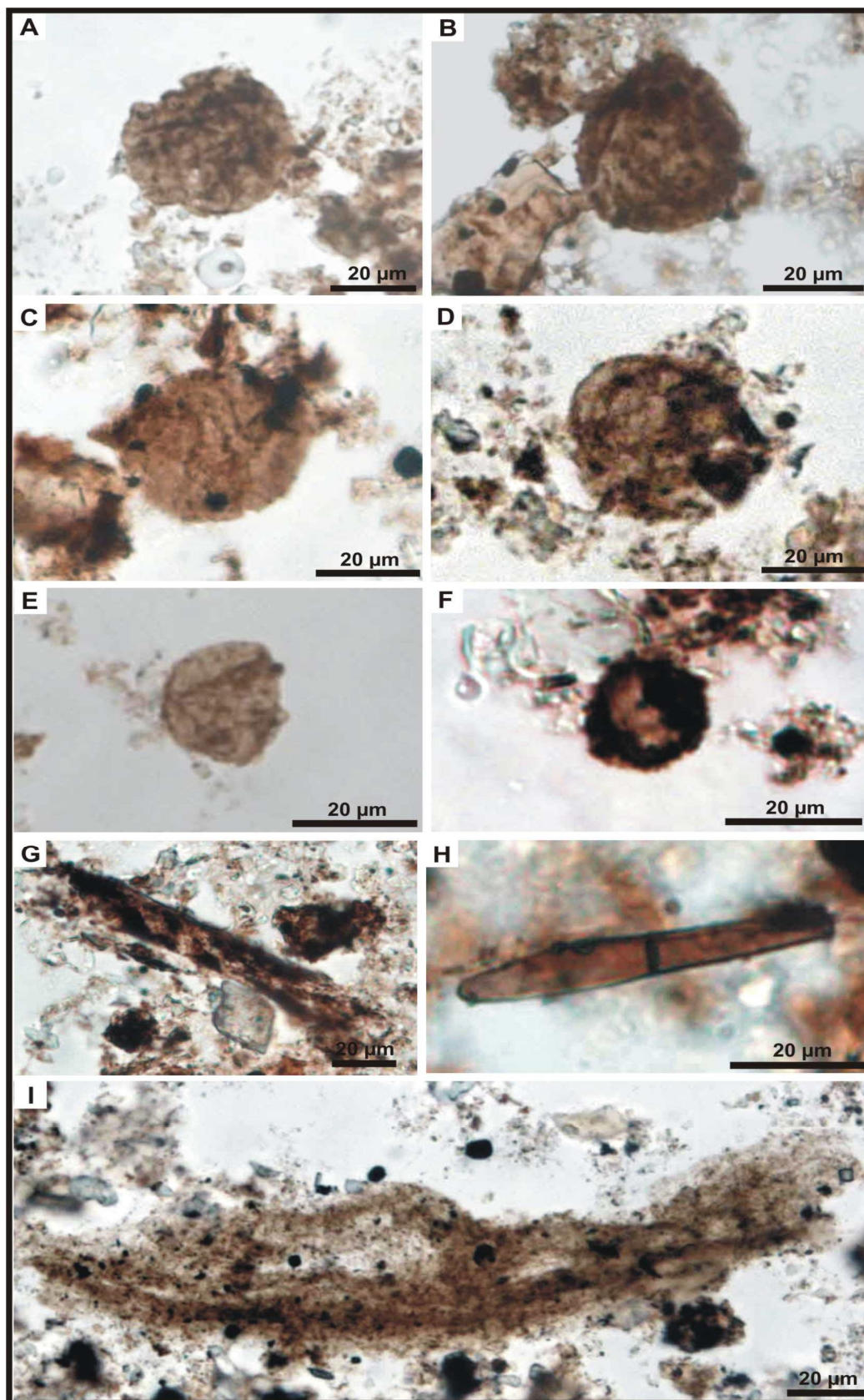


Figura 24– A – F) Acritarcos esféricos indeterminados, parcialmente degradados. G – I) formas filamentosas bastante degradadas.

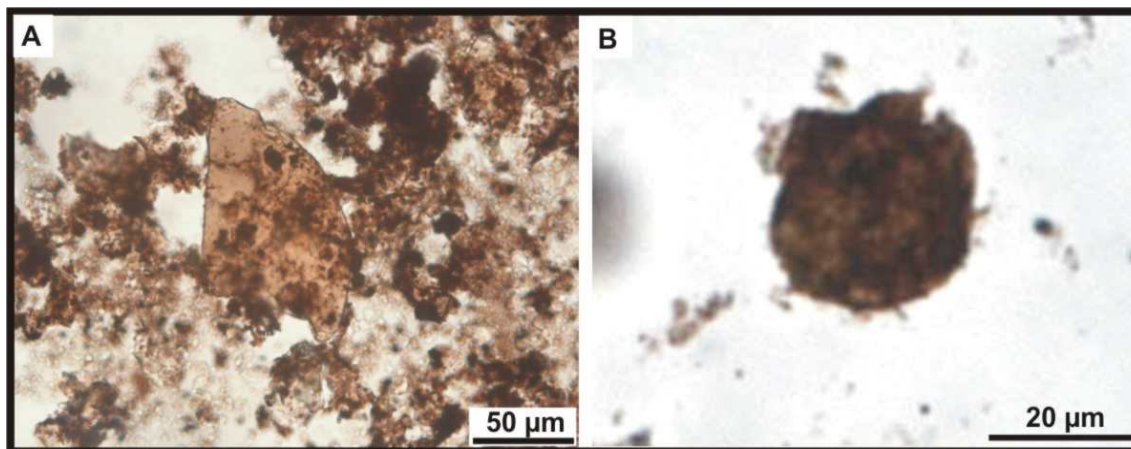


Figura 25 – A) Abundante matéria orgânica amorfa com tons amarronzados, os quais denotam moderado grau de maturação da matéria orgânica. B) Acritarco acantomorfo indeterminado, com pequenos prolongamentos quase ortogonais a parede vesicular do indivíduo.

## 7.2 O REGISTRO DE ACRITARCOS E A GLACIAÇÃO MARINOANA

Acritarcos constituem ferramentas extremamente valiosas para correlações bioestratigráficas globais. Na Austrália, Grey (2005) estabeleceu duas palinofloras ediacaranas com base em palinomorfos: ELP (Ediacaran Leiosphere - dominated Palynoflora), pertencente ao Ediacarano inferior (~ 630 – 580 M.a.), e ECAP (Ediacaran Complex Acanthomorph - dominated Palynoflora) do Ediacarano Superior (~ 580 a 542 M.a.). As espécies de leiosferídeos encontradas na Formação Guia, *L. crassa* e *L. minutissima*, correspondem as mesmas espécies características da palinoflora ELP. Apesar do diagnóstico de um único acantomorfo na Formação Guia, não se pode afirmar que nesta unidade também haja acritarcos da palinoflora ECAP, visto que raros acantomorfos também podem ocorrer na palinoflora ELP. Este fato possibilita estabelecer uma correlação bioestratigráfica entre a base do Grupo Araras com os depósitos do Neoproterozóico da Austrália, além de corroborar a idade Ediacarana inferior para os depósitos da Formação Guia.

Leiosferídeos simples, como os pertencentes à palinoflora ELP, são registrados desde o Mesoproterozóico superior, contudo, foram mais prolíficos durante o Neoproterozóico e mais especificamente no Ediacarano inferior. A existência destes microfósseis antes e após a glaciação Marinoana, no Brasil e em outros países como a Austrália e China, contradiz o cenário dramático de glaciação global, como proposto nos moldes catastróficos da hipótese *Snowball Earth* (Grey 2005). De acordo com Grey (2005) a glaciação pode ter resultado em um empobrecimento da diversidade de espécies, porém não se observa mudança na natureza

das populações. Não há relação do registro de palinórfos com rápida recuperação e recolonização dos mares, como deveria ter ocorrido no contexto pós *Snowball*; pelo contrário, há somente um lento e fixo aumento no número das populações, sem a introdução de novas espécies. Somado a isso, populações de bactérias e de algas foram empobrecidas durante a glaciação, mas se recuperaram logo após o restabelecimento das condições normais, seguidas de rápida transgressão marinha responsável por inundar plataformas continentais e fornecer nutrientes do continente a partir do degelo dos glaciais. O restabelecimento destas populações mostra pouca variação das populações pré-glaciação.

### 7.3 ORIGEM DA MATÉRIA ORGÂNICA DA FORMAÇÃO GUIA

A partir da avaliação de seções palinológicas dos calcários e folhelhos da Formação Guia, é notável a contribuição fundamental de acritarcos na composição dos hidrocarbonetos desta unidade. Situação semelhante à da Formação Guia é verificada na Bacia de Ordos, Triássico médio a superior do NW da China (Ji et al., 2008). O estudo palinológico da matéria orgânica macerada revelou a abundância de acritarcos, dominados por pequenos leiosferídeos com diâmetros entre 10 a 30  $\mu\text{m}$ , os quais aparecem como importantes precursores para a geração de petróleo desta bacia.

Apesar da constatação do papel fundamental dos acritarcos como um dos principais constituintes da matéria orgânica da Formação Guia, dados de biomarcadores provenientes do betume contido nos dolomitos da Formação Mirassol d'Oeste, subjacente à Formação Guia, revelam como fonte principal da matéria orgânica as algas vermelhas, com base em esteranos  $C_{27}$  (Elie et al., 2007). Contrariamente à esta interpretação, a presença de estromatólitos na base da Formação Guia evidencia a existência de cianobactérias como organismos bioconstrutores que atuaram durante a deposição dessa Formação.

De acordo com Talyzina e Moczydlowska (2000), estudos morfológicos e ultraestruturais de leiosferídeos de idade Cambriana tem indicado que suas estruturas são muito similares a modernas algas verdes prasinófitas. Somado a isso, estudos com base em biomarcadores sugerem que acritarcos esferomorfos tem distribuição de esteranos  $C_{27} - C_{28} - C_{29}$  similar às algas prasinófitas (Talyzina et al., 2000). Como acritarcos são organismos de afinidade biológica desconhecida, a sua origem ainda é assunto de grande controvérsia e divergência nas pesquisas paleobiológicas.

## 8 CONCLUSÕES FINAIS

1- Por meio da análise de fácies da Formação Guia, em afloramentos situados no segmento Norte da Faixa Paraguai, foram identificados oito litofácies, agrupadas em três associações de fácies, as quais correspondem: i) face de praia inferior influenciada por tempestades, constituída por calcário cinza fino, com abundantes grãos terrígenos, caracterizada por estruturas produzidas por ondas de tempo bom e de tempestades; ii) costa afora, formado por calcário cinza com partições de folhelho, rico em matéria orgânica, dispostos em camadas tabulares contínuos por centenas de quilômetros; e iii) costa afora externa inclinada, composta por brechas calcárias subordinadas, intercaladas a calcário cinza e folhelho, produzidas por episódios de fluxos gravitacionais de massa em águas profundas e anóxicas;

2- A Formação Guia, na região da Faixa Paraguai Norte, apresenta uma sucessão sedimentar tipicamente retrogradante, com registro da transgressão marinha pós-glaciação marinoana e desenvolvida em condições de mar alto. A transição vertical dos depósitos de águas rasas (*face de praia*) para de águas profundas (*costa afora*) sem mudança abrupta de fácies, a ausência de estruturas deformacionais rúpteis sinsedimentares e a extensão por centenas de quilômetros destes depósitos são coerentes com sedimentação em rampa homoclinal desenvolvida no Neoproterozóico na porção central do Brasil;

3- O estudo de microfósseis, extraídos a partir dos calcários e folhelhos da Formação Guia, revela a escassez e baixa preservação de palinomorfos nesta unidade, que se restringe a poucos leiosferídeos, simples acritarcos esferomorfos indeterminados e prováveis fragmentos de algas, talvez relacionados à cianobactérias. A coloração marrom da matéria orgânica indica grau moderado de maturação, e a grande quantidade de matéria orgânica amorfa reflete a alta degradação a que os palinomorfos foram submetidos;

4- Apesar da raridade de organismos preservados na Formação Guia, os acritarcos esferomorfos e acantomorfos encontrados possibilitam estabelecer uma correlação bioestratigráfica entre a base do Grupo Araras com os depósitos ediacaranos da Austrália, corroborando, desta forma, a idade Ediacarana inferior (630-580 M.a) para os depósitos da Formação Guia;

5- A partir da avaliação palinológica dos calcários e folhelhos da Formação Guia, é notável a contribuição de acritarcos como importantes precursores para a geração de hidrocarbonetos nesta unidade.

6- Esta pesquisa abre perspectivas para a melhor definição de rochas geradoras pré-cambrianas, contribuindo no entendimento da potencialidade do sistema petrolífero Araras no contexto do Sul do Cráton Amazônico e Faixa Paraguai Norte.



## REFERÊNCIAS

- Adams A.E., Mackenzie W.S., Guilford C. 1984. *Atlas of sedimentary rocks under the microscope*. Longman, Harlow, 140 p.
- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO (ANP). 2008. Bacia dos Parecis. Disponível em [http://www.anp.gov.br/brasilrounds/round10/arquivos/seminarios/STA\\_5\\_Bacia\\_dos\\_Parecis.pdf](http://www.anp.gov.br/brasilrounds/round10/arquivos/seminarios/STA_5_Bacia_dos_Parecis.pdf). Acessado em 4 abril.2012.
- Allen P.A. & Hoffman P.F. 2005. Extreme winds and waves in the aftermath of a neoproterozoic glaciation. *Nature*, **433**:123-127.
- Almeida F.F.M. 1964. Geologia do Centro-Oeste matogrossense. *Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia*. Rio de Janeiro, DNPM, Boletim 219, 1-53 p.
- Almeida F.F.M. 1974. Sistema tectônico marginal do cráton Guaporé. *In: SBG, Cong. Bras. Geol.*, 28, Anais... v. 4, p. 11-17.
- Almeida F.F.M. 1984. Província Tocantins, setor sudoeste. *In: Almeida F.F.M. & Hasui Y. (coords.). O Pré-Cambriano do Brasil*. Edgar Blücher Ltda., São Paulo, p. 265-281.
- Alvarenga, C.J.S. 1988. Turbiditos e a glaciação do final do Proterozóico Superior no Cinturão dobrado Paraguai, Mato Grosso. *Rev. Bras. Geoc.*; 18(3):323-327.
- Alvarenga C. J.S., Santos, R. V., Dantas, E. L. 2004. C-O-Sr isotopic stratigraphy of cap carbonates overlying Marinoan-age glacial diamictites in the Paraguay Belt, Brazil. *Precambrian Research*, **131**:1-24.
- Alvarenga, C.J.S. & Trompette, R. 1992. Glacially influenced sedimentation in the Later Proterozoic of the Paraguay belt (Mato Grosso, Brazil). *Palaogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, **92**:85-105.
- ANP - Agência Nacional do Petróleo 2008. Bacia dos Parecis. Disponível em [http://www.anp.gov.br/brasilrounds/round10/arquivos/seminarios/STA\\_5\\_Bacia\\_dos\\_Parecis.pdf](http://www.anp.gov.br/brasilrounds/round10/arquivos/seminarios/STA_5_Bacia_dos_Parecis.pdf). Acessado em 4 abril.2012.
- Armstrong H. & Brasier, M. 2005. *Microfossils*. 2. ed. Blackwell Publishing, 296 p.
- Babinski M., Trindade, R.I.F., Alvarenga, J.C., Boggiani P. C., Liu D., Santos R.V. 2006. Geochronological constraints on the Neoproterozoic glaciations in Brazil. 2006. *In: Snowball Earth Conference, Ascona, Switzerland, Abstracts*, 1, p. 25.
- Bandeira J., McGee B., Nogueira A.C.R., Collins A.S., Trindade R.I.F. 2012. Sedimentological and provenance response to Cambrian closure of the Clymene ocean: the upper Alto Paraguai Group, Paraguay belt, Brazil. *Gondwana Res.*, **21** (2): 323-340
- Barros A.M., Silva R.H.da, Cardoso O.R.F.A., Freire A.F., Souza Jr. J.J. de, Rivetti M., Luz D.S. da, Palmeira R.C. de B., Tassinari C.C.G. 1982. Geologia, geomorfologia, pedologia,

- vegetação, uso potencial da terra. In: BRASIL. Projeto RADAM. *Geologia da folha SD.21 Cuiabá*. Rio de Janeiro, DNPM. 1, 26:25-192.
- Boggiani P.C. 1997. *Análise estratigráfica da bacia Corumbá (Neoproterozóico) – Mato Grosso do Sul*. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 181p.
- Brasier M., McCarron G., Tucker R., Leather J., Allen P., Shields G. 2000. New U-Pb zircon dates for the Neoproterozoic Ghubrah glaciation and for the top of the Huqf Supergroup, Oman. *Geology*, **28**: 175-178.
- Burchette T.P. & Wright V.P. 1992. Carbonate ramp depositional systems. *Sediment. Geol.*, **79**: 3-57.
- Castelneau F. 1850. *Expedition dans les parties centrales del' Amérique du Sud*. Histoire Du Voyage Tomo II. Librairie Editeur, Paris, 485 p.
- Catuneanu O. 2006. *Principles of sequence stratigraphy*. Elsevier, 375 p.
- Chumakov N.M. 2004. Trends in global climate changes inferred from geological data. *Stratigraphy and geological correlation*, **12** (2):117-138.
- Collins A.S., Pisarevsky S.A. 2005. Amalgamating eastern Gondwana: the evolution of the Circum-Indian Orogens. *Earth-Science Reviews*, **71**:229-270.
- Cordani U.G., Teixeira W., D'Agrella-Filho M.S., Trindade R.I. 2009. The position of the Amazonian craton in supercontinents. *Gondwana Research*, **15**:396-407.
- Corsetti F.A., Kidder D.L., Marenko P.J. 2006. Trends in oolite dolomitization across the Neoproterozoic-Cambrian boundary: a case study from Death Valley, California. *Sedimentary Geology*, 16 p.
- Corsetti F.A., Lorentz N.J. 2006. On Neoproterozoic cap carbonates as chronostratigraphic markers. In: Xiao, S.; Kaufman, A.J. (Eds.). *Neoproterozoic geobiology and paleobiology*. Springer, New York, 27, p. 273-294.
- Craig J., Thusu B., Lüning S., Meciani L., Trombetti A., Erchi G. 2006. Snowball earth and global neoproterozoic petroleum systems. In: Snowball Earth Conference, Ascona, Switzerland, *Abstracts*, 1, 25.
- Dumas S. & Arnott R.W.C. 2006. Origin of hummocky and swaley cross-stratification: the controlling influence of unidirectional current strength and aggradation rate. *Geology*, **34**(12): 1073-1076.
- Dunham R.J. 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In: W.E. Ham (Ed.) *Classification of carbonate rocks*. Am. Ass. Petrol. Geol., Memoir 1, p.108-121.
- Einsele G., Ricken W., Seilacher, A. (Eds.) 1991. *Cycles and events in stratigraphy*. Springer-Verlag, Berlin, 1040 p.



- Embry A.F. & Klovan J.E. 1971. A Late Devonian reef tract on northeastern Banks Island, Northwest Territories. *Bull. Can. Petrol. Geol.*, **19**:730-781.
- Evans, J.W., 1894. The Geology of Mato Grosso, particularly the region drained by the upper Paraguay. *Quart. J. Geol. Soc. London*, **L(II)**:85-104.
- Evans, D.A.D., 2000. Stratigraphic, geochronological, and paleomagnetic constraints upon the Neoproterozoic climatic paradox. *American Journal of Science*, **300**:347-433.
- Evans, D.A.D., 2003. A fundamental Precambrian-Phanerozoic shift in Earth's glacial style? *Tectonophysics*, **375**:353-385.
- Fuck R.A., Brito Neves B.B., Schobbenhaus C. 2008. Rodinia descendants in South America. *Precambrian Res.*, **160**: 108-126.
- Gradstein F.M., Ogg J.G., Smith A.G., Bleeker W., Lourens L.J. A new geologic Time Scale, with special reference to Precambrian and Neogene. *Episodes*, **27(2)**:83-100.
- Grey K. 1999. *A modified palynological preparations technique for the extraction of large neoproterozoic acanthomorph acritarchs and other acid - insoluble microfossils*. Western Australia Geological Survey, 10, 23 p.
- Grey, K. 2005. *Ediacaran palynology of Australia*. Ass. of Australasian Palaeontologists. Geological Survey of Western Australia, Canberra, memoir 1, 439 p.
- Grotzinger J.P., James, N.P. 2000. Precambrian carbonates: evolution understanding. **SEPM**, v. 67, special publication.
- Halverson G.P., Maloof A.C., Hoffman P.F. 2004. The Marinoan glaciation (Neoproterozoic) in northeast Svalbard. *Basin Research*, **16**:297-324.
- Hasui Y., Haralyi N.L.E., Costa J.B.S. 1992. Megaestruturação Pré-Cambriana do território brasileiro baseada em dados geofísicos e geológicos. *Rev. Bras. Geoc.*, **12**:7-31.
- Hidalgo R. L., Petri, S., Nogueira A. C. R. 2008. Post-Sturtian and Early Ediacaran microfossils of carbonate sequences in Brazil. *In*: 26<sup>th</sup> IAS Meeting of Sedimentology, Bochum.
- Hoffman P.F. & Schrag D.P. 2002. The Snowball Earth hypothesis: testing the limits of global change. *Terra Nova*, **14**:129-155.
- Hoffman P.F., Kaufman A.J., Halverson G.P., Schrag D.P. 1998a. A Neoproterozoic Snowball Earth. *Science*, **281**:1342-1346.
- Hoffman P.F. & Li Z. 2009. A paleogeographic context for neoproterozoic glaciations. *Paleogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **277**:158-172.
- Huntley J.W., Xiao S., Kowalewski, M. 2006. 1.3 billion years of acritarch history: an empirical morphospace approach. *Precambrian Res.*, **144**:52-68.

- Hyde W.T., Crowley T.J., Baum S.K., Peltier W.R. 2000. Neoproterozoic 'snowball earth' simulations with a coupled climate/ice-sheet model. *Nature*, **405**:425-429.
- James N.P., Narbonne G.M., Kyser T.K. 2001. Late Neoproterozoic cap carbonates: Mackenzie Mountains, northwestern Canada: precipitation and global glacial meltdown. *Can. J. Earth Sci*, **38**:1229-1262.
- Ji L., Meng F., Schiffbauer J.D., Xu L., Yan K., Shu J. 2008. Correlation between highly abundant oil prone, leiosphaerid acritarchs and hydrocarbon source rocks from the Triassic Yanchang Formation, eastern Gansu Province, Northwestern China. *Gondwana Res.*, **14**:554-560.
- Jiang G., Christie-Blick N., Kaufman A.J., Banerjee D.M., Rai V. 2003. Carbonate platform growth and cyclicity at a terminal Proterozoic passive margin, Infra Krol Formation and Krol Group, Lesser Himalaya, India. *Sedimentology*, **50**:921-952.
- Kaufman, A.J. & Knoll, A.H. 1995. Neoproterozoic variations in the C-isotopic composition of seawater: stratigraphic and biogeochemical implications. *Precamb. Res.*, **73**:27-49.
- Kennedy, M.J.; Christie-Blick, N.; Sohl, L.E. 2001. Are Proterozoic cap carbonates and isotopic excursions a record of gas hydrate destabilization following Earth's coldest intervals? *Geology*, **29**:443-446.
- Kerans C. & Tinker S.W. (Eds.) 1997. *Sequence Stratigraphy and characterization of carbonate reservoirs*. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, short course notes 40, 130 p.
- Kirschvink J.L. 1992. Late Proterozoic low-latitude global glaciation: the snowball Earth. In: Schopf, J.W. & Klein, C. (Eds.). *The Proterozoic Biosphere*. Cambridge University Press, p.51-52.
- Knoll A.H., Walter, M.R., Narbonne N.M., Christie-Blick, N. 2004. A new period for the geologic time scale. *Science*, **35**:621-622.
- Knoll A.H., Javaux, E.J., Hewitt D., Cohen P. 2006. Eukariotic organisms in Proterozoic oceans. *Phil. Trans. R. Soc. Biol. Sci.*, **361**:1023-1038.
- Laznicka P. 1988. *Breccias and coarse fragmentites: petrology, environments, associations, ores*. Developments in ore geology, **35**. Elsevier. New York, USA, 832 p.
- Li Z.X., Bogdanova S.V., Colins A.S., Davidson A., De Waele, B., Ernst R.E., Fitzsimons I.C.W., Fuck R.A., Gladkochub D.P., Jacobs J., Karlstrom K.E., Lu S., Natapov L.M., Pease V., Pisarevsky S.A., Thrane K., Vernikovsky V. 2008. Assembly, configuration, and break-up history of Rodinia: a synthesis. *Precambrian Res.*, **160**:179-210.
- Lima, T.M. 2008. *Avaliação de rochas calcárias e fosfatadas para insumos agrícolas do estado do Mato Grosso*. CPRM, METAMAT, Cuiabá, 178 p.
- Mazzullo S. J. & Harris P. M. 1992. Mesogenetic dissolution: its role in porosity development in carbonate reservoirs. *Bull. Am. Ass. Petrol. Geol.* **76**:607-620.

- McGee B., Colins A.S., Trindade R.I.F. 2012. G'day Gondwana – the final accretion of a supercontinent: U-Pb ages from the post-orogenic São Vicente Granite, northern Paraguay Belt, Brazil. *Gondwana Res.*, **21**:316-322.
- Mitchum, R.M. & Van Wagoner, J.C. 1991. High-frequency sequences and their stacking patterns: sequence stratigraphy: Recent developments and applications. *Am. Assoc. Petrol. Geol.*, Memoir 57, p. 515-534.
- Nogueira A.C.R., Riccomini C., Kerkis A., Fairchild T.R.; Hidalgo R.L. 2001. Hydrocarbons in carbonate rocks of the neoproterozoic Alto Paraguaia Group, Mato Grosso, Brazil. *An. Acad. Bras. Ciênc.*, Resumo das Comunicações, **73**(3):464.
- Nogueira A.C.R. 2003. *A plataforma carbonática Araras no sudoeste do Cráton Amazônico, Mato Grosso: estratigrafia, contexto paleoambiental e correlação com os eventos glaciais do Neoproterozóico*. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 173 p.
- Nogueira A.C.R., Riccomini C., Sial A.N., Moura C.A.V., Fairchild T.R. 2003. Soft-sediment deformation at the base of the neoproterozoic Puga cap carbonate (southwestern Amazon craton, Brazil): confirmation of rapid icehouse-greenhouse transition in Snowball Earth. *Geology*, **31**:613-616.
- Nogueira A.C.R. & Riccomini C. 2006. O Grupo Araras (Neoproterozóico) na parte norte da Faixa Paraguai e Sul do Cráton Amazônico. *Rev. Bras. Geoc.*, **36**(4):623-639.
- Nogueira A.C.R., Riccomini C., Sial A.N., Moura C.A.V., Trindade R.I.F., Fairchild T.R. 2007. Carbon and strontium isotope fluctuations and paleoceanographic changes in the late neoproterozoic Araras carbonate platform, southern Amazon craton, Brazil. *Chemical Geology*, **237**:168-190.
- Peterson, K.; Butterfield, N.J. 2005. Origin of the Eumetazoa: testing ecological predictions of molecular clocks against the Proterozoic fossil record. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **102**:9547-9552.
- Posamentier H. W. & Walker, R.G. (Eds.) 2006. *Facies Models Revisited*. Society for Sedimentary Geology, Special Publications: Concepts in Sedimentology and Paleontology No. 84, 527 p.
- Potter P.E & Pettijohn F.J. 1977. *Paleocurrents and basin analysis*. 2ªed., Berlin, Springer, 460 p.
- Read J.F. 1982. Carbonate platforms of passive (extensional) continental margins: types, characteristics and evolution. *Tectonophys.* **81**:195-212.
- Read J.F. 1985. Carbonate platform facies models. *Bull. Am. Ass. Petrol. Geol.* **66**:860-878.
- Ribeiro, H.J. P. 2001. *Estratigrafia de sequências: fundamentos e aplicações*. Unisinos, 428p.
- Schopf W. & Klein, C. 1992. *The proterozoic biosphere: a multidisciplinary study*. Cambridge university press, 1348 p.

- Soares J. L. & Nogueira A.C.R. 2008. Depósitos carbonáticos de Tangara da Serra (MT): uma nova ocorrência de capa carbonática neoproterozóica no sul do Cráton Amazônico. *Rev. Bras. Geoci.*, **38**(4):715-729.
- Spadini A. R., Marçal R. A. 2005 Porosidade em reservatórios carbonáticos: algumas considerações. *Bol. Geoci. Petrobras*, **13**(1):129-138.
- Talyzina N. M. 2000. Ultrastructure and morphology of *Chuarina circularis* from the Neoproterozoic Visingsö Group, Sweden. *Precambrian Res.* **102**: 123-134.
- Talyzina, N.M., Moczyłowska, M., 2000. Morphological and ultrastructural studies of some acritarchs from the Lower Cambrian Lükati Formation, Estonia. *Rev. Palaeobot. Palynol.* **112**: 1-21.
- Tohver E., D'Agrella-Filho M.S., Trindade R.I.F. 2006. Paleomagnetic Record of Africa and South America for 1200 – 500 Ma interval, and evaluation of Rodinia and Gondwana assemblies. *Precambrian Res.*, **147**: 193-222.
- Tohver E., Trindade R.I.F., Solum J.G., Hall C.M., Riccomini C., Nogueira A.C. 2010. Closing the Clymene ocean and bending a Brasiliano belt: evidence for the Cambrian formation of Gondwana, southeast Amazon craton. *Geology*, **38**:267 -270.
- Trindade R.I.F., D'Agrella-Filho M.S., Epof F., Brito Neves, B.B. 2006. Paleomagnetism of early Cambrian Itabaiana mafic dikes (NE Brazil) and the final assembly of Gondwana. *Earth and Planetary Science Letters*, **244**: 361-377.
- Trindade, R. I. F.; Macouin, M. 2007. Palaeolatitude of glacial deposits and palaeogeography of neoproterozoic ice ages. *C.R. Geoscience*, 339:200-211.
- Tucker M.E. & Wright V.P. 1990. *Carbonate sedimentology*. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 496 p.
- Vail P. R. 1987. Seismic stratigraphic interpretation procedure. In: Balley, B. (ed.) *Seismic stratigraphic atlas*. Am. Ass. Petrol. Geol., p. 1-10. (Studies in Geology, 27).
- Van Wagoner J.C., Posamentier H.W., Mitchum R.W., Vail P.R., Sarg J.F., Loutit T.S., Handbol J. 1988. An overview of the fundamentals of sequence stratigraphy and key definitions. In: Wilgus C.K., Hastings B.S., Ross C.A., Posamentier H.W., Van Wagoner J.C., Kendall C.G.S.C. (Eds.) *Sea-Level Changes: An Integrated Approach*. Tulsa, SEPM, p.39-46 (Special Publication, 42).
- Walker R.G. 1990. Facies Modelling and Sequence Stratigraphy. *J. Sediment. Petro.*, **60**:777-786.
- Walker, R.G. & James, N.P. (Eds.) 1992 *Facies Models - Response to Sea Level Change*. Ontario, Geological Association of Canadá, p.1-14.
- Williams, G.E., Gostin V.A., McKirdy, D.M., Preiss W.V. 2008. The Elatina Glaciation, late Cryogenian (Marinoan Epoch), South Australia: Sedimentary facies and palaeoenvironments. *Precambrian Res.*, **163**: 307-331.

- Willman S. & Moczydlowska M. 2008. Ediacaran acritarch biota from the Giles 1 drillhole, Officer Basin, Australia, and its potential for biostratigraphic correlation. *Precambrian Res.*, **162**: 498-530.
- Xiao S., Bao H., Wang H., Kaufman A.J., Zhou C., Li G., Yuan X., Ling H. 2004. The Neoproterozoic Quruqtagh in eastern Chinese Tianshan: evidence for a post-Marinoan glaciations. *Precambrian Res.*, **130**:1-26.
- Zaine M.F. 1991. *Análise dos fósseis de parte da Faixa Paraguaí (MS, MT) e seu contexto temporal e paleoambiental*. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 218 p.