



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

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**FÁCIES SEDIMENTARES DA FORMAÇÃO PROSPERANÇA,
NEOPROTEROZÓICO DO SUL DO ESCUDO DAS GUIANAS,
ESTADO DO AMAZONAS**

Dissertação apresentada por:

ROBERTO CÉSAR DE MENDONÇA BARBOSA

Orientador: Dr. Afonso César Rodrigues Nogueira (UFPA)

**BELÉM
2010**



Universidade Federal do Pará
Instituto de Geociências
Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

**FÁCIES SEDIMENTARES DA FORMAÇÃO PROSPERANÇA,
NEOPROTEROZÓICO DO SUL DO ESCUDO DAS GUIANAS,
ESTADO DO AMAZONAS**

DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR

ROBERTO CÉSAR DE MENDONÇA BARBOSA

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

Data da Aprovação: 23/03/2010

Banca Examinadora:

DR. AFONSO CÉSAR RODRIGUES NOGUEIRA
(Orientador – UFPA)

DR. RENATO PAES DE ALMEIDA
(Membro – USP)

DR. RÔMULO SIMÕES ANGÉLICA
(Membro – UFPA)

Dedico este trabalho a minha família,
fonte de força inesgotável.

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos as pessoas que fizeram parte da evolução dessa dissertação. A Deus pelo conforto espiritual, a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão da bolsa de estudo e a UFPA pela infra-estrutura necessária para elaboração do trabalho.

A meu orientador, Dr. Afonso Nogueira, pelo voto de confiança e oportunidades, antes de tudo um amigo que sempre me mostrou o que poucos poderiam ver. Sinceramente espero que no final você esteja certo.

Aos amigos irmãos, Hozerlan Lima e Humberto Abinader, Jesus da informática (aquele que ressuscita arquivos deletados), por ajudarem na montagem das seções panorâmicas, por aturarem as mudanças de humor, por terem paciência em conviver comigo (sei que não foi fácil). Ao Miguel, na maioria das vezes presente, pela ajuda nessa fase de transição, incentivo, momentos de alegria e por me fazer ver os problemas com outro ponto de vista.

Ao Dr. Werner Truckenbrodt pelos ensinamentos de vida e científicos. Ao Dr. Rômulo Angélica, uma das melhores coisas da vida é mudar a visão das pessoas. A Dra. Lucieth Vieira (UNB) pelo auxílio na etapa de campo. Aos companheiros do Grupo de Geologia Sedimentar da UFPA (GSED), em especial aos geólogos José Bandeira e Joelson Soares. Nunca trabalhei e aprendi em um grupo tão competente.

Enfim, as pessoas que embora não citados, contribuíram de alguma forma para a finalização dessa dissertação.

“Deixou cair em tentação
Não lhe custava o sacrifício
Aprendendo com os erros
E às vezes acertando em cheio
Por uma vida menos ordinária pintamos o chão
Por isso você é o lugar pronde sempre vou e fico
Limitando a esperança de ver
O meu mundo fazendo sentido de vez, de vez

Incompletos desejos
Aos pedaços lhe faço existir
Um dia aqui e outro ali
E com fome de tudo
Esperando a hora que diz onde tenho que ir”.

Trecho da música Onde tenho que ir – Nação Zumbi

RESUMO

Rochas neoproterozóicas da Formação Prosperança, cobertura sedimentar da porção sul do Escudo das Guianas, são pobremente expostas quando comparadas com o registro sedimentar fanerozóico das bacias da Amazônia Ocidental. A Formação Prosperança consiste em conglomerados, arenitos arcosianos e pelitos que preenchem grábens no embasamento no Escudo das Guianas orientados segundo NW-SE. Esta unidade é sotoposta por rochas carbonáticas da Formação Acarí que ocorre apenas em subsuperfície, compondo o Grupo Purus, embasamento sedimentar das bacias paleozóicas produtoras de óleo da Amazônia. A análise de fácies e estratigráfica realizada na região do baixo rio Negro, Estado do Amazonas, indicou que a Formação Prosperança consiste em quatro associações de fácies representativas de um sistema flúvio-deltaico: 1) prodelta/lacustre, 2) frente deltaica, 3) *foreshore/shoreface* e 4) planície *braided* distal. Camadas tabulares de pelitos de prodelta extensos por quilômetros sugerem uma bacia sedimentar ampla de provável origem lacustre ou mar restrito. Lobos de frente deltaica complexos foram alimentados por distributários *braided*, formados por dunas subaquosas que migravam para NW do Bloco Amazônico durante o Neoproterozóico. Arenitos gerados sob condições de fluxo oscilatório/combinado são compatíveis com depósitos de praia e de face litorânea. A Bacia Prosperança foi fracamente invertida durante o intervalo Cambriano-Ordoviciano. Posteriormente estes depósitos são recobertos erosivamente por conglomerados e arenitos com estratificações cruzadas e planares interpretadas como depósitos fluviais do tipo *braided*, com migração para SE, pertencentes ao Grupo Trombetas do Eo-paleozóico da Bacia do Amazonas.

Palavras-chave: Escudo das Guianas, Formação Prosperança, Neoproterozóico, sistema flúvio-deltaico.

ABSTRACT

The Neoproterozoic Prosperança Formation represents a sedimentary cover of southern Guyanas shield, poorly exposed when compared with Paleozoic sedimentary record of Western Amazonian basins. The Prosperança Formation consists of conglomerates, arkosic sandstones and mudstones that fill NW-SE oriented-grabens on crystalline rocks of Guyanas shield basement. These unit and the carbonate rocks of Acarí Formation (observed only in cores), constitutes the Purus Group, sedimentary basement of oil producer Paleozoic basins of the Amazon region. Based-outcrop facies and stratigraphic analysis were carried out at lower Negro River, State of Amazonas, indicated a fluvial-deltaic system to Prosperança Formation composed by facies associations of 1) prodelta/lacustrine, 2) delta front, 3) foreshore/shoreface and 4) distal braided plain. Prodelta mudstones laterally continuous for hundreds of kilometers suggest a wide lacustrine or restricted sea sedimentary basin. Complex deltaic lobes were fed by braided distributaries formed by subaqueous dunes that migrated mainly to NW of Amazon block during the Neoproterozoic times. Sandstones generated under oscillatory and combined flow representative of foreshore and shoreface zones were adjacent to active delta front. The Prosperança basin was weakly inverted during the Cambrian-Ordovician interval. Afterwards, these deposits were unconformably overlaid by sandstone and conglomerate with planar to trough cross-bedded sandstones related to SE-oriented braid plain of Eo-Paleozoic Trombetas Group of Amazon basin.

Keywords: Guyana Shield, Prosperança Formation, Neoproterozoic, fluvial-deltaic system.

LISTA DE TABELA

Tabela 1. Fácies e processos deposicionais da sucessão sedimentar do baixo rio Negro____ 12

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1. Geologia e localização da região do baixo rio Negro. A) Disposição geográfica da área investigada. B) Contexto geológico e distribuição das unidades geológicas. C) Mapa geológico e localização das exposições analisadas_____ 02
- Figura 2. Principais lineamentos proterozóicos do Cráton Amazônico. Rochas do Grupo Purus foram depositadas em grábens e hemi-grábens proterozóicos, principalmente representados pelo Gráben Invertido de Purus e do Cachimbo_____ 05
- Figura 3. Seção longitudinal das bacias do Solimões, Amazonas e Marajó com a disposição das seqüências sedimentares e eventos magmáticos. Na região do baixo rio Negro, rochas da Formação Prosperança estão inseridas no Gráben Invertido de Purus. O perfil A-A' destaca a estratigrafia do embasamento pré-cambriano na região do Arco de Purus. Os retângulos vermelhos enfatizam o intervalo analisado_____ 06
- Figura 4. Diques máficos que truncam exposições da Formação Prosperança no baixo rio Negro. Os diques máficos podem alcançar espessura de até 8m_____ 09
- Figura 5. Brecha de contato entre diques máficos e arenitos da Formação Prosperança em exposições nas margens do rio Unini, região do baixo rio Negro. As brechas exibem fragmentos de arenitos silicificados_____ 10
- Figura 6. Litoestratigrafia da região do baixo rio Negro entre a foz dos rios Unini e Jaú. Rochas flúvio-deltaicas da Formação Prosperança sotopõem a Província Ventuari-Tapajós. O topo da Formação Prosperança é marcado pelo desenvolvimento de perfis intempéricos (paleossolo) e por um contato erosivo com as rochas da Bacia do Amazonas_____ 14
- Figura 7. Seções colunares da região do baixo rio Negro. O padrão de paleocorrente entre as fácies da Formação Prosperança e do Grupo Trombetas são divergentes. A relação de contato entre essas unidades é representada por uma superfície erosiva (limite de seqüência)_____ 15
- Figura 8. Aspectos gerais da associação de fácies de prodelta. A) Corpos tabulares da fácies PI sotopostos por depósitos de frente deltaica, representada pela fácies Ap (NR- nível do rio). B) Camadas tabulares da fácies Pac que por vezes destacam os lobos sigmóides da associação de fácies de frente deltaica (fácies Ap e Ao). C e D) Detalhes da fácies Pac. Note que as lentes de arenito apresentam espessuras de até 4cm (a- arenito com laminação cruzada e p- pelito). E) Esboço e relação espacial entre fácies de prodelta (Pac) e de frente deltaica (Ao e Ap). Observe que o contato entre as fácies Ao e Pac apresenta truncamentos de baixo ângulo e freqüente laminação cruzada cavalgante subcrítica no toe set da fácies Ao_____ 17

Figura 9. Geometria deposicional e estruturação interna de depósitos da frente deltaica. A e B) Lobos amalgamados destacados por superfícies de 4ª ordem (4) com estruturação interna dominada pela fácies Asg. A geometria dos lobos sigmoidais passam lateralmente para planares/lenticulares com as fácies Ap e Ao. Note a abundância de deformações como acamamento maciço, convolução (cunhas) e falha de crescimento (seta vazada). Escala vertical é igual à horizontal, NR- nível do rio. C) Falha de crescimento (seta vazada). As camadas tornam-se menos deformadas em direção a parte superior da falha. Setas fechadas indicam a dinâmica da deformação. D) Convolução da fácies Asg (setas vazadas). E) Estruturação interna (fácies Aq e Ao) do lobo sigmoidal. F) Lobo com geometria côncava. Setas indicam a base côncava. G) Relação espacial das fácies Asg e Aq nos lobos arenosos. H) Estrato sigmoidal com padrão de paleocorrente oposto a predominante nestes depósitos (para SE). Barras verticais nas figuras E – I igual a 50cm _____ 19

Figura 10. Diagramas de roseta com os padrões de paleocorrentes das associações de fácies de frente deltaica, foreshore/shoreface, planície braided distal e planície braided proximal. Note o padrão unimodal e que a direção das paleocorrentes dos depósitos de planície deltaica proximal está em contraste com as outras associações de fácies. Diagramas com intervalos de 30° _____ 20

Figura 11. Depósitos de foreshore/shoreface nas margens do rio Negro. A) Relação espacial entre as fácies Atg e Ao. Setas indicam superfícies de reativação. B) Detalhe das fácies Atg e Ao, estas sobrepostas à fácies Rap. O relevo negativo nos foresets da fácies Atg indica a retirada de mud drapes (setas). C) Aspecto geral e esboço de camadas tabulares com a fácies Ab. D) Laminações planares da fácies Ap. Martelo geológico destacado por elipse _____ 21

Figura 12. Fácies As com base erosiva côncava e assimétrica (setas) que lateralmente passa para acamamento planar _____ 22

Figura 13. Feições gerais da fácies Pp. A) Fácies Pp com os horizontes HzC (mosqueado), HzB e HzBo (ricos em óxido/hidróxido de ferro). A superfície erosiva (S) é recoberta pelas fácies Cc e Aa da AF5. B) Detalhe dos horizontes HzC e HzB. C) A superfície erosiva (S) marca a passagem de depósitos de foreshore/shoreface (fácies Pp) e depósitos de planície braided proximal braided (fácies Cc). Note que o horizonte HzB e parte do horizonte HzC foram erodidos pela fácies Cc. D) Peds colunares (HzBn) com topos dômicos indicados por setas _____ 22

Figura 14. Depósitos de planície braided distal. A) Corte transversal da fácies Aa. NR representa o nível do rio. B) Vista em planta da fácies Aa. Setas com pontas duplas representam o eixo de migração. C e D) Níveis de segregação de grossos associados à fácies Aa. Escala destacada por elipse. E) Convoluções associadas à fácies Aa _____ 25

Figura 15. Feição geral e esboço de camadas tabulares com as fácies At, Aa e Ap em afloramentos no rio Negro. A) Fácies At da associação de fácies 4. B) Depósitos da associação de fácies 5. O sentido da paleocorrente na fácies Aa (NW) está em contraste em relação aos depósitos da figura A. Note na porção basal da fácies Aa várias superfícies de reativação (setas) _____ 26

Figura 16. Paleogeografia do Neoproterozóico com a disposição dos principais blocos continentais. A sucessão analisada pertence ao bloco Amazônico (AM) que estava rotacionado ($\pm 180^\circ$) e situado próximo a zona subpolar sul_____ 28

Figura 17. Reconstituição paleoambiental e evolutiva dos depósitos da região do baixo rio Negro. A) No Neoproterozóico foi implantado um sistema deltaico que progradava para NW e era alimentado por um sistema fluvial braided. B) Inversão da Bacia do Purus e formação do rift precursor da Bacia do Amazonas seguido de exposição/erosão de depósitos da Formação Prosperança. C) Progradação do sistema fluvial braided do Grupo Trombetas que migrava para SE, formando assim um limite de seqüência (S). 1- Prodelta (AF1), 2- Frente deltaica (AF2), 3- Foreshore/shoreface (AF3), 4- Planície braided distal (AF4) e 5- Planície braide proximal (AF5)_____ 30

ÍNDICE

| | |
|--|-----------|
| DEDICATÓRIA..... | iv |
| AGRADECIMENTOS..... | v |
| EPÍGRAFE..... | vi |
| RESUMO..... | vii |
| ABSTRACT..... | viii |
| LISTA DE TABELA..... | ix |
| LISTA DE ILUSTRAÇÕES..... | x |
| | |
| CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 1.1 APRESENTAÇÃO..... | 1 |
| 1.2 ÁREA DE ESTUDO E BASE DE DADOS..... | 2 |
| 1.3 OBJETIVOS..... | 3 |
| 1.4 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO..... | 3 |
| | |
| CAPÍTULO 2 – MÉTODO..... | 4 |
| 2.1 ANÁLISE FACIOLÓGICA..... | 4 |
| | |
| CAPÍTULO 3 – O GRÁBEN INVERTIDO DE PURUS..... | 5 |
| 3.1 A FORMAÇÃO PROSPERANÇA..... | 7 |
| 3.1.1 Generalidades e posição estratigráfica..... | 7 |
| 3.1.2 Litologia e ambiente deposicional..... | 8 |
| 3.1.3 A Formação Prosperança na região do baixo rio Negro..... | 9 |
| | |
| CAPÍTULO 4 – PALEOAMBIENTE DA FORMAÇÃO PROSPERANÇA, EMBASAMENTO NEOPROTEROZÓICO DA BACIA DO AMAZONAS..... | 11 |
| 4.1 RESUMO..... | 11 |
| 4.2 ABSTRACT..... | 12 |
| 4.3 INTRODUÇÃO..... | 12 |
| 4.4 CONTEXTO GEOLÓGICO..... | 13 |
| 4.5 A SUCESSÃO SEDIMENTAR NA REGIÃO DO BAIXO RIO NEGRO..... | 14 |
| 4.5.1 Associação de fácies 1 (AF1) – prodelta..... | 17 |
| 4.5.2 Associação de fácies 2 (AF2) – frente deltaica..... | 18 |
| 4.5.3 Associação de fácies 3 (AF3)– <i>Foreshore / shoreface</i> | 20 |
| 4.5.4 Associação de fácies 4 (AF4) – planície <i>braided distal</i> | 24 |
| 4.5.5 Associação de fácies 5 (AF5) – planície <i>braided proximal</i> | 26 |
| 4.6 RECONSTITUIÇÃO PALEOAMBIENTAL E EVOLUTIVA..... | 27 |
| 4.7 CONCLUSÕES..... | 31 |
| 4.8 REFERÊNCIAS..... | 31 |

| | |
|---|-----------|
| CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 35 |
| REFERÊNCIAS..... | 36 |

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

Depósitos sedimentares de idade pré-cambriana ocorrem principalmente na porção sul do Escudo das Guianas, extremo norte do Cráton Amazônico. Estes são representados por depósitos siliciclásticos paleoproterozóicos do Supergrupo Roraima, mesoproterozóicos da Formação Urupi e neoproterozóicos da Formação Prosperança (Santos *et al.* 2002, Reis *et al.* 2003, Souza & Nogueira 2009). Enquanto as unidades paleo e mesoproterozóicas já foram alvos de investigações por décadas, os depósitos considerados neoproterozóicos permanecem desconhecidos do ponto de vista faciológico e estratigráfico (Caputo & Sad 1974, Santos *et al.* 2002, Cunha *et al.* 2007).

A Formação Prosperança é predominantemente siliciclástica e unidade basal do Grupo Purus, que constitui parte do embasamento das bacias do Amazonas e Solimões na Amazônia Ocidental. Empresas petrolíferas em atividade nessas bacias têm se deparado com a problemática de distinção entre unidades sedimentares do embasamento e depósitos eo-paleozóicos das bacias do Amazonas e Solimões, potenciais rochas reservatórios e geradoras, principalmente quando são encontradas em contato. De fato, a natureza siliciclástica grossa, a ausência de fósseis, bem como de litotipos ideais para datação, como por exemplo, rochas vulcânicas e vulcanoclásticas intercaladas, dificultam o estabelecimento de critérios para esta distinção.

Estudos preliminares na Formação Prosperança datam do final século passado (Caputo & Sad 1974, Castro *et al.* 1988) e são informações de cunho exclusivamente litológicas, sem uma interpretação mais precisa das fácies sedimentares e dos sistemas deposicionais. Nesse sentido, esta dissertação envolveu a análise faciológica e estratigráfica de rochas da Formação Prosperança, realizada na região do baixo rio Negro, Estado do Amazonas (Figura 1). Esta análise permitiu a definição do paleoambiente deposicional, estabeleceu parâmetros para a distinção da Formação Prosperança de unidades eo-paleozóicas pertencentes às bacias sedimentares da Amazônia Ocidental, bem como auxiliou na melhor compreensão da história sedimentar do final no Neoproterozóico do Escudo das Guianas.

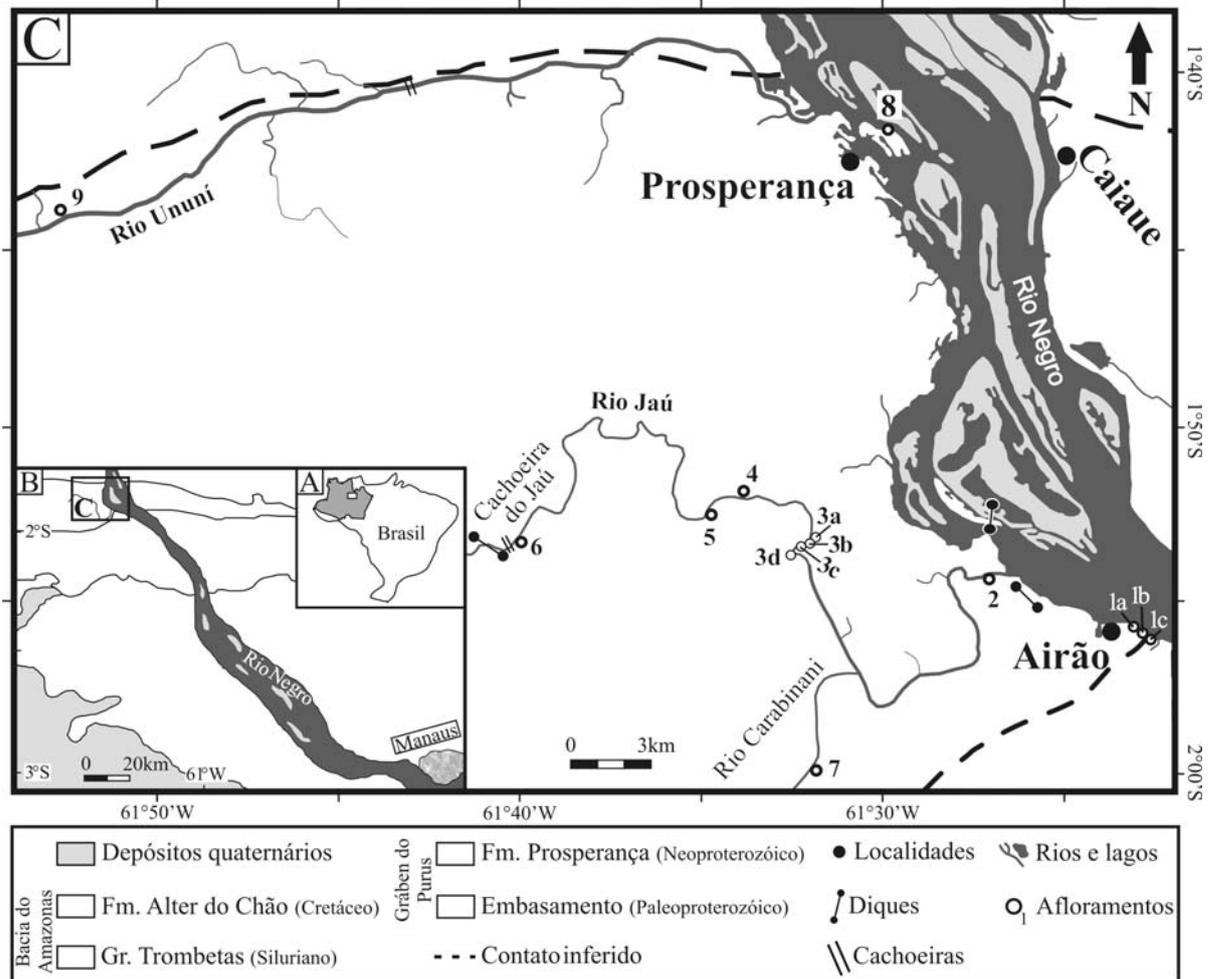


Figura 1. Geologia e localização da região do baixo rio Negro. A) Disposição geográfica da área investigada. B) Contexto geológico e distribuição das unidades geológicas. C) Mapa geológico e localização das exposições analisadas (Modificado de Caputo & Sad 1974).

1.2 ÁREA DE ESTUDO E BASE DE DADOS

A área de estudo concentrou-se em exposições da Formação Prosperança na região do baixo rio Negro, ao longo das escarpas dos rios Negro, Jaú, Carabinani e Unini (Figura 1). Essas exposições alcançam até 10m de espessura e estão parcialmente inseridas no Parque Nacional do Jaú (PARNA JAU), cuja entrada é controlada pelo IBAMA – ICMBio (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – Autorização SISBIO n° 324150). O acesso aos afloramentos foi realizado por meio de botes motorizados no período de estiagem dos rios da região (entre outubro e novembro), o que geralmente favorece exposições bem preservadas. Por outro lado, a grande distância entre as exposições dificultou em parte a análise estratigráfica da unidade. Nove localidades principais foram estudadas e permitiram a

confeção de catorze seções colunares da Formação Prosperança, além do reconhecimento de três diques de diabásios.

1.3 OBJETIVOS

Os objetivos desta dissertação foram: (1) reconstituir o paleoambiente deposicional e a paleogeografia da Formação Prosperança no sul do Escudo das Guianas; (2) fornecer parâmetros para distinguir os depósitos siliciclásticos proterozóicos de unidades paleozóicas das bacias sedimentares Amazônicas e; (3) tecer considerações sobre a história sedimentar da margem sul do Escudo das Guianas.

1.4 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A dissertação está estruturada em cinco capítulos. O Capítulo 1 corresponde à parte introdutória onde são apresentados a problemática, objetivos e a apresentação da área de estudo. O Capítulo 2 se refere à técnica desenvolvida e o Capítulo 3 apresenta a geologia regional da área estudada. O Capítulo 4 traz a reconstituição paleoambiental da Formação Prosperança por meio da análise de fácies e estratigráfica. Ele se baseia em um artigo submetido à Revista Brasileira de Geociências. O Capítulo 5 refere-se às considerações finais. Já as referências consultadas são apresentadas no final da dissertação.

CAPÍTULO 2

2. MÉTODO

2.1 ANÁLISE FACIOLÓGICA

O conceito de fácies seguiu a proposta de Walker (1990, 1992) que engloba a descrição da litologia, medidas de paleocorrentes, textura, estruturas sedimentares, conteúdo fossilífero e geometria do corpo sedimentar.

A individualização e descrição de fácies tiveram por objetivo caracterizar o processo sedimentar, enquanto o agrupamento de fácies em associações cogenéticas e contemporâneas permitiu a identificação de ambientes e sistemas deposicionais. Esses elementos foram representados na forma de blocos diagramas que representam um modelo tridimensional das associações de fácies.

A descrição de fácies foi auxiliada por seções colunares e seções panorâmicas (Wizevic 1991, Arnot *et al.* 1997), estas últimas obtidas a partir de fotomosaicos de afloramentos por meio dos quais foram identificados os elementos arquiteturais (Miall 1985), definidores de paleoambientes deposicionais. Para todas as fácies arenosas coletou-se amostras (aproximadamente 1kg) para análise de textura, complementando as descrições de fácies.

As fácies foram representadas seguindo o código proposto por Miall (1977), onde a primeira letra maiúscula indica a litologia principal e a letra minúscula representa a principal estrutura. É importante salientar que cada fácies pode ser englobada em mais de uma associação, por isso a fácies repetida foi descrita apenas uma vez.

Para localizar com precisão as diferentes localidades visitadas na etapa de campo utilizou-se o GPS (*Global Positioning System*), que determina as coordenadas geográficas e/ou UTM. As coordenadas das localidades foram representadas em mapas de localização obtidos por meio de informações em mapas geológicos da região estudada (Figura 1).

CAPÍTULO 3

3. O GRÁBEN INVERTIDO DE PURUS

Na fase final do Paleoproterozóico (1.75 – 1.50Ga) o Cráton do Amazonas foi submetido a esforços extensionais na direção NW-SE (Figura 2). Este relaxamento crustal originou grábens e hemi-grábens onde se depositaram sedimentos da Formação Prosperança e Acarí (encontrada apenas em subsuperfície), englobadas no Grupo Purus (Wanderley Filho 1991, Castro *et al.* 1998, Cunha *et al.* 2007, Souza & Nogueira 2009). A história sedimentar do Grupo Purus não tem ligação com o preenchimento vulcano-sedimentar das bacias do Amazonas e Solimões, compondo assim, parte do embasamento sedimentar dessas bacias (Wanderley Filho *et al.* 2007).



Figura 2. Principais lineamentos proterozóicos do Cráton Amazônico. Rochas do Grupo Purus foram depositadas em grábens e hemi-grábens proterozóicos, principalmente representados pelo Gráben Invertido de Purus e do Cachimbo (Modificado de Wanderley Filho 1991).

Rochas da Formação Prosperança afloram nas proximidades região do Arco de Purus (ou Gráben Invertido do Purus), oeste da cidade de Manaus (Wanderley Filho 1991). O Arco

de Purus é uma feição estrutural arqueada orientada aproximadamente na direção NW-SE que separa as bacias do Amazonas e Solimões. Essa estrutura foi reconhecida através de mapas de isópacas, seções geológicas, sísmicas e gravimétricas, esta última com valores de até -50mgal, que condizem com rochas com baixa densidade, correlatas ao Grupo Purus (Caputo *et al.* 1972, Wanderley Filho 1991, Figura 3).

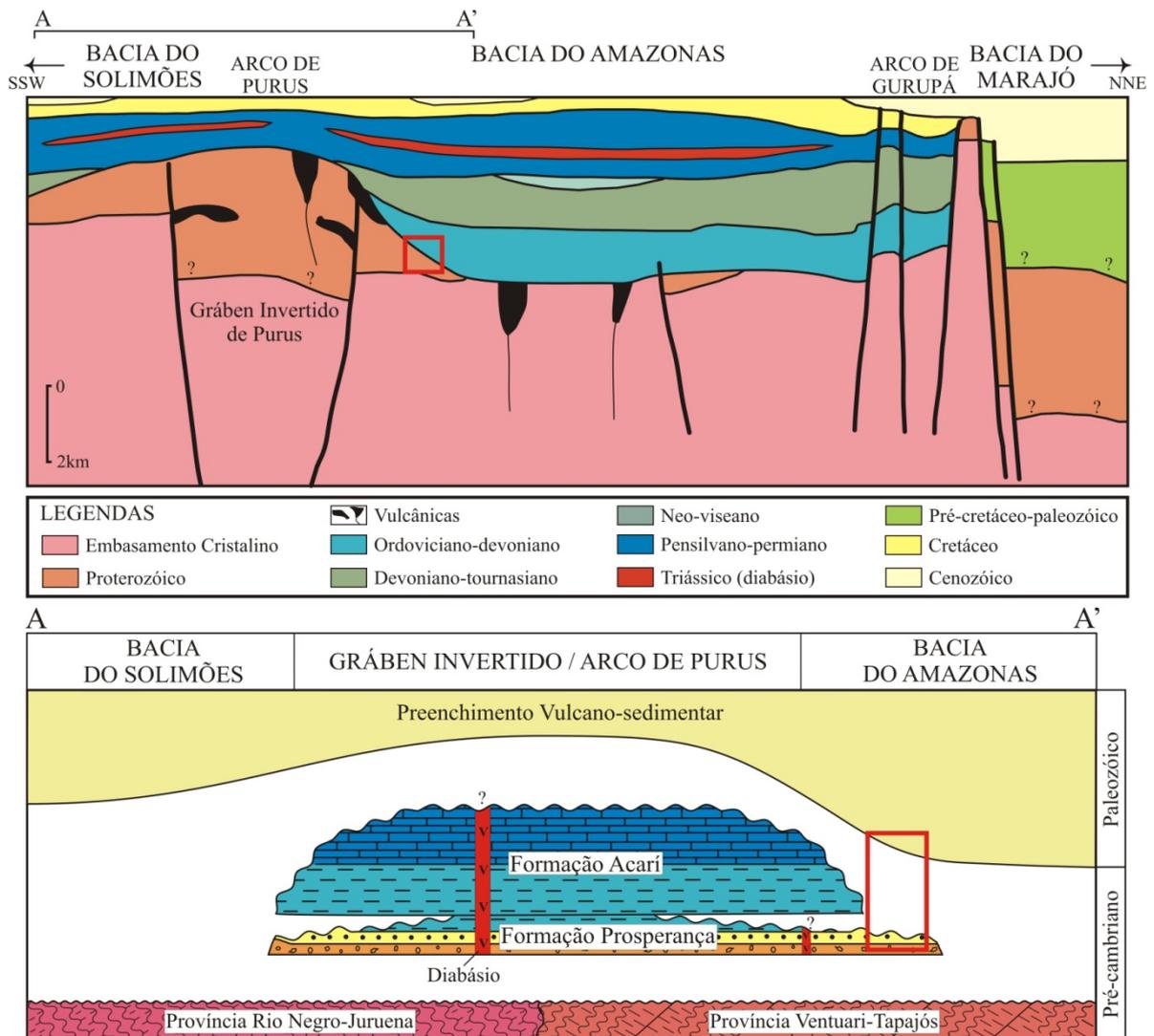


Figura 3. Seção longitudinal das bacias do Solimões, Amazonas e Marajó com a disposição das seqüências sedimentares e eventos magmáticos. Na região do baixo rio Negro, rochas da Formação Prosperança estão inseridas no Gráben Invertido de Purus. O perfil A-A' destaca a estratigrafia do embasamento pré-cambriano na região do Arco de Purus. Os retângulos vermelhos enfatizam o intervalo analisado (Modificado de Eiras 1996, Cunha *et al.* 2007, Wanderley Filho *et al.* 2007).

O Grábens Invertido do Purus forma uma bacia cujos limites são falhas normais com orientação NW-SE. Dados de poços sugerem embasamento com idades de 1.00 a 1.90Ga, similares as encontradas no Supergrupo Uatumã (Wanderley Filho 1991).

A evolução das bacias do Amazonas e Solimões gerou movimentos diferenciais que provocaram a inversão do Arco de Purus (Wanderley Filho 1991). Esta inversão é constatada principalmente pela natureza em *onlap* e *pinch out* das unidades paleozóicas sobre o Arco de Purus, ausência de diabásio juro-triássico (Magmatismo Penatecaua), além de mergulhos de até 10° para sul nas exposições da Formação Prosperança no nordeste do Estado do Amazonas (Nogueira *et al.* 1997, Souza & Nogueira 2009).

O Gráben Invertido do Purus pode compor junto com a Serra do Cachimbo uma única estruturação que foi obliterada pela sinéclise intracratônica da Bacia do Amazonas. No entanto faltam estudos estratigráficos de detalhe que comprovem a correlação das rochas da Formação Prosperança com aquelas aflorantes na Serra do Cachimbo. Esses aspectos sugerem que o Arco de Purus foi uma estruturação tipo gráben no Proterozóico e, posteriormente, comportou-se como zona compartimental durante a evolução das bacias do Amazonas e do Solimões, controlando em particular a migração lateral dos sistemas deposicionais, bem como incursões marinhas (Mapes 2009, Hoorn *et al.* 2010, Figura 3).

3.1 A FORMAÇÃO PROSPERANÇA

3.1.1 Generalidades e posição estratigráfica

O primeiro registro desta unidade foi realizado por Paiva (1929) ao descrever exposições nas escarpas do igarapé Prosperança, afluente do rio Negro. Antes de ser formalizada como Formação Prosperança (Caputo *et al.* 1971), essas rochas já foram chamadas de Formação Jaú (Swan 1958) e Formação Prainha (Almeida & Nogueira Filho 1959).

A Formação Prosperança ocorre numa área com aproximadamente 4.860km² na porção sul do Escudo das Guianas. Rochas dessa unidade dispõem-se em uma faixa estreita e descontínua, acompanhando a disposição WSW-ENE das unidades paleozóicas da borda norte da Bacia do Amazonas, como também preenchendo grábens orientados segundo WNW-ESE e NE-SW (Nogueira & Soares 1996, CPRM 2002).

As melhores exposições da Formação Prosperança concentram-se ao longo da rodovia BR-174 e escarpas no baixo rio Negro, nas proximidades do Arco de Purus (Caputo & Sad 1974, CPRM 2001, Barbosa 2007). A Formação Prosperança alcança espessuras superiores a 1.000m sobrepondo-se as rochas da Província Ventuari-Tapajós (1.95 – 1.80Ga) e Rio Negro-Juruena (1.80 – 1.55Ga), sendo sotoposta em discordância erosiva, por rochas da Formação Acari (Proterozóico) e da Formação Nhamundá (Siluriano) (Wanderley Filho 1991, Cunha *et al.* 2007).

O intervalo Pré-cambriano Superior a Ordoviciano tem sido inferido para a Formação Prosperança por sua posição abaixo dos depósitos do Grupo Trombetas (Paleozóico Inferior). Atualmente a seção de referência da Formação Prosperança é o intervalo 975-2.060m do poço 2-SL-1-AM (Caputo *et al.* 1972, Cunha *et al.* 1994).

A datação de grãos de zircão detrítico em afloramentos da Formação Prosperança ao longo da rodovia BR-174 indicaram idade mínima de sedimentação de $1.02 \pm 7\text{Ga}$ (CPRM 2001, método de evaporação Pb-Pb). Por outro lado, diques de diabásio datados entre 1.10 e 1.40Ga sugerem que a Formação Prosperança poderia ser mais antiga (Caputo *et al.* 1972, Montalvão & Bezerra 1985). Além da ausência de fósseis, a falta de estudos estratigráficos detalhados não permite avançar a discussão sobre a idade considerada como Proterozóica. No entanto, quando comparada às unidades sedimentares pré-cambrianas do Escudo das Guianas, a Formação Prosperança não é correlata ao Supergrupo Roraima (Paleoproterozóico) e nem à Formação Urupi (Mesoproterozóico), o que indica um provável *trend* de subsidência para o sul do Escudo das Guianas, sugerindo idades mais novas para a Formação Prosperança (Neoproterozóico?).

3.1.2 Litologia e ambiente deposicional

Rochas da Formação Prosperança são representadas por conglomerados, arenitos arcossianos e siltitos. Os conglomerados são polimíticos, compostos por seixos arredondados de argilitos, riolitos e quartzitos. Os arenitos apresentam granulometria fina a grossa, grãos arredondados a subarredondados e podem ser fortemente silicificados ou desprovidos de cimento silicoso. As estruturas principais são estratificações planares e cruzadas, acamamentos maciço e ondulado, além de deformações sindeposicionais. Os siltitos são maciços ou com laminação plano-paralela, micáceos e com desagregação platiforme (Caputo & Sad 1974, Nogueira 1999).

No topo da Formação Prosperança desenvolveram-se perfis lateríticos completos, caracterizados por horizontes bauxíticos e crosta ferruginosa colunar. Geralmente, o topo dos perfis é erodido e formam horizontes de cascalhos (Peixoto & Horbe 2008). As formações destes perfis intempéricos muitas vezes obliteram as estruturas primárias.

Os ambientes deposicionais propostos para Formação Prosperança têm sido considerados como alúvio-flúvio-lacustre, sendo os depósitos fluviais relacionados a rios *braided* (Caputo *et al.* 1972, Tassinari *et al.* 2000, Cunha *et al.* 2007). No entanto, a ambiência relacionada à planície deltaica e face litorânea foi sugerida para exposições ao longo da rodovia BR-174 e no baixo rio Negro (Nogueira & Soares 1996, Barbosa 2007).

3.1.3 A Formação Prosperança na região do baixo rio Negro

O primeiro levantamento geológico nesta região foi realizado por Caputo & Sad (1974). Estes identificaram exposições da Formação Prosperança entre os rios Unini e Puduari, afluentes da margem direita do rio Negro. Por meio de sensores orbitais, a CPRM (2002) sugeriu que as rochas desta unidade estariam restritas a área entre os rios Unini e Jaú. Entretanto Barbosa (2007), analisando exposições a jusante da foz do rio Jaú e no rio Carabinani (afluente do rio Jaú), constatou que o limite setentrional desta unidade é irregular, e situada à jusante da cidade de Airão.

A Formação Prosperança é cortada por diques máficos (diabásio?) que ainda não foram datados (Figura 4). Brechas de contato formadas por fragmentos de arenitos são feições comuns nas proximidades destes corpos intrusivos (Figura 5). Arenitos fortemente silicificados e/ou com padrões de fraturamento semelhante a disjunções colunares ocorrem na borda dos diques máficos.



Figura 4. Diques máficos que truncam exposições da Formação Prosperança no baixo rio Negro. Os diques máficos podem alcançar espessura de até 8m.

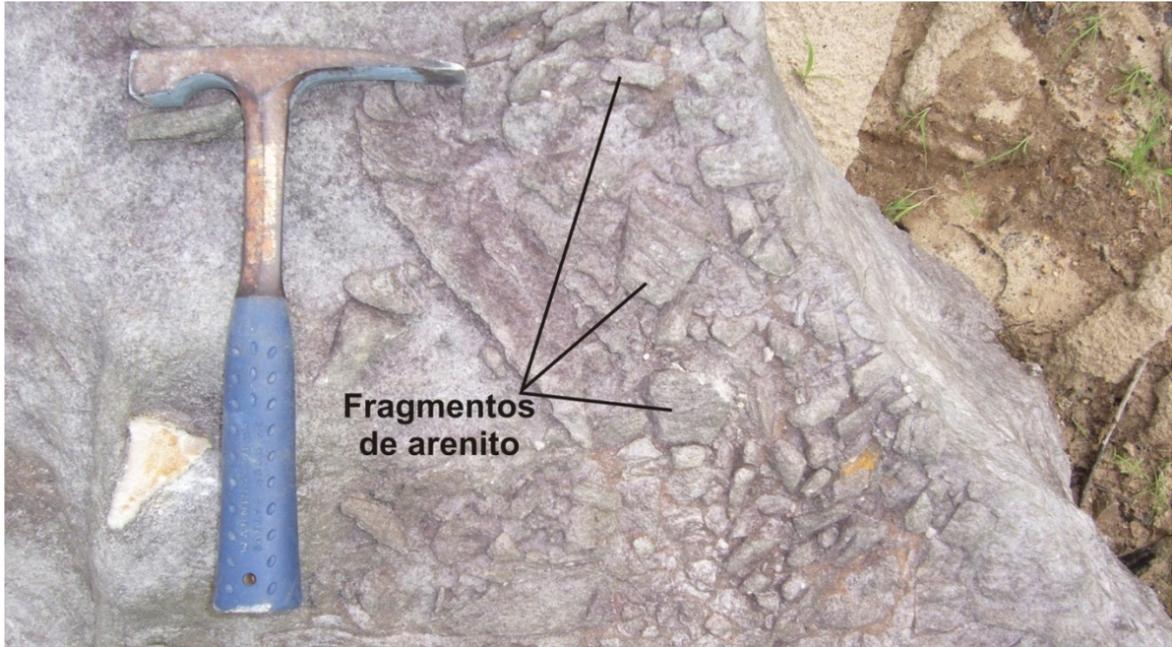


Figura 5. Brecha de contato entre diques máficos e arenitos da Formação Prosperança em exposições nas margens do rio Unini, região do baixo rio Negro. As brechas exibem fragmentos de arenitos silicificados.

CAPÍTULO 4 – Artigo submetido à Revista Brasileira de Geociências

4. PALEOAMBIENTE DA FORMAÇÃO PROSPERANÇA, EMBASAMENTO NEOPROTEROZÓICO DA BACIA DO AMAZONAS

4.1 RESUMO

Rochas neoproterozóicas da Formação Prosperança, cobertura sedimentar da porção sul do Escudo das Guianas, são pobremente expostas quando comparadas com o registro paleozóico das bacias da Amazônia Ocidental. A Formação Prosperança consiste em conglomerados, arenitos arcossianos e pelitos que preenchem grábens no embasamento. Esta unidade é sotoposta por rochas carbonáticas da Formação Acarí (Neoproterozóico), observada apenas em subsuperfície, que agrupadas representam o embasamento sedimentar das bacias paleozóicas produtoras de óleo da Amazônia. A precisa caracterização e reconstrução paleoambiental da Formação Prosperança são essenciais para a distinção entre unidades do embasamento sedimentar e paleozóicas. A análise estratigráfica foi realizada na região do baixo rio Negro, Estado do Amazonas. A Formação Prosperança consiste em quatro associações de fácies que foram interpretadas como produto de um sistema flúvio-deltaico: prodelta/lacustre, frente deltaica, *foreshore/shoreface* e planície *braided* distal. Camadas tabulares de pelitos distribuídos por quilômetros sugerem uma bacia sedimentar de provável origem lacustre/mar restrito. Lobos deltaicos complexamente estruturados foram alimentados por distributários *braided* que migravam para SE. Arenitos gerados sob condições de fluxo oscilatório/combinado são compatíveis com depósitos de face litorânea. Arenitos com estratificação cruzada e planar estão relacionados com a migração de dunas subaquosas associadas a processos fluviais *braided*. Camadas lenticulares de conglomerados e arenitos com estratificação cruzada e planar, de possível idade Paleozóica, sobrepõem a Formação Prosperança erosivamente. Essas camadas são produtos de um sistema fluvial *braided* proximal que migrava para NW, sentido inverso dos valores de paleocorrente dos arenitos Prosperança.

Palavras-chave: Escudo das Guianas, Formação Prosperança, sistema flúvio-deltaico.

4.2 ABSTRACT

PALEOENVIRONMENT OF PROSPERANÇA FORMATION, NEOPROTEROZOIC BASEMENT OF AMAZONAS BASIN

The Neoproterozoic Prosperança Formation represents a sedimentary cover of southern Guyana Shield and is poorly exposed when contrasted with Paleozoic record of western Amazonian basins. Conglomerates, arkosic sandstones and mudstones are the characteristic deposits filling basement grabens. This unit is overlain unconformably by neoproterozoic carbonate rocks of Acarí Formation (observed only in cores). These formations represent the sedimentary basement of oil producing Paleozoic basins of the Amazon region. The precise characterization and paleoenvironmental reconstruction of Prosperança Formation are important for their distinction from Paleozoic units. Stratigraphic analysis was carried out at lower Negro River, State of Amazonas. Four facies associations were interpreted as products of a fluvial-deltaic system: prodelta/lacustrine, delta front, foreshore/shoreface and distal braided plain. Mudstones distributed along several kilometers suggest a sedimentary basin probably of lacustrine/restricted sea origins. Complex structured deltaic lobes were fed by braided distributaries that migrated mainly to SE. Sandstones generated under oscillatory/combined flux are conformable with shoreline deposits. Planar to trough cross-bedded sandstones are related to migration of subaqueous dunes, associated to fluvial-braided processes. Lenses of conglomerate, planar to trough cross-bedded sandstones, possibly of Paleozoic age, which overlies unconformably the Prosperança Formation migrated to NW as product of proximal braided plain system and is in contrast to the S-directed cross-stratification of the Prosperança sandstones.

Keywords: Guyana Shield, Prosperança Formation, fluvial-deltaic system.

4.3 INTRODUÇÃO

Depósitos siliciclásticos de idade pré-cambriana da Formação Prosperança ocorrem no sul do Escudo das Guianas e constituem parte do embasamento das bacias paleozóicas da Amazônia Ocidental. Empresas petrolíferas em atividade nestas bacias têm se deparado com a problemática na distinção entre a Formação Prosperança e os depósitos eo-paleozóicos, tanto em superfície quanto em subsuperfície, principalmente quando são encontrados em contato. De fato, a natureza siliciclástica grossa e a ausência de fósseis na Formação Prosperança, bem como de litotipos ideais para datação, como por exemplo, rochas vulcânicas e

vulcanoclásticas intercaladas, dificultam a distinção destas unidades. O entendimento da história sedimentar da Formação Prosperança é um dos pontos importantes para estabelecer critérios para esta diferenciação.

Estudos preliminares na Formação Prosperança datam do final século passado (Caputo & Sad 1974, Castro *et al.* 1988) e são informações de cunho exclusivamente litológicas, sem uma interpretação mais precisa das fácies sedimentares e dos sistemas deposicionais. A análise de fácies (cf. Walker 1990, 1992) realizada em exposições da Formação Prosperança na região do baixo rio Negro, Estado do Amazonas, permitiu identificar um sistema flúvio-deltaico desenvolvido no sul do Escudo das Guianas durante o Neoproterozóico (Figura 1). A reconstrução da história sedimentar que precedeu a implantação das bacias paleozóicas amazônicas forneceu implicações importantes na reconstituição paleogeográfica desta parte da Amazônia Ocidental.

4.4 CONTEXTO GEOLÓGICO

Rochas da Formação Prosperança afloram nas proximidades da região do Gráben Invertido do Purus (GIP), oeste da cidade de Manaus (Wanderley Filho 1991, Figuras 2 e 3). O GIP é uma feição estrutural arqueada orientada aproximadamente na direção NW-SE que separa as bacias do Amazonas e Solimões. Essa estrutura foi reconhecida através de mapas de isópacas, seções geológicas, sísmicas e gravimétricas que condizem com rochas com baixa densidade, correlatas ao Grupo Purus (Formação Prosperança e Acarí) (Caputo *et al.* 1972, Wanderley Filho 1991). Dados de poços sugerem embasamento com idades de 1.00 a 1.90Ga, similares as encontradas no Supergrupo Uatumã (Wanderley Filho 1991). Durante o Fanerozóico o GIP comportou-se como zona compartimental, controlando em particular a migração lateral dos sistemas deposicionais das bacias do Amazonas e Solimões, bem como as incursões marinhas (Mapes 2009, Hoorn *et al.* 2010).

O GIP pode compor junto com a Serra do Cachimbo uma única feição que foi obliterada no início do Paleozóico pelo desenvolvimento da Bacia do Amazonas, de direção SSW-NNE (Wanderley Filho 1991). Faltam estudos estratigráficos que comprovem esta correlação com rochas da Formação Prosperança.

A Formação Prosperança alcança espessuras superiores a 1.000m sobrepondo-se as rochas da Província Ventuari-Tapajós (1.95 – 1.80Ga) e Rio Negro-Juruena (1.80 – 1.55Ga), sendo sotoposta em discordância erosiva, por rochas da Formação Acarí (Proterozóico) e da Formação Nhamundá (Siluriano) (Wanderley Filho 1991, Cunha *et al.* 2007, Figura 3).

A datação de grãos de zircão detrítico em afloramentos da Formação Prosperança ao longo da rodovia BR-174 indicaram idade mínima de sedimentação de $1.02 \pm 7\text{Ga}$ (CPRM 2001, método de evaporação Pb-Pb). Por outro lado, diques de diabásio datados entre 1.10 e 1.40Ga sugerem que a Formação Prosperança poderia ser mais antiga (Caputo *et al.* 1972, Montalvão & Bezerra 1985). Além da ausência de fósseis, a falta de estudos estratigráficos detalhados não permite avançar a discussão sobre a idade considerada como Proterozóica. No entanto, quando comparada às unidades sedimentares pré-cambrianas do Escudo das Guianas, a Formação Prosperança não é correlata ao Supergrupo Roraima (Paleoproterozóico) e nem à Formação Urupi (Mesoproterozóico), o que indica um provável *trend* de subsidência para o sul do Escudo das Guianas, sugerindo idades mais novas para a Formação Prosperança (Neoproterozóico?).

4.5 A SUCESSÃO SEDIMENTAR NA REGIÃO DO BAIXO RIO NEGRO

A sucessão sedimentar encontrada na região do baixo rio Negro é constituída pela Formação Prosperança e Grupo Trombetas (?) e expõem-se nas escarpas dos rios Unini, Negro, Jaú e Carabinani (Figura 1). Os afloramentos alcançam até 10m de altura e são isolados, no entanto em algumas localidades são lateralmente contínuos por dezenas de metros. A densa cobertura vegetal e espessos perfis de solo também contribuem para a escassez de afloramentos. A Formação Prosperança é recoberta em caráter erosivo por rochas da base do Grupo Trombetas (?) (Figura 6).

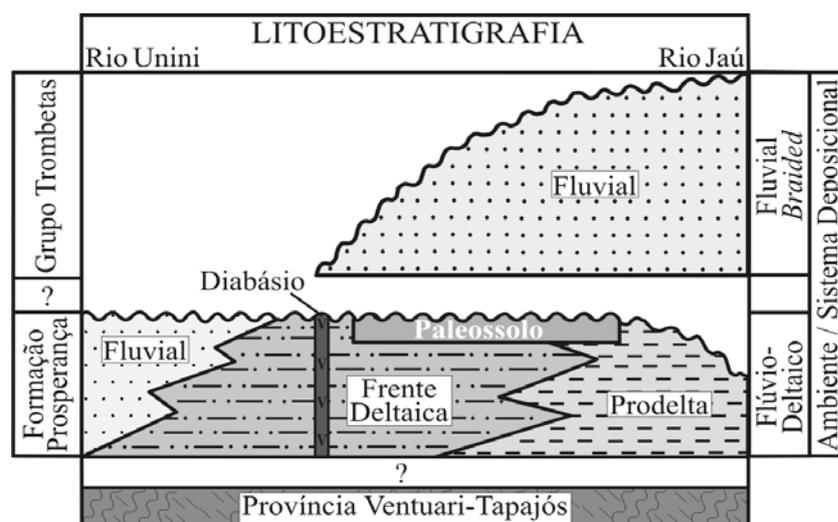


Figura 6. Litoestratigrafia da região do baixo rio Negro entre a foz dos rios Unini e Jaú. Rochas flúvio-deltaicas da Formação Prosperança sotopõem a Província Ventuari-Tapajós. O topo da Formação Prosperança é marcado pelo desenvolvimento de perfis intempéricos (paleossolo) e por um contato erosivo com as rochas da Bacia do Amazonas.

A sucessão estudada consiste de 14 fácies obtidas a partir da descrição de 14 seções colunares que foram agrupadas em cinco associações de fácies representativas de um sistema flúvio-deltaico (Formação Prosperança) e fluvial *braided* (Grupo Trombetas) (Figura 7 e Tabela 1). A correlação entre as seções colunares foi efetuada com base no nível do rio Negro que apesar de ser uma superfície erosiva é um horizonte comum em todas as seções colunares. As fácies são geralmente friáveis e exibem coloração avermelhada e acinzentada.

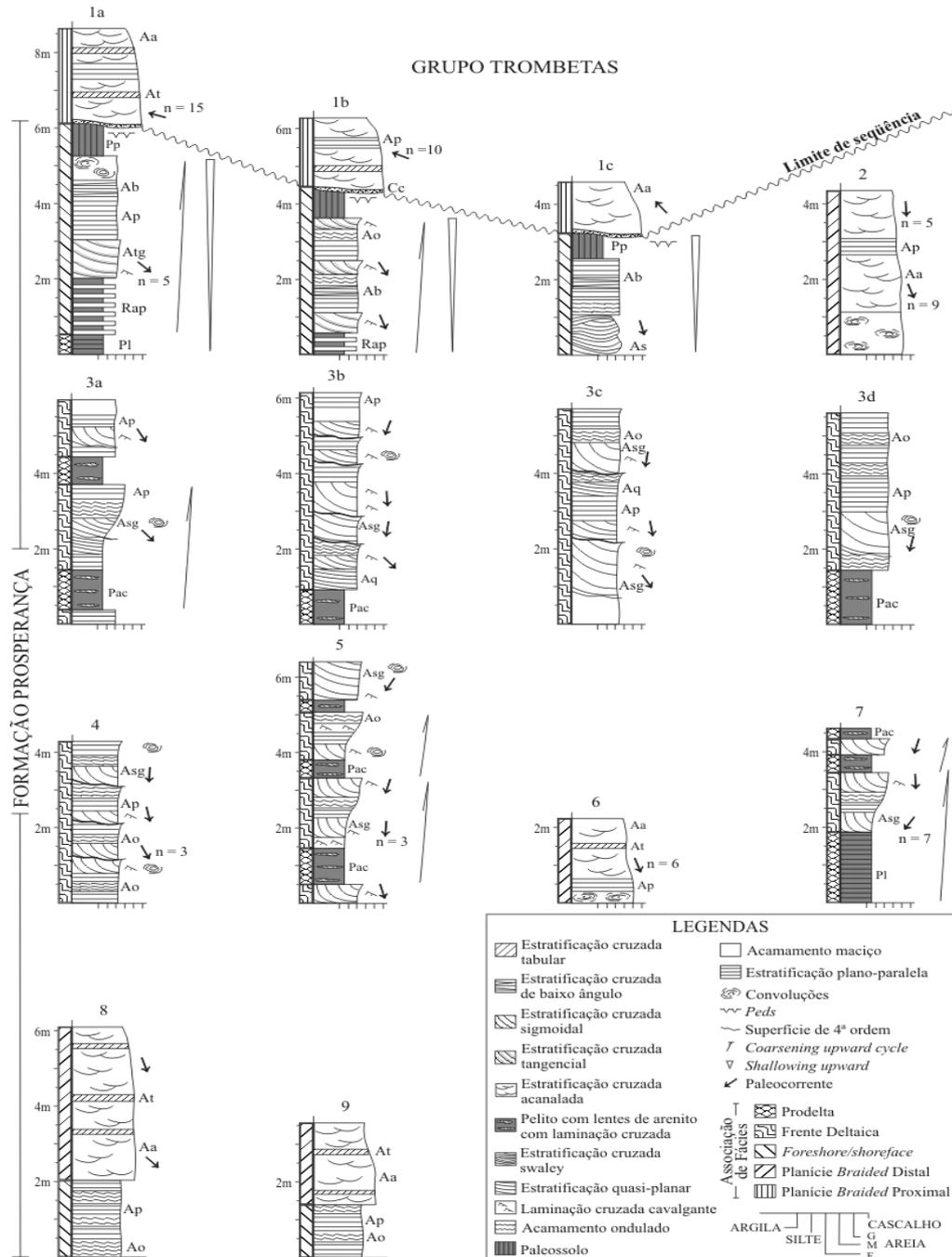


Figura 7. Seções colunares da região do baixo rio Negro. O padrão de paleocorrente entre as fácies da Formação Prosperança e do Grupo Trombetas são divergentes. A relação de contato entre essas unidades é representada por uma superfície erosiva (limite de seqüência).

Tabela 1. Fácies e processos deposicionais da sucessão sedimentar do baixo rio Negro.

| Fácies | Descrição | Processo |
|---|--|---|
| Pelito laminado (Pl) | Camadas tabulares lateralmente contínuas por centenas de metros formadas por conjuntos de lâminas que alcançar 3cm. | Deposição a partir de suspensão em ambientes com baixa energia. |
| Pelito com feições pedogenéticas (Pp) | Camadas tabulares lateralmente contínuas por centenas de metros de pelito arenoso. Apresenta horizontes mosqueados à rico em óxido/hidróxido de ferro. Estruturas pediformes e feições colunares. | Deposição a partir de suspensão com aporte de terrígenos. Exposição subaérea, pedogênese, lixiviação e concentração de óxido/hidróxido de ferro por variação do lençol freático. |
| Pelito com lentes de arenitos com laminação cruzada (Pac) | Camadas tabulares de pelitos maciços com lentes centimétricas de arenitos finos com laminações cruzadas cavalgantes migrando para SE. | Alternância de processos de suspensão e tração relacionado a maré. |
| Ritmito arenito/pelito (Rap) | Camadas tabulares com intercalações milimétricas entre arenitos finos e pelitos. <i>Cosets</i> podem alcançar até 0,5m. | Alternância de suspensão e tração. |
| Arenito com estratificação planar (Ap) | Camadas tabulares e lenticulares de arenitos finos a grossos. <i>Sets</i> entre 0,2 e 0,3m. | Migração de lençóis arenosos sob fluxo unidirecional e regime de fluxo superior. |
| Arenito com laminação cruzada de baixo ângulo (Ab) | Camadas tabulares de arenitos finos e bem selecionados. <i>Cosets</i> com inclinação máxima de 10°. | Barras geradas pela ação do fluxo e refluxo de ondas. |
| Arenito com estratificação cruzada <i>swaley</i> (As) | Camadas amalgamadas de arenitos finos a médios, bem selecionados com estratificação cruzada <i>swaley</i> . Base côncava, erosiva e assimétrica que lateralmente passam para laminação plano-paralela e truncamentos de baixo ângulo. | Fluxo combinado predominantemente oscilatório de grande a média intensidade relacionado a tempestades. |
| Arenito com estratificação quase-planar (Aq) | Camadas lenticulares de arenitos finos a médios e bem selecionados. Localmente apresenta truncamentos de baixo ângulo. | Migração e agradação de formas de leito associadas com relevo suave sob regime de fluxo oscilatório e/ou combinado. |
| Arenito com acamamento ondulado (Ao) | Camadas tabulares e lenticulares decimétricas de arenitos finos com acamamento ondulado simétrico a assimétrico com amplitude de até 4cm. Lateralmente passam para laminação planar. <i>Mud drapes</i> recobrem as ondulações. | Deposição a partir da alternância entre fluxo oscilatório e corrente unidirecional. Migração de marcas onduladas e períodos de água parada ou estofa. |
| Arenito com estratificação cruzada tangencial (Atg) | Camadas tabulares decimétricas de arenitos finos migrando preferencialmente para S-SW. <i>Sets</i> cruzados com inclinação máxima de 15° que lateralmente tangenciam o <i>bottom set</i> . <i>Mud drapes</i> recobrem <i>sets</i> cruzados. Superfícies de reativação, laminação cruzada cavalgante subcrítica e acamamento maciço. | Migração de <i>sandwaves</i> influenciada por correntes de maré. Migração de marcas onduladas e processos de suspensão. Liquefação localizada. |
| Arenito com estratificação cruzada sigmoidal (Asg) | Camadas lenticulares lateralmente contínuas por dezenas de metros de arenitos finos e bem selecionados que migram preferencialmente para SW-SE. <i>Foresets</i> sigmoidais com <i>mud drape</i> , inclinação máxima entre 10-20° e limitados por superfícies de 4ª ordem. <i>Sets</i> de até 1,5m. <i>Toe sets</i> exhibe laminação plana a ondulada e laminação cruzada cavalgante subcrítica. Deformação, acamamento maciço e raras falhas de crescimento. | Migração de formas de leito sob fluxo unidirecional e regime de fluxo transicional a superior associado com rápida desaceleração. Acamamento maciço relacionado à liquefação por sobrecarga sedimentar ou ausência de contraste granulométrico. Migração de marcas onduladas e suspensão. |
| Arenito com estratificação cruzada tabular (At) | Camadas tabulares métricas de arenitos médios a grossos com <i>sets</i> de até 0,6m e leve tendência <i>fining-upward</i> . | Migração de formas de leito 2D sob fluxo unidirecional em regime de fluxo inferior. Diminuição do espaço de acomodação. |
| Arenito com estratificação cruzada acanalada (Aa) | Camadas lenticulares métricas com <i>sets</i> de até 0,4m de arenitos médios a grossos com migração para SE e NW. Superfícies de reativação, segregação de grãos grossos (0,2 – 1,5mm) nos <i>foresets</i> , convoluções e leve tendência <i>fining-upward</i> . | Migração de formas de leito 3D sob fluxo unidirecional em regime de fluxo inferior. Segregação granulométrica relacionada ao transporte de grãos grossos através formas de leito parasíticas. Diminuição do espaço de acomodação. |

Tabela 1. Continuação

| | | |
|--|---|---|
| Conglomerado com estratificação cruzada (Cc) | Lentes de até 0,25m de ortoconglomerado com seixos de quartzo subangulosos a subarredondados sustentado por matriz de areia média a grossa. Estratificação cruzada incipientes. | Migração de formas de leito sob fluxo unidirecional e regime de fluxo inferior. |
|--|---|---|

4.5.1 Associação de fácies 1 (AF1) – prodelta

A AF1 engloba as fácies pelito laminado (Pl) e pelito com lentes de arenito com laminação cruzada (Pac). Consistem em corpos tabulares e lateralmente contínuos por centenas de metros que podem alcançar 2m de espessura, expostos na porção basal dos afloramentos dos rios Negro (pontos 1a, Figura 1) e Carabinani (ponto 7) ou intercalados a depósitos de frente deltaica (AF2) no rio Jaú (Pontos 3a, b, d e 5). Nos pontos 3a, 5 e 7, marcam a base de ciclos *coarsening upward* (Figura 8).

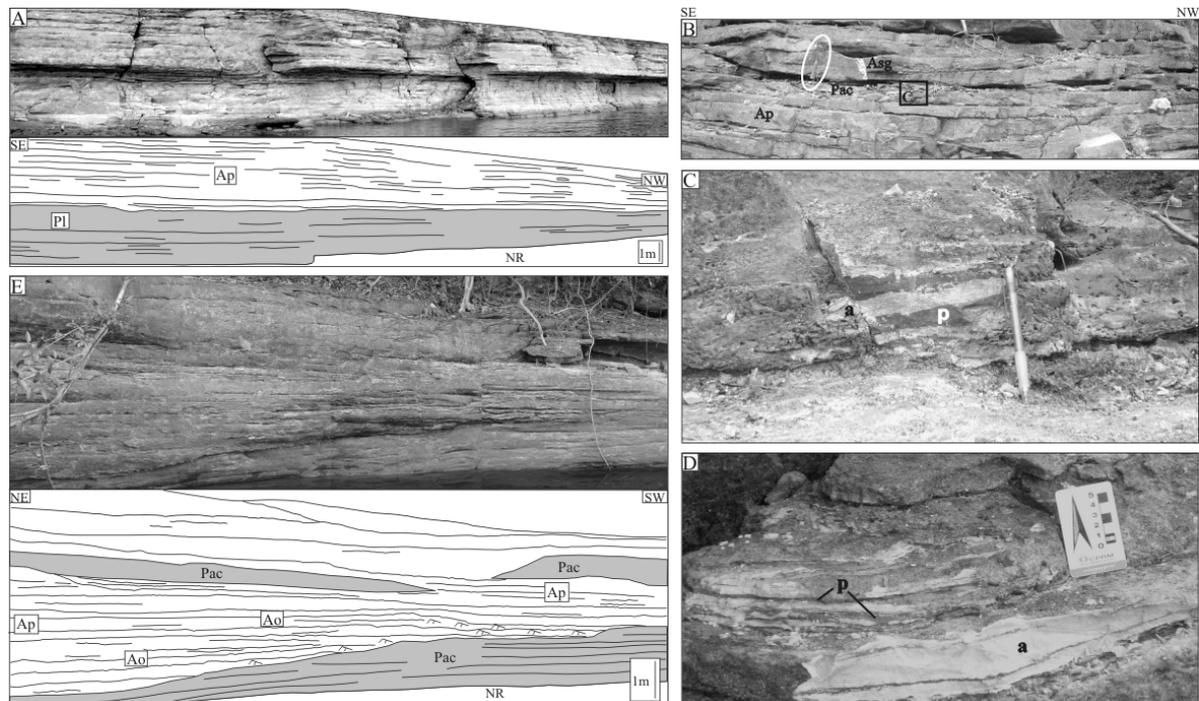


Figura 8. Aspectos gerais da associação de fácies de prodelta. A) Corpos tabulares da fácies Pl sotopostos por depósitos de frente deltaica, representada pela fácies Ap (NR- nível do rio). B) Camadas tabulares da fácies Pac que por vezes destacam os lobos sigmóides da associação de fácies de frente deltaica (fácies Ap e Ao). C e D) Detalhes da fácies Pac. Note que as lentes de arenito apresentam espessuras de até 4cm (a- arenito com laminação cruzada e p- pelito). E) Esboço e relação espacial entre fácies de prodelta (Pac) e de frente deltaica (Ao e Ap). Observe que o contato entre as fácies Ao e Pac apresenta truncamentos de baixo ângulo e freqüente laminação cruzada cavalgante subcrítica no toe set da fácies Ao.

O predomínio de fácies pelíticas sugere um ambiente dominado por processos de suspensão (Figura 8A), contudo a fácies Pac indica um ambiente dominado por processos de suspensão com influxo periódico de areia relacionado à barras distais (Figuras 8B, C, D e E).

A alternância entre processos de suspensão e tração é relacionada à ação da maré (Reineck & Singh 1980). Pelitos laminados e com lentes de arenitos com laminação cruzada sugerem uma bacia de sedimentação de provável origem lacustre/laguna influenciada por maré.

4.5.2 Associação de fácies 2 (AF2) – frente deltaica

A AF2 consiste das fácies arenito com estratificação cruzada sigmoidal (Asg), arenito com estratificação planar (Ap), arenito com acamamento ondulado (Ao) e arenito com estratificação quase-planar (Aq). Os depósitos da AF2 são os mais expressivos nos afloramentos analisados, com espessura de até 5m, expostos nas margens do rio Jaú (pontos 3, 4 e 5, Figura 1) e subordinadamente no rio Carabinani (ponto 7). A AF2 é composta por camadas de arenitos finos a médios bem selecionados com geometria de lobo sigmoidal, amalgamados e com falhas de crescimento locais. O lobo sigmoidal é destacado por superfícies de 4ª ordem ou por camadas tabulares da fácies Pac da AF1 (Figura 8B). A relação entre pelito e arenito configura ciclos *coarsening upward* de escala métrica. O lobo é dominado pela fácies Asg com *toe set* que lateralmente passa para laminação planar a ondulada e laminação cruzada cavalgante subcrítica (Figura 8E). Acamamento maciço e a fácies Aq completam o quadro, o que caracteriza um lobo com estruturação complexa (Figuras 9A e B).

A estruturação complexa sugere a migração de barra arenosa para SW-SE em que o processo de tração dominava a região ativa enquanto a suspensão atuava na área periférica do lobo (Figura 10). A fácies Asg indica formas de leito produzidas na região ativa sob regime de fluxo transicional a superior, com alta taxa de material em suspensão (RØe 1987, Figuras 9C, D, G e H). Na área marginal, a diminuição da energia de fluxo e da razão tração/suspensão gerava laminação ondulada e cruzada cavalgante (Reineck & Singh 1980, Figuras 8E, 9E e H). *Mud drapes* que recobrem a laminação ondulada indicam períodos dominados por processos de suspensão (De Raaf *et al.* 1977). A exposição parcial da barra poderia gerar condições para remobilização de sedimentos por fluxo oscilatório relacionada à fácies Aq (Arnot 1993, Figuras 9E e G).

Lobos sigmoidais amalgamados com estruturação complexa são condizentes com a deposição de areias relacionadas com barras de desembocadura proximais em uma bacia com baixa inclinação e lâmina d'água rasa (Postma 1990). A geometria sigmóide foi gerada pelo processo de desaceleração do influxo sedimentar sobre uma bacia de baixa energia, por exemplo, uma laguna, lago ou mar epicontinental. O padrão de paleocorrente aparentemente oposta à fácies Asg coaduna com o processo de espraiamento de lobo relacionado a cortes

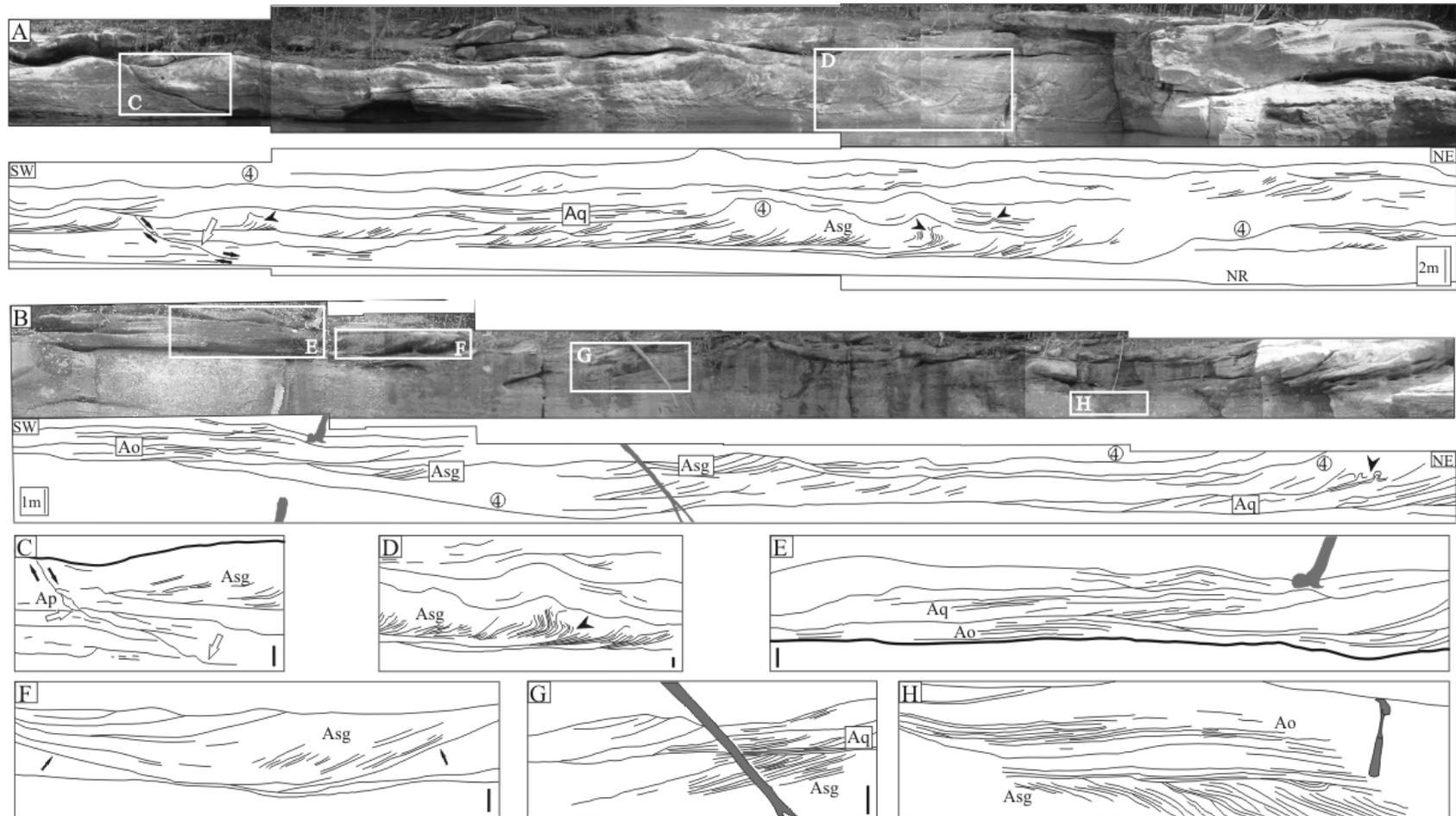


Figura 9. Geometria deposicional e estruturação interna de depósitos da frente deltaica. A e B) Lobos amalgamados destacados por superfícies de 4ª ordem (4) com estruturação interna dominada pela fácies Asg. A geometria dos lobos sigmoidais passam lateralmente para planares/lenticulares com as fácies Ap e Ao. Note a abundância de deformações como acamamento maciço, convolução (cunhas) e falha de crescimento (seta vazada). Escala vertical é igual à horizontal, NR- nível do rio. C) Falha de crescimento (seta vazada). As camadas tornam-se menos deformadas em direção a parte superior da falha. Setas fechadas indicam a dinâmica da deformação. D) Convolução da fácies Asg (setas vazadas). E) Estruturação interna (fácies Aq e Ao) do lobo sigmoidal. F) Lobo com geometria côncava. Setas indicam a base côncava. G) Relação espacial das fácies Asg e Aq nos lobos arenosos. H) Estrato sigmoidal com padrão de paleocorrente oposto a predominante nestes depósitos (para SE). Barras verticais nas figuras E – I igual a 50cm.

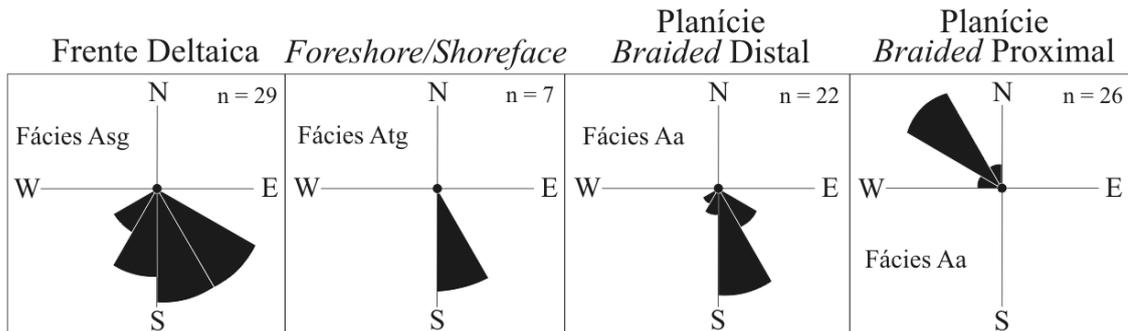


Figura 10. Diagramas de roseta com os padrões de paleocorrentes das associações de fácies de frente deltaica, foreshore/shoreface, planície braided distal e planície braided proximal. Note o padrão unimodal e que a direção das paleocorrentes dos depósitos de planície deltaica proximal está em contraste com as outras associações de fácies. Diagramas com intervalos de 30°.

com menos de 50° em relação à direção principal da migração (Figura 9H). Restritos lobos com geometria *concave-up* estão ligados ao aumento da contribuição da deposição a partir de suspensão e pela circulação reversa no *lee side*, em situações de baixa energia de fluxo na região marginal da barra de desembocadura (RØe 1987, Figura 9F). A abundância de feições deformacionais (acamamento maciço, convolução na fácies Asg, falha de crescimento) e ciclos *coarsening-upward* coadunam com ajustes gravitacionais/plásticos (Lowe 1975, Glover & O'Beirne 1994, Bhattacharya 2006) em sistemas progradantes, comuns em ambientes com elevado influxo sedimentar, como barras de desembocadura na frente deltaica.

A influência fluvial é dominante e não existe indicação da influência de maré associado às barras de desembocadura, o que poderia sugerir uma conexão oceânica. Assim, admite-se que a AF2 foi gerada por processos de desembocadura de canal proximal dominado por inércia/fricção. Nesta situação, o elevado influxo sedimentar fornecido pelo sistema alimentador (distributário fluvial, AF4) desaguava em uma bacia receptora dominada por processos de suspensão e lâmina d'água rasa que localmente eram retrabalhados por fluxo oscilatório.

4.5.3 Associação de fácies 3 (AF3) – *foreshore / shoreface*

A AF3 consiste em uma sucessão de camadas tabulares e lenticulares de arenitos finos a médios, ritmitos e pelitos arenosos, que alcançam 4m de espessura, lateralmente contínuas por centenas de metros e expostas nas margens do rio Negro (Pontos 1 e 8, Figura 1) e Unini (Ponto 9). É composta pelas fácies arenito com estratificação cruzada tangencial (Atg), arenito com estratificação cruzada *swaley* (As), arenito com acamamento ondulado (Ao), arenito com laminação cruzada de baixo ângulo (Ab), arenito com estratificação planar (Ap), ritmito arenito/pelito (Rap) e pelito com feições pedogenéticas (Pp) (Figuras 11, 12 e 13).

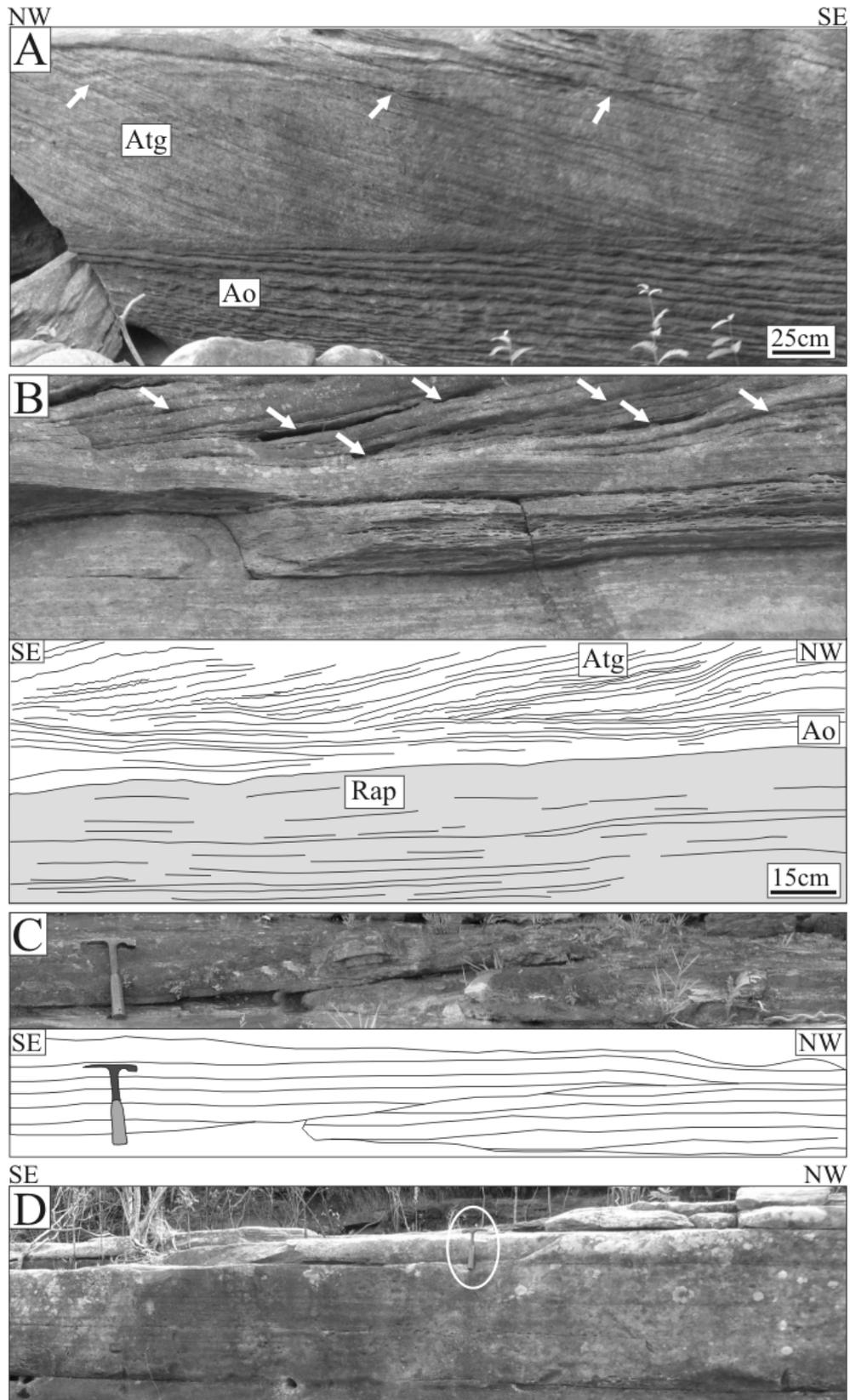


Figura 11. Depósitos de foreshore/shoreface nas margens do rio Negro. A) Relação espacial entre as fácies Atg e Ao. Setas indicam superfícies de reativação. B) Detalhe das fácies Atg e Ao, estas sobrepostas à fácies Rap. O relevo negativo nos foresets da fácies Atg indica a retirada de mud drapes (setas). C) Aspecto geral e esboço de camadas tabulares com a fácies Ab. D) Laminações planares da fácies Ap. Martelo geológico destacado por elipse.

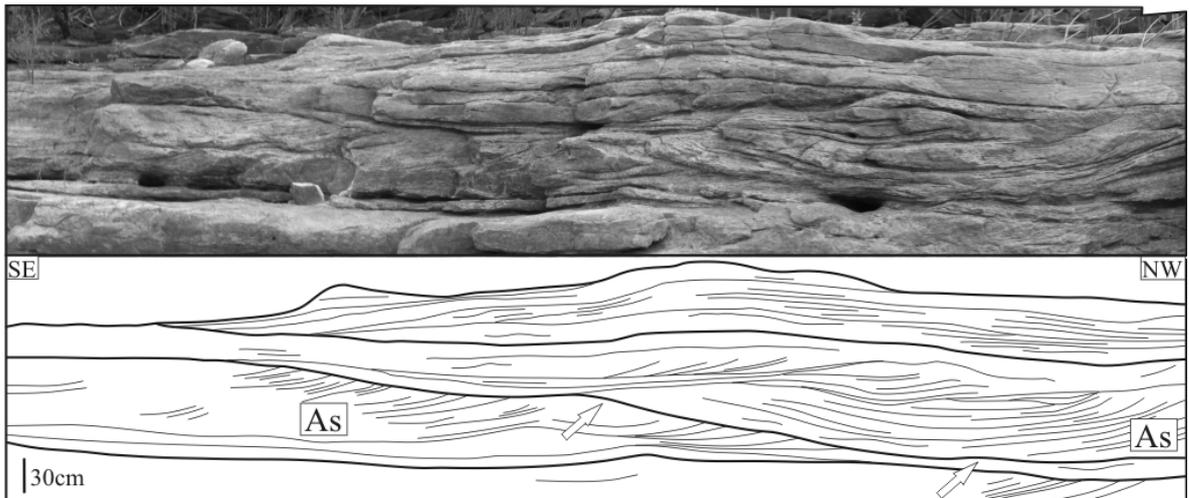


Figura 12. Fácies As com base erosiva côncava e assimétrica (setas) que lateralmente passa para acamamento planar.

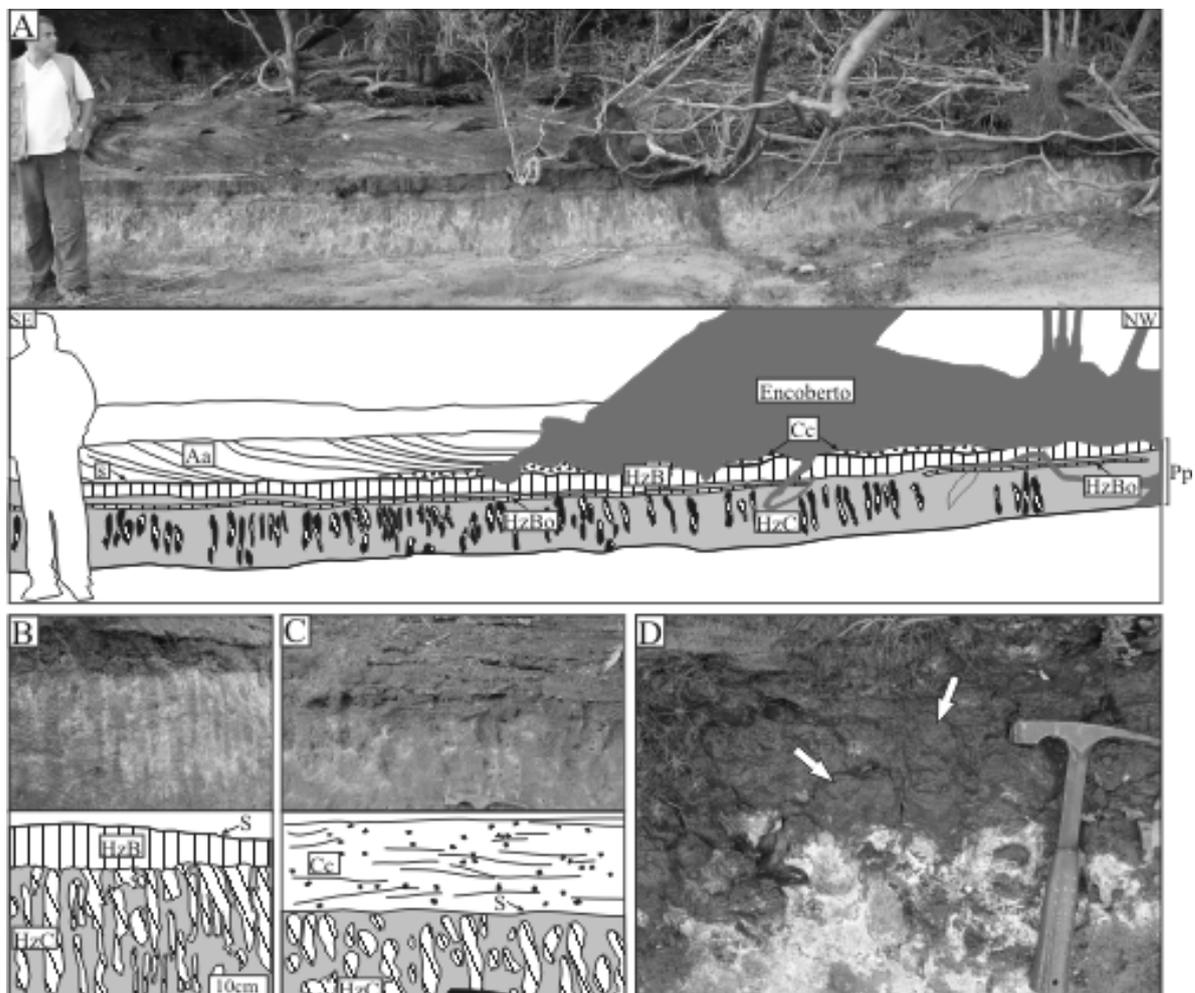


Figura 13. Feições gerais da fácies Pp. A) Fácies Pp com os horizontes HzC (mosqueado), HzB e HzBo (ricos em óxido/hidróxido de ferro). A superfície erosiva (S) é recoberta pelas fácies Cc e Aa da AF5. B) Detalhe dos horizontes HzC e HzB. C) A superfície erosiva (S) marca a passagem de depósitos de foreshore/shoreface (fácies Pp) e depósitos de planície braided proximal braided (fácies Cc). Note que o horizonte HzB e parte do horizonte HzC foram erodidos pela fácies Cc. D) Peds colunares (HzBn) com topos dômicos indicados por setas.

Camadas lenticulares e amalgamadas com a fácies As ocorrem de forma restrita. A fácies As apresenta comprimento máximo de 5m e amplitude de até 1,5m, onde predominam bases côncavas erosivas e assimétricas que lateralmente tendem para acamamento planar associado com a fácies Ap (Figura 12). A fácies Pp juntamente com os depósitos da AF1 configuram topo e base de ciclos *coarsening upward*. São pelitos arenosos com horizontes intempéricos que gradam da base para o topo de mosqueado, ricos em óxido/hidróxido de ferro e com *peds* colunares (cf. Retallack 2001; Figuras 13A, B e D). O topo da fácies Pp apresenta contato do tipo erosivo com depósitos fluviais paleozóicos da AF5 (descritos posteriormente). Esta superfície erosiva (S) pode ser mapeada em afloramentos por centenas de metros ao longo das escarpas do rio Negro (Ponto 1). Neste caso, parte dos horizontes intempéricos (B e Bn) estão ausentes por erosão (Figura 13C).

A fácies Rap e *mud drapes* nos *foresets* da fácies Atg sugerem atuação de correntes trativas alternadas com processos de suspensão. A frequência de superfícies de reativação associadas à fácies Atg indica parada na sedimentação e assimetria do fluxo, com predominância da corrente dominante. Esta fácies é atribuída à migração de *tidal sandwaves* do tipo II (Allen 1980). Os valores de paleocorrentes obtidos nesta fácies, com direção predominante para SE, são concordantes com os depósitos da AF2 e AF4 sugerindo que a corrente de maré vazante foi dominante, diminuindo o potencial de preservação das feições relacionadas à maré enchente (Figura 10). O acamamento maciço e restritas convoluções relacionados à fácies Atg são produtos de liquefação esporádica em areias inconsolidadas (Lowe 1975). Arenitos gerados sob regime de fluxo superior (fácies Ap) associados com arenitos produzidos sob condições de fluxo oscilatório (fácies Ao e Ab) e combinado (fácies As) condizem com áreas aplainadas, com lâmina d'água pouco espessa, sujeitas a ação de ondas de tempo bom e de tempestade, compatíveis com depósitos de face litorânea (Clifton 2006).

Os horizontes identificados na fácies Pp indicam processos de formação de solos relacionados a lixiviação e concentração de minerais, principalmente óxido-hidróxidos de ferro (horizontes C, Bo e B). As estruturas pediformes no horizonte Bn relatam a contração do solo ligado a exposição subaérea (Retallack 2001). A continuidade lateral das camadas da fácies Pp indica um ambiente de baixa energia, contínuo lateralmente por centenas de metros e dominado por processo de suspensão, compatível com laguna próximo à face litorânea. Lagunas são corpos d'água separados do mar aberto por cordões arenosos (ilhas barreiras) que estão relacionados a diversos subambientes costeiros (face litorânea, delta de maré, praia, mangue). Entretanto, a litologia da fácies Pp (pelitos arenosos), associada com depósitos

formados pela migração de *tidal sandwaves* e de face litorânea, sugerem um ambiente costeiro, em parte protegido, onde processos de maré e ondas eram intensificados provavelmente em regiões abandonadas do delta. O constante rebaixamento da lâmina d'água da laguna e zona costeira propiciava a exposição dos depósitos por um intervalo de tempo razoavelmente longo, gerando intervalos de solos. De acordo com a classificação taxonômica de solos americana, os horizontes intempéricos estudados são produtos da formação de oxisolos (Soil Survey Staff 1975). Oxisolos são resultados de condições climáticas tropicais úmidas com idade de formação de dezenas a milhões de anos, por outro lado a presença de estruturas pediformes do horizonte Bn indica que a superfície do solo não era protegida e possivelmente sem vegetação (Retallack 2001).

4.5.4 Associação de fácies 4 (AF4) – planície *braided distal*

Depósitos da AF4 englobam camadas tabulares de arenitos médios a grossos expostos de forma restrita nas margens dos rios Jaú, Negro e Unini, os dois últimos em locais próximos ao embasamento cristalino do Escudo das Guianas (Pontos 2, 6, 8 e 9, Figura 1). Rochas da AF4 estão sotopostas a depósitos da AF3 e alcançam espessuras de 4m. A AF4 é composta pelas fácies arenito com estratificação cruzada acanalada (Aa), arenito com estratificação cruzada tabular (At) e arenito com estratificação planar (Ap), organizadas em ciclos de escala métrica com leve tendência *fining-upward* (Figuras 14 e 15A). É freqüente a segregação de grãos grossos nos *foresets* da fácies Aa, cujos *sets* diminuem de espessura para o topo dos ciclos (Figuras 14C e D). De forma secundária são encontradas as fácies Ap e At, esta última e assim como a fácies Aa, apresenta leve tendência *finning upward* (Figuras 14A e B). Convoluções são feições presentes na fácies Aa, todavia essas deformações não são tão freqüentes quanto em depósitos da AF2 (Figura 14E).

Arenitos médios a grossos das fácies Aa e At condizem com processos de migração de formas de leito com cristas sinuosas (3D) e reta (2D), encontradas em canalizações (Lindholm 1987, Collison & Thompson 1989). Níveis de grossos nos *foresets* da fácies Aa são produtos da migração de material segregado a partir de formas de leito parasíticas sobre dunas, que respectivamente depositam material grosso e fino no *lee side* (Tucker 2003). Essas informações aliadas à leve tendência *finning upward* desses depósitos sugerem um ambiente compatível com depósitos de preenchimento de canais fluviais dominados por carga de fundo (*bed load*). Convoluções em camadas com a fácies Aa poderia indicar liquefação de sedimentos inconsolidados, sugerindo elevado fluxo sedimentar (Lowe 1975, Collinson & Thompson 1989). Por outro lado, a fácies Ap estaria relacionada com a migração de lençóis

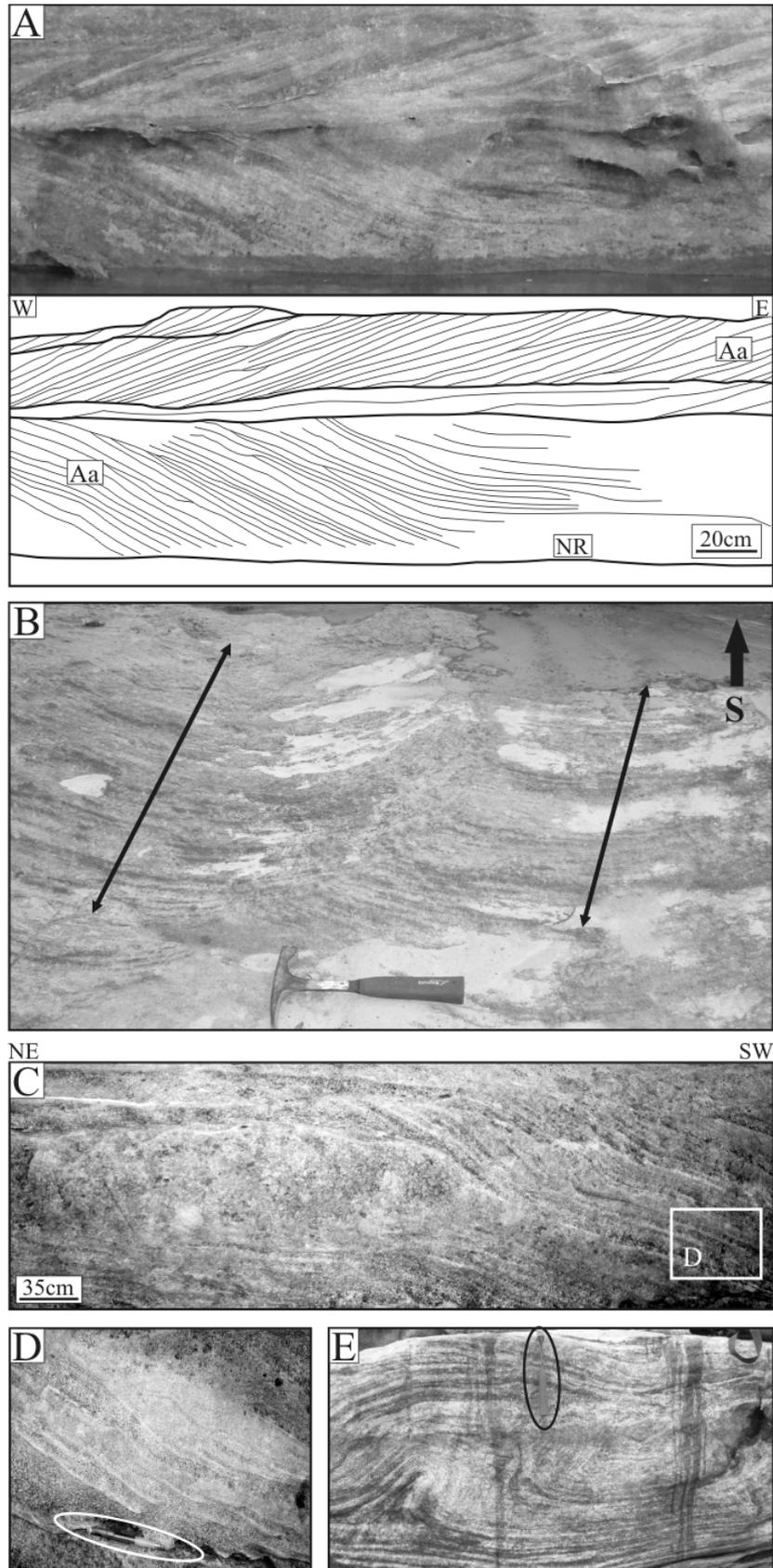


Figura 14. Depósitos de planície braided distal. A) Corte transversal da fácies Aa. NR representa o nível do rio. B) Vista em planta da fácies Aa. Setas com pontas duplas representam o eixo de migração. C e D) Níveis de segregação de grossos associados à fácies Aa. Escala destacada por elipse. E) Convoluções associadas à fácies Aa.

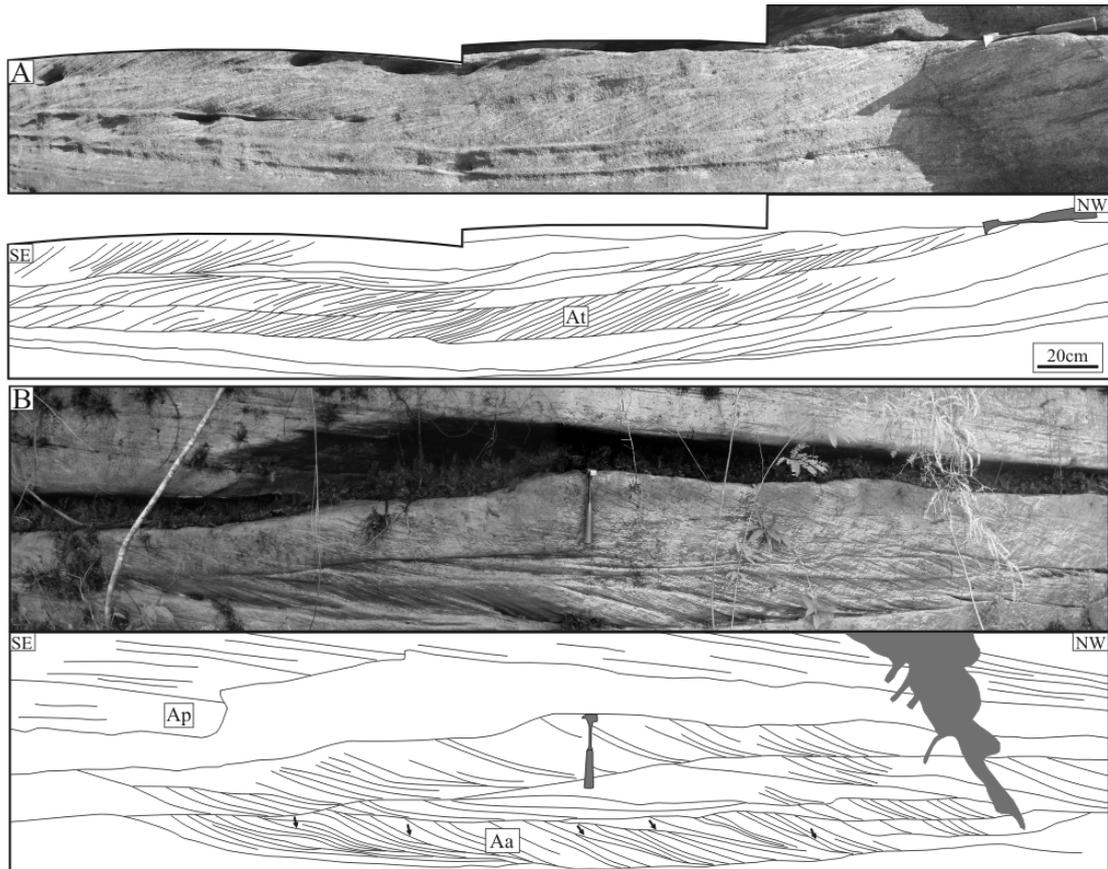


Figura 15. Feição geral e esboço de camadas tabulares com as fácies At, Aa e Ap em afloramentos no rio Negro. A) Fácies At da associação de fácies 4. B) Depósitos da associação de fácies 5. O sentido da paleocorrente na fácies Aa (NW) está em contraste em relação aos depósitos da figura A. Note na porção basal da fácies Aa várias superfícies de reativação (setas).

arenosos (*sheet flow*) em locais do canal que favoreciam condições hidrodinâmicas com regime de fluxo superior, como em regiões com lâmina d'água com espessura máxima de 1m (Cant & Walker 1978, Reineck & Singh 1980, Mial 1992). A granulometria geralmente grossa das fácies da AF4 em conjunto com a ausência de depósitos de inundação, abundante carga de fundo e predominância de paleocorrentes unidirecionais (SE) indicam o padrão fluvial tipo *braided* (Long, 1978, Miall 1977, 1992, Figura 10). A relação espacial da AF4 com os depósitos da AF3 sugerem uma ambiência distal para esses depósitos fluviais.

4.5.5 Associação de fácies 5 (AF5) – planície *braided proximal*

Esta associação de fácies ocorre apenas nas proximidades da cidade de Airão (Ponto 1, Figura 1), onde não ultrapassa espessuras de 2,5m. É constituída por arenitos médios a grossos e por ortoconglomerados que formam camadas lenticulares e sobrepõem de forma erosiva os depósitos da AF3 (Figuras 13A, C e 15B). A AF5 é representada pelas fácies conglomerado com estratificação cruzada (Cc), arenito com estratificação cruzada acanalada

(Aa), arenito com estratificação cruzada tabular (At) e arenito com estratificação planar (Ap), organizadas em ciclos *finning upward* de escala métrica. Ortoconglomerados da fácies Cc constituem a base desses depósitos. Estes erodem parcialmente os horizontes intempéricos da fácies Pp da AF3 (horizonte B) e destacam uma superfície que pode ser mapeada por centenas de metros desde a cidade de Airão em direção à jusante do rio Negro. A fácies Cc é sobreposta por arenitos médios a grossos internamente estruturados pelas fácies Aa, At e Ap (Figura 15B). Níveis de segregação na fácies Aa aliados com a fácies Cc configuram as bases de ciclos *finning upward*. Medidas de paleocorrente das fácies Aa e At indicam sentido para NW (Figura 10).

Lentes da fácies Cc sugerem condições hidrodinâmicas de tração associados com a migração de barras longitudinais sob fluxo unidirecional e regime de fluxo superior (Postma 1990, Miall 1992). As camadas com a fácies Aa e At indicam processos de migração de formas de leito (cristas 3D e 2D, respectivamente) sob fluxo unidirecional e regime de fluxo inferior, análogo as fácies da AF4 (Lindholm 1987, Collinson & Thompson 1989). Superfícies de reativação na fácies Aa indicam períodos de parada e reativação da sedimentação das formas de leito, associados com mudanças na energia/fluxo sedimentar nessa fácies (Tucker 2003). A fácies Ap sugere migração de lençóis arenosos sob regime de fluxo superior (Collinson & Thompson 1989). A geometria e as estruturas desses depósitos são similares aos da AF4, o que sugerem processos sedimentares fluviais com elevada carga de fundo atribuído a uma planície *braided*. Quando comparada aos depósitos da AF4, apesar de ter a mesma interpretação paleoambiental, a AF5 difere pela paleocorrente oposta e por ter a base limitada por uma superfície de discordância. Por conta desses fatores e pela correlação de unidades sedimentares que ocorrem na área estudada, considera-se que a AF5 representa provavelmente a porção basal de rochas do Grupo Trombetas da Bacia do Amazonas.

4.6 RECONSTITUIÇÃO PALEOAMBIENTAL E EVOLUTIVA

A análise faciológica e estratigráfica realizada na região do baixo rio Negro permitiram reconhecer cinco associações de fácies que registram a implantação de sistemas flúvio-deltaico/costeiro (Formação Prosperança) e fluvial *braided* (Grupo Trombetas) na margem sul do Escudo das Guianas, formados em contextos tectônicos distintos.

Apesar das medidas de paleocorrente indicarem que o sistema flúvio-deltaico/costeiro progradiu para SE e o sistema fluvial *braided* paleozóico migrava para NW, vale ressaltar que a reconstrução paleogeográfica do Neoproterozóico admitiu que o bloco Amazônico estivesse rotacionado quase 180° e localizado nas proximidades do pólo sul (Tohver *et al.*

2006, Figura 16). Sendo assim, as medidas de paleocorrentes obtidas na etapa de campo estão invertidas.

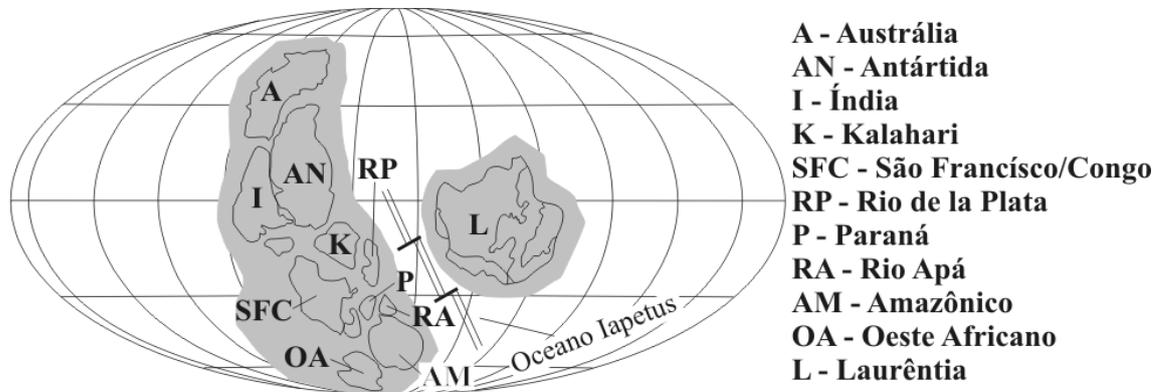


Figura 16. Paleogeografia do Neoproterozóico com a disposição dos principais blocos continentais. A sucessão analisada pertence ao bloco Amazônico (AM) que estava rotacionado ($\pm 180^\circ$) e situado próximo a zona subpolar sul (Tohver et al. 2006).

A Formação Prosperança foi depositada em estruturas tipo gráben orientadas segundo NW-SE, seguindo a estruturação do Paleoproterozóico. Os grábens parecem refletir a última série de abatimentos ocorrida no Pré-cambriano em direção ao sul do Escudo das Guianas. A análise faciológica desta unidade revelou a progradação de distributários *braided* (AF4) em direção a NW, formando um sistema deltaico que incluía frente deltaica (AF2) e prodelta (AF1), desenvolvidos adjacentes a uma planície costeira (AF3) influenciada por maré e ondas de tempestade.

Deltas são sistemas progradantes que migram para um corpo d'água em repouso (p.e mares, lagos e estuários) onde são reconhecidos processos sedimentares construtivos e destrutivos. Processos construtivos são representados por barras de desembocadura e os destrutivos pela formação de cordões arenosos, praias e lagunas, resultados da difusão dos sedimentos fornecidos pelo sistema alimentador por ondas, marés e correntes litorâneas (Postma 1990, Bhattacharya 2006). Enquanto o sistema fluvial fornecia sedimentos para as barras de desembocadura, lateralmente, depósitos abandonados do delta e mesmo fluviais eram retrabalhados na linha de costa.

Lobos deltaicos gentilmente inclinados, pouco espessos, com granulometria areia fina a média e depósitos de *shoreface* influenciados por fluxo oscilatório configuram perfis de deltas rasos (*shallow profiles deltas*) alimentados por sistemas fluviais do tipo C, neste caso *braided* (Postma 1990). Esses tipos de lobos deltaicos possuem análogos modernos (Coleman 1982, 1988; delta do Mississippi) e no registro geológico (Elliot 1975; delta de Yoredale – Carbonífero). Devido ao baixo gradiente da bacia, esses tipos de deltas registram variações na

dinâmica sedimentar na forma de inconformidades. Apesar de sistemas deltaicos serem influenciados tanto por processos autocíclicos (p.e. mudanças no aporte sedimentar) quanto por alocíclicos (p.e. eustasia, avulsão e clima), a presença de uma importante superfície estratigráfica (S) aliada ao desenvolvimento de perfis intempéricos indicam que a provável razão foi influenciada por processos alocíclicos. Neste sentido, admite-se uma parada na sedimentação deltaica, exposição subaérea, seguida por condições alitizantes e formação de paleossolo. O paleossolo foi interpretado como oxissolo produzido em condições tropicais e úmidas (Soil Survey Staff 1975). Este está enraizado em depósitos pelíticos-arenosos que podem ter sido originalmente um sedimento depositado por decantação ou produto de alteração de rochas psamíticas ricas em minerais instáveis como o feldspato, o que sugere um tempo significativo de não deposição. Por conta disso, paleossolos têm sido usados como importantes marcadores estratigráficos na distinção entre unidades e para correlação (Charcosset *et al.* 2000, Retallack 2001, Rustin & Jordan 2007, Chakraborty & Paul 2008).

Os depósitos da Formação Prosperança foram expostos pelo menos do limite Neoproterozóico–Cambriano até o Ordoviciano, quando foram recobertos erosivamente pelos depósitos fluviais do Grupo Trombetas que migravam para SE, direção oposta ao sistema fluvial Prosperança.

A superfície de caráter erosivo (S) foi interpretada como limite de seqüência do tipo 1. Esta interpretação é reforçada por padrões de paleocorrentes opostas entre os depósitos da Formação Prosperança e do Grupo Trombetas. Limites de seqüência podem ser caracterizados por: (1) discordâncias na borda da bacia, com evidências de erosão ou truncamentos de estratos e; (2) hiatos não deposicionais (Della Fávera 2001, Ribeiro 2001). Discordâncias na borda da bacia formam-se quando a queda do nível eustático resulta na transladação da linha de costa em direção a bacia. Nessa situação, o nível de base das drenagens sofre rebaixamento e o prisma costeiro é exposto e passa a ser erodido pelo sistema fluvial.

Deste modo, a reconstituição paleoambiental e evolutiva dos depósitos estudados podem ser divididas em três fases (Figura 17): 1) No Neoproterozóico foi instalado na borda sul do Escudo das Guianas um sistema deltaico dominado por processos fluviais e influenciado por maré e ondas. Este delta era alimentado por um sistema fluvial *braided* que migrava para NW e tinha como áreas-fonte rochas no Escudo das Guianas; 2) Inversão da Bacia Prosperança formando o Arco de Purus, exposição e erosão de depósitos deltaicos e de planície costeira e; 3) Subsidência e início da formação da Bacia do Amazonas no Eopaleozóico seguida da progradação do sistema fluvial *braided* da base do Grupo Trombetas para SE, com áreas-fonte a NW.

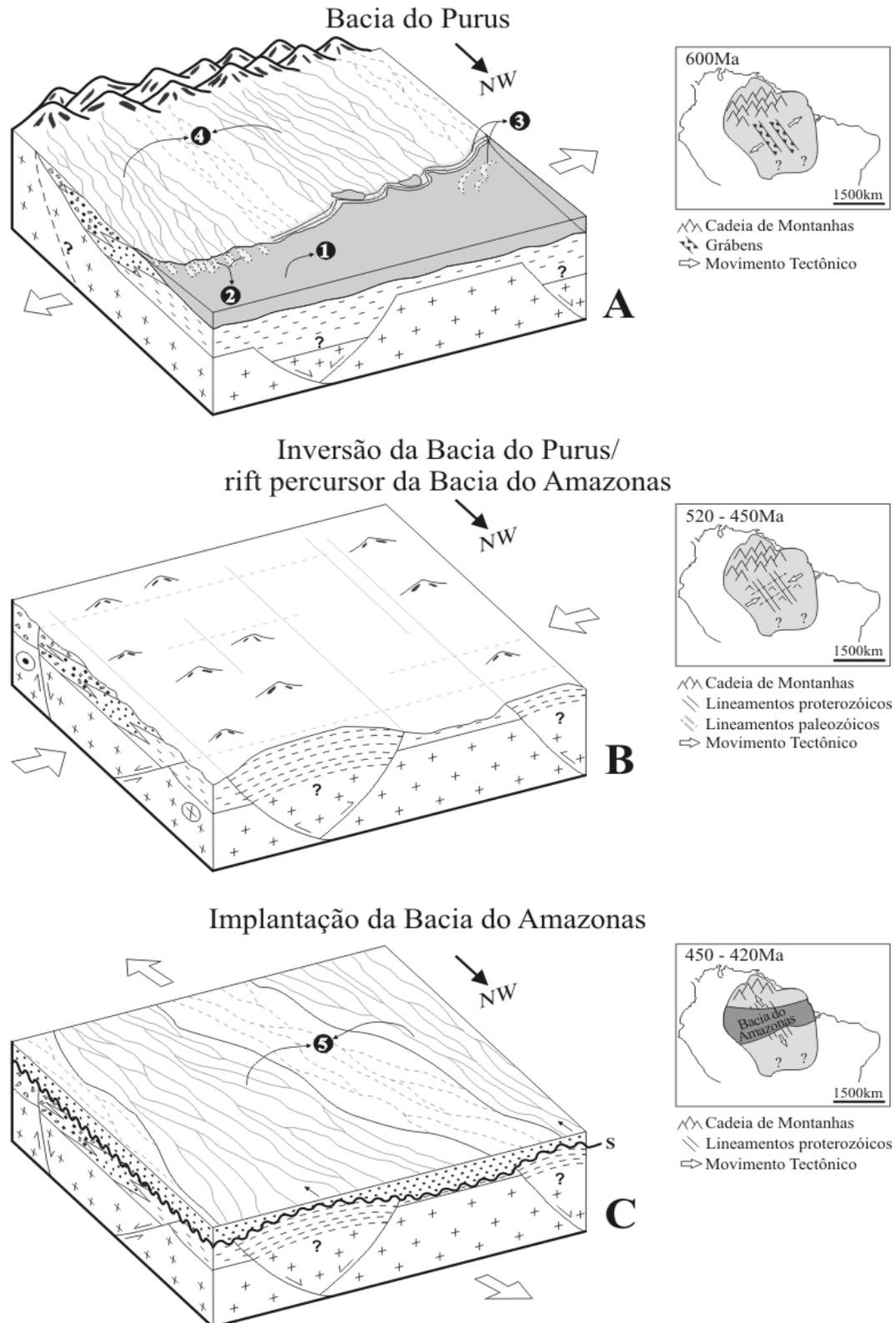


Figura 17. Reconstituição paleoambiental e evolutiva dos depósitos da região do baixo rio Negro. A) No Neoproterozóico foi implantado um sistema deltaico que progradava para NW e era alimentado por um sistema fluvial braided. B) Inversão da Bacia do Purus e formação do rift precursor da Bacia do Amazonas seguido de exposição/erosão de depósitos da Formação Prosperança. C) Progradação do sistema fluvial braided do Grupo Trombetas que migrava para SE, formando assim um limite de seqüência (S). 1- Prodelta (AF1), 2- Frente deltaica (AF2), 3- Foreshore/shoreface (AF3), 4- Planície braided distal (AF4) e 5- Planície braide proximal (AF5).

4.7 CONCLUSÕES

- 1) A análise faciológica e estratigráfica de detalhe realizada em exposições da região do baixo rio Negro possibilitaram o reconhecimento de cinco associações de fácies integradas em um sistema flúvio-deltaico neoproterozóico e fluvial de idade Eo-paleozóica. A ambiência flúvio-deltaica em depósitos da Formação Prosperança reforça a natureza costeira proposta por Nogueira & Soares (1996) e auxilia na melhor compreensão da evolução sedimentar na margem sul do Escudo das Guianas.
- 2) O sistema flúvio-deltaico era alimentado por canais fluviais *braided* que migrava para NW e tinham como área-fonte rochas do Escudo das Guianas à SE. Os sedimentos trazidos por esse sistema fluvial eram depositados em uma bacia sem talude e com lâmina d'água rasa na forma de barras de desembocadura. Ao longo da linha de costa, em regiões abandonadas do delta e em planícies costeiras adjacentes os sedimentos eram localmente retrabalhados pela ação de maré e ondas de tempo bom e de tempestade.
- 3) A formação de oxissolo em depósitos da Formação Prosperança manifesta-se como o primeiro registro pré-cambriano de condições tropicais úmidas no Cráton Amazônico.
- 4) A inversão da Bacia Prosperança propiciou a formação do Arco de Purus e formação do *rift* precursor da Bacia do Amazonas. Posteriormente o Arco de Purus foi parcialmente erodido pelo sistema fluvial do Grupo Trombetas que migrava para SE e resultou na formação de um limite de seqüência.

4.8 REFERÊNCIAS

- Allen J. R. L. 1980. Sand waves; a model of origin and internal structure. *Sedimentary Geology*, **26**: 281-328.
- Arnott R. W. C. 1993. Quasi-planar-laminated sandstone bed of the Lower Cretaceous Bootlegger Member, North-Central Montana: evidence of combined-flow sedimentation. *Journal of Sedimentary Petrology*, **63**: 488-494.
- Bhattacharya J. P. 2006. Deltas. In: H. W. Posamentier & R. G. Walker (eds.). *Facies model revised*. Special Publication, 84, SEMP, p.: 237-292.
- Cant D. J. & Walker, R. G. 1978. Fluvial process and facies sequences in the sandy braided South Saskatchewan River, Canada. *Sedimentology*, **25**: 625-648.
- Caputo M. V. & SAD, R. E. 1974. *Geologia do Baixo Rio Negro*. PETROBRÁS. 675-A. (Relatório interno).
- Caputo M. V., Rodrigues R., Vasconcelos D. N. N. 1972. Nomenclatura estratigráfica da Bacia do Amazonas – histórico e atualizações. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 26, Anais, v. 3, p. 35-46.

Castro J. C., Eiras J. F., Caputo M. V. 1988. Paleozóico do Rio Tapajós. *In*: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 35, Roteiro das excursões, n° 8, p. 27-44.

Chakraborty P. P. & Paul S. 2008. Forced regressive wedges on a Neoproterozoic siliciclastic shelf: Chandarpur Group, central India. *Precambrian Research*, **182**: 227-247.

Charcosset P., Combes P., Peybernès B., Ciszak R., Lopez, M. 2000. Pedogenic and Karstic features at the boundaries of Bathonian depositional sequences in the Grands Causses Area (southern France): stratigraphic implication. *Journal of Sedimentary Research*, **70 (1)**: 255-264.

Clifton H. E. 2006. A reexamination of facies models for clastic shorelines. *In*: H. W. Posamentier & R. G. Walker (eds.). *Facies model revised*. Special Publication, 84, SEMP, p.: 293-337.

Coleman J. M. 1982. *Deltas, processes of deposition and models for exploration*. International Human Resources Development Corporation, Boston, 124pp.

Coleman J. M. 1988. Dynamic changes and processes in the Mississippi River delta. *Bull. Geol. Soc. Am*, **100**: 999-1015.

Collinson D. B. & Thompson J. B. 1989. *Sedimentary structures*, 2^a ed. Unwin Hyman, London, 207pp.

Cprm 2001. *Excursão científica no trecho Manaus – Boa Vista. Guia de excursão*. CPRM, 99p. (Relatório Interno).

Cunha P. R. C., Melo J. H. G., Silva O. B. 2007. Bacia do Amazonas. *Boletim de Geociências da Petrobras*, **15 (2)**: 227-251.

De Raaf J. F. M., Boersma J. R., Van Gelder A. 1977. Wave-generated structures and sequences from a shallow marine succession, Lower Carboniferous, County Cork, Ireland. *Sedimentology*, **24**: 451-483.

Della Fávera J. 2001. *Fundamentos da estratigrafia moderna*. Rio de Janeiro, UFRJ, 264pp.

Eiras J. F. 1996. Influência tectônica do Arco de Carauari na sedimentação fanerozóica da Bacia do Solimões, norte do Brasil. *In*: SBG, CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39, Anais, p. 52-53.

Elliott T. 1975. The sedimentary history of a delta lobe from a Yoredale (Carboniferous) cyclothem. *Proc. Yorkshire Geol. Soc.*, **40**: 505-536.

Galloway W. E. 2002. Paleogeographic setting and depositional architecture of a sand-dominated shelf depositional system, miocene Utsira Formation, North Sea Basin. *Journal of Sedimentary Research*, **72 (4)**: 476-490.

Glover B. W. & O'Beirne A. M. 1994. Anatomy, hydrodynamic and deposition setting of a Westphalian lacustrine delta complex, West Midlands, England. *Sedimentology*, **41**: 115-132.

- Hoorn C., Roddaz M., Dino R.; Soares, E., Uba, C., Ochoa-Lozano D., Mapes, D. 2010. The Amazonian Craton and its influence on past fluvial systems. *In: C. Hoorn C. & F. Wesselingh (eds.). Amazonia: landscape and species evolution – a look into the past*, Wiley-Blackwell, p: 103-122.
- Lindholm R. C. 1987. *A practical approach to sedimentology*, Allen & Unwin, London, 276p.
- Long D. G. F. 1978. Proterozoic stream deposits: some problems of recognition and interpretation of ancient sandy fluvial systems. *In: A. D. Miall (ed.). Fluvial Sedimentology*, Memoir 5 Calgary, Can. Soc. Pet. Geol, p: 313-341.
- Lowe D. R. 1975. Water scape structures in coarser-grained sediments. *Sedimentology*, **22**: 157-204.
- Mapes R. W. 2009. *Past and present provenance of the Amazon river*: Chapel Hill: University of North Carolina. Tese de Doutorado, Department of Geological Sciences, North Caroline University, 185 p.
- Miall A. D. 1977. A review of the braided river depositional environment. *Earth Science Reviews*, **13**: 1-62.
- Miall A. D. 1992. Alluvial deposits. *In: R. G. Walker & N. P. James (eds.). Facies model: response to sea level change*, Geological Association of Canada. p.: 119-142.
- Montavão R. M. & Bezerra P. E.L. 1985. Evolução tectônica do Cráton Amazônico (Amazônia Legal) durante o Arqueano e Proterozóico. *In: SBG, SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA*, 2, Anais, p. 282-294.
- Nogueira A. C. R. & Soares E. A. A. 1996. Fácies sedimentares da Formação Prosperança, Proterozóico Superior da Bacia do Amazonas, ao norte da cidade de Manaus. *In: SBG, SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA*, 5, Resumos expandidos, p. 214-216.
- Postma G. 1990. Depositional architecture and facies of river and fan deltas: a synthesis. *In: A. Colella & D. B. Prior (eds.). Coarser-grained deltas*, Special Publication n° 10 of International Association of Sedimentologists, Blackwell Scientific Publication, p.: 29-74.
- Reineck H. E. & Singh I. B. 1980. *Depositional Sedimentary Environments*. Springer-Verlag, New York, 551pp.
- Retallack G. J. 2001. *Soils of the past: an introduction to paleopedology*. Unwin, London, 520pp.
- Ribeiro H. J. P. S. 2001. Fundamentos de estratigrafia de seqüências. *In: H. J. P. S. Ribeiro (org.). Estratigrafia de seqüências – fundamentos e aplicações*. UNISINOS, p.: 99-134.
- RØe S. 1987. Cross-strata and bedforms of probable transitional dune to upper-stage plane-bed origin from a Late PreCambrian fluvial sandstone, northern Norway. *Sedimentology*, **34**: 89-101.
- Ruskin B. G. & Jordan T. E. 2007. Climate change across continental sequence boundaries: paleopedology and lithofacies of Iglesia Bason, Northwestern Argentina. *Journal of Sedimentary Research*, **77**: 661-679.

Soil Survey Staff 1975. *Soil taxonomy, a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys: handbook*. U. S. Department of Agriculture, 436pp.

Tohver E., D'Agrella-Filho M. S., Trindade, R. I. F. 2006. Paleomagnetic record of Africa and South America for the 1200–500Ma interval, and evaluation of Rodinia and Gondwana assemblies. *Precambrian Research*, **147**: 193-222.

Tucker M. E. 2003. *Sedimentary rocks in the field: the geological field guide series*, 3^a ed. Wiley, Chichester, 234pp.

Walker R. G. 1990. Facies modelling and sequence stratigraphy. *Journal of Sedimentary Petrology*, **60**: 777-786.

Walker R. G. 1992. Facies, facies model and modern stratigraphic concepts. *In*: R. G. Walker & N. P. James (eds.). *Facies model: response to sea level change*. Geological Association of Canada, p.:1-14.

Wanderley Filho J. R. 1991. Evolução estrutural da Bacia do Amazonas e sua correlação com o embasamento. Dissertação de Mestrado, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, 125p.

CAPÍTULO 5

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise realizada nesta dissertação de mestrado permitiu reconhecer a implantação de um sistema flúvio-deltaico neoproterozóico (Formação Prosperança) no sul do Escudo das Guianas. Este foi erodido parcialmente pela progradação de um sistema fluvial *braided* eo-paleozóico (Grupo Trombetas) formando uma importante superfície estratigráfica (limite de seqüência) que pode ser mapeada por centenas de metros.

A constatação de oxissolo desenvolvido na Formação Prosperança indicou que a transição Neoproterozóico – Ordoviciano foi marcado por períodos de exposição subaérea em condições climáticas tropicais/ úmidas e manifesta-se como o primeiro registro de um evento de lateritização pré-cambriana no Cráton Amazônico.

O estudo faciológico e estratigráfico de detalhe forneceram critérios para discernir depósitos siliciclásticos do embasamento das unidades sedimentares paleozóicas da Bacia do Amazonas e auxiliaram no melhor entendimento da evolução sedimentar da margem sul do Escudo das Guianas.

REFERÊNCIAS

- Allen, J. R. L. 1980. Sand waves; a model of origin and internal structure. *Sedimentary Geology*, **26**: 281-328.
- Almeida, F. F. M.; Nogueira Filho, J. V. 1959. *Reconhecimento geológico do rio Aripuanã*. DNPM. n° 199. (Boletim interno).
- Arnot, M. J.; Good, T. R.; Lewis, J. J. M. 1997. Photogeological and image-analysis techniques for collection of large-scale outcrop data. *Journal of Sedimentary Research*, **67** (5): 984-987.
- Arnott, R. W. C. 1993. Quasi-planar-laminated sandstone bed of the Lower Cretaceous Bootlegger Member, North-Central Montana: evidence of combined-flow sedimentation. *Journal of Sedimentary Petrology*, **63**: 488-494.
- Barbosa, R. C. M. 2007. *Fácies e estratigrafia de depósitos neoproterozóicos da Formação Prosperança na região do baixo rio Negro, Amazonas*: Universidade Federal do Amazonas. 61p. (Trabalho Final de Graduação).
- Bhattacharya, J. P. 2006. Deltas. In: Posamentier, H. W & Walker, R. G. (eds.). *Facies model revised*. Special Publication n° 84. Tulsa. SEMP. p. 237-292.
- Boggs Jr., S. 1987. *Principles of sedimentology and stratigraphy*. Merrill Publishing Company. 784p.
- Cant, D. J.; Walker, R. G. 1978. Fluvial process and facies sequences in the sandy braided South Saskatchewan River, Canada. *Sedimentology*, **25**: 625-648.
- Caputo, M. V. & Sad, R. E. 1974. *Geologia do Baixo Rio Negro*. PETROBRÁS. 675-A. (Relatório interno).
- Caputo, M. V.; Rodrigues, R.; Vasconcelos, D. N. N. 1971. *Litoestratigrafia da Bacia do Amazonas*. PETROBRAS. n° 641-A, 99p. (Relatório interno).
- Caputo, M. V.; Rodrigues, R.; Vasconcelos, D. N. N. 1972. Nomenclatura estratigráfica da Bacia do Amazonas – histórico e atualizações. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 26..Belém. Anais...Belém: SBG. v. 3, p. 35-46.
- Castro, J. C.; Eiras, J. F.; Caputo, M. V. 1988. Paleozóico do Rio Tapajós. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 35..Belém. Roteiro das excursões n° 8...Belém: SBG, p. 27-44.
- Chakraborty, P. P. & Paul, S. 2008. Forced regressive wedges on a Neoproterozoic siliciclastic shelf: Chandarpur Group, central India. *Precambrian Research*, **182**: 227-247.
- Charcosset, P.; Combes, P.; Peybernès, B.; Ciszak, R.; Lopez, M. 2000. Pedogenic and Karstic features at the boundaries of Bathonian depositional sequences in the Grands Causses Area (southern France): stratigraphic implication. *Journal of Sedimentary Research*, **70** (1): 255-264.

- Clifton, H. E. 2006. A reexamination of facies models for clastic shorelines. In: POSAMENTIER, H. W & WALKER, R. G. (eds.). *Facies model revised*. Special Publication n° 84. Tulsa. SEMP. p. 293-337.
- Coleman, J. M. 1982. *Deltas, processes of deposition and models for exploration*. Boston, International Human Resources Development Corporation. 124p.
- Coleman, J. M. 1988. Dynamic changes and processes in the Mississippi River delta. *Bull. Geol. Soc. Am*, **100**: 999-1015.
- Collinson, D. B. & Thompson, J. B. 1989. *Sedimentary structures*. 2ª ed. London, Unwin Hyman. 207p.
- Cprm, 2001. *Excursão científica no trecho Manaus – Boa Vista. Guia de excursão*. CPRM, 99p. (Relatório Interno).
- Cprm, 2002. *Geologia e recursos minerais da Amazônia Brasileira: SIG e mapas*. Escala 1:175.000.
- Cunha, F. M. B.; Gonzaga, F. G.; Coutinho, L. F. C.; Feijó, F. J. 1994. Bacia do Amazonas. *Boletim de Geociências*, **8 (1)**: 47-55.
- Cunha, P. R. C.; Melo, J. H. G.; Silva, O. B. 2007. Bacia do Amazonas. *Boletim de Geociências da Petrobras*, **15 (2)**: 227-251.
- De Raaf, J. F. M.; Boersma, J. R.; Van Gelder, A. 1977. Wave-generated structures and sequences from a shallow marine succession, Lower Carboniferous, County Cork, Ireland. *Sedimentology*, **24**: 451-483.
- Della Fávera, J. 2001. *Fundamentos da estratigrafia moderna*. Rio de Janeiro, UFRJ. 264p.
- Eiras, J. F. 1996. Influência tectônica do Arco de Carauari na sedimentação fanerozóica da Bacia do Solimões, norte do Brasil. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 39..Salvador. Anais...SBG, p. 52-53.
- Elliott, T. 1975. The sedimentary history of a delta lobe from a Yoredale (Carboniferous) cyclothem. *Proc. Yorkshire Geol. Soc.*, **40**: 505-536.
- Galloway, W. E. 2002. Paleogeographic setting and depositional architecture of a sand-dominated shelf depositional system, miocene Utsira Formation, North Sea Basin. *Journal of Sedimentary Research*, **72 (4)**: 476-490.
- Glover, B. W. & O'Beirne, A. M. 1994. Anatomy, hydrodynamic and deposition setting of a Westphalian lacustrine delta complex, West Midlands, England. *Sedimentology*, **41**: 115-132.
- Hoorn, C.; Roddaz, M.; Dino, R.; Soares, E.; Uba, C.; Ochoa-Lozano, D.; Mapes, D. 2010. The Amazonian Craton and its influence on past fluvial systems. In: Hoorn, C. & Wesselingh, F. (eds.). *Amazonia: landscape and species evolution – a look into the past*. Wiley-Blackwell. p. 103-122.
- Lindholm, R. C. 1987. *A practical approach to sedimentology*. London, Allen & Unwin. 276p.

- Long, D. G. F. 1978. Proterozoic stream deposits: some problems of recognition and interpretation of ancient sandy fluvial systems. In: Miall, A. D. (ed.). *Fluvial Sedimentology*. Memoir 5 Calgary, Can. Soc. Pet. Geol. p. 313-341.
- Lowe, D. R. 1975. Water scape structures in coarser-grained sediments. *Sedimentology*, **22**: 157-204.
- Mapes, R. W. 2009. *Past and present provenance of the Amazon river*: Chapel Hill: University of North Carolina. Department of Geological Sciences. 185p. (Tese de Doutorado).
- Miall, A. D. 1977. A review of the braided-river depositional environment. *Earth Science Review*, **13** (1): 1-62.
- Miall, A. D. 1985. Architectural element analysis – a new method of facies analysis applied to fluvial deposits. *Earth Science Review*, **22** (4): 105-118.
- Miall, A. D. 1992. Alluvial deposits. In: Walker, R. G. & James, N. P. (eds.). *Facies model: response to sea level change*. Canada, Geological Association of Canada. p.119-142.
- Montavão, R. M. & Bezerra, P. E. L. 1985. Evolução tectônica do Cráton Amazônico (Amazônia Legal) durante o Arqueano e Proterozóico. In: Simpósio de Geologia da Amazônia, 2..Belém. Anais: SBG/NO, p. 282-294.
- Nogueira, A. C. R. & Soares, E. A. A. 1996. Fácies sedimentares da Formação Prosperança, Proterozóico Superior da Bacia do Amazonas, ao norte da cidade de Manaus. In: Simpósio de Geologia da Amazônia, 5..Belém. Resumos expandidos: SBG/NO, p. 214-216.
- Nogueira, A. C. R. 1999. Depósitos Costeiros Neoproterozóicos da Formação Prosperança, Município de Presidente Figueiredo, Estado do Amazonas. In: Simpósio de Geologia da Amazônia, 6...Manaus. Resumos expandidos...Manaus: SBG-NO, p.412-415.
- Nogueira, A. C. R.; Souza, V.; Soares, E. A. A. 1997. Contribuição à tectônica cenozóica da região de Presidente Figueiredo, norte de Manaus – AM. In: Simpósio de Estudos Tectônicos, 5..Pirinópolis. Anais...:SBG/IG-UNB, p. 123-125.
- Paiva, G. 1929. Vale do rio Negro. *Boletim do Serviço Geológico e Mineral do Brasil*, **40**: 62p.
- Peixoto, S. F. & Horbe, A. M. C. 2008. Bauxitas do nordeste do Amazonas. *Revista Brasileira de Geociências*, **38** (2): 406-422.
- Postma, G. 1990. Depositional architecture and facies of river and fan deltas: a synthesis. In: Colella, A & Prior, D. B. (eds.). *Coarser-grained deltas*. Special Publication n° 10 of International Association of Sedimentologists. Oxford, Blackwell Scientific Publication. p. 29-74.
- Potter, P. E.; Maynard, J. B.; Depetris, P. J. 2005. *Mud and mudstones: introduction and overview*. New York. Springer. 297p.
- Reineck, H. E. & Singh, I. B. 1980. *Depositional Sedimentary Environments*. New York, Springer-Verlag. 551p.

- Reinson, G. E; 1992. Transgressive barrier island and estuarine system. In: Walker, R. G. & James, N. P. (eds.). *Facies model: response to sea level change*. Canada, Geological Association of Canada. p.179-194.
- Reis, N. J.; Fraga, L. M.; Farias, M. S. G.; Almeida, M. E. 2003. Geologia do Estado de Roraima. *Géologie de la France*, **2-3**:71-84.
- Retallack, G. J. 2001. *Soils of the past: an introduction to paleopedology*. London, Unwin. 520p.
- Ribeiro, H. J. P. S. 2001. Fundamentos de estratigrafia de seqüências. In: Ribeiro, H. J. P. S. (org.). *Estratigrafia de seqüências – fundamentos e aplicações*. São Leopoldo, UNISINOS. p. 99-134.
- RØe, S. 1987. Cross-strata and bedforms of probable transitional dune to upper-stage plane-bed origin from a Late PreCambrian fluvial sandstone, northern Norway. *Sedimentology*, **34**: 89-101.
- Ruskin, B. G. & Jordan, T. E. 2007. Climate change across continental sequence boundaries: paleopedology and lithofacies of Iglesia Bason, Northwestern Argentina. *Journal of Sedimentary Research*, **77**: 661-679.
- Santos, J. O. S.; Hartmann, L. A.; Mcnaughton, N. J. 2002. Timing of mafic magmatism in the Tapajós Province (Brazil) and implication for the evolution of the Amazon Craton: evidences from baddeleyite and zircon U-Pb SRIMP geochronology. *Journal of South American Earth Sciences*, **15**: 409-429.
- Soil Survey Staff. 1975. *Soil taxonomy, a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys: handbook*. U. S. Department of Agriculture. 436p.
- Souza, S. S. & Nogueira, A. C. R. 2009. Seção geológica Manaus – Presidente Figueiredo (AM), borda norte da Bacia do Amazonas: um guia para excursão de campo. *Revista Brasileira de Geociências*, **39 (1)**: 16-29.
- Swan, A. G. 1958. *Geology of the lower rio Negro area*. PETROBRAS. n° 214-A. (Relatório interno).
- Tassinari, C. G.; Bettencourt, J. S.; Geraldles, M. C.; Macambira, M. J. B.; Lafon, J. M. 2000. The Amazonian Craton. In: Cordani, U. G; Milani, E. J; Thomas Filho, A; Campos, D. A (Eds.). *Tectonic evolution of South America*. Rio de Janeiro, p. 41-98.
- Tohver, E.; D'agrella-Filho, M. S.; Trindade, R. I. F. 2006. Paleomagnetic record of Africa and South America for the 1200–500Ma interval, and evaluation of Rodinia and Gondwana assemblies. *Precambrian Research*, **147**: 193-222.
- Tucker, M. E. 2003. *Sedimentary rocks in the field: the geological field guide series*. 3ª ed. Chichester, Wiley. 234p.
- Walker, R. G. 1990. Facies modeling and sequence stratigraphic. *Journal of Sedimentary Petrology*, **60**: 777-786.

Walker, R. G. 1992. Facies, facies model and modern stratigraphic concepts. In: Walker, R. G. & James, N. P. (eds.). *Facies model: response to sea level change*. Canada, Geological Association of Canada. p.1-14.

Wanderley Filho, J. R. 1991. *Evolução estrutural da Bacia do Amazonas e sua correlação com o embasamento*: Belém. CG/UFGA. 125p. (Dissertação de Mestrado).

Wanderley Filho, J. R.; Eiras, J. F.; Vaz, P. T. 2007. Bacia do Amazonas. *Boletim de Geociências da Petrobras*, **15 (2)**: 217-226.

Wizevic, M. C. 1991. Photomosaics of outcrops: useful photographic techniques. In: Miall, A. D. & Tyler, N. (eds.). *The three-dimensional facies architecture of terrigenous clastic sediments and its implication for hydrocarbon discovery and recovery*. Tulsa, SEMP (Concepts in sedimentology and Paleontology, 3). p. 22-24.