



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO:
PETROLOGIA, METALOGÊNESE E EXPLORAÇÃO MINERAL**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

ANOMALIAS DE FOSFATO SEDIMENTAR NOS GRUPOS VAZABARRIS/MIABA, FAIXA DE DOBRAMENTOS NEOPROTEROZOIÓICOS SERGIPANA, NE DA BAHIA, BRASIL: CONTROLES ESTRATIGRÁFICOS E CORRELAÇÕES

EDMAR DA SILVA SANTOS

Salvador 2018

ANOMALIAS DE FOSFATO SEDIMENTAR NOS GRUPOS VAZABARRIS/MIABA, FAIXA DE DOBRAMENTOS NEOPROTEROZOIÓICOS SERGIPANA, NE DA BAHIA, BRASIL: CONTROLES ESTRATIGRÁFICOS E CORRELAÇÕES

Edmar da Silva Santos

Orientador: Prof. Dr. Aroldo Misi

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Geologia, Área de Concentração: Petrologia, Metalogênese e Exploração Mineral.

Salvador 2018

Silva Santos, Edmar
ANOMALIAS DE FOSFATO SEDIMENTAR NOS GRUPOS VAZA
BARRIS/MIABA, FAIXA DE DOBRAMENTOS NEOPROTEROZOIICOS
SERGIPANA, NE DA BAHIA, BRASIL CONTROLES
ESTRATIGRÁFICOS E CORRELAÇÕES / Edmar Silva Santos,
Aroldo Misi, Haroldo Sá. -- Salvador, 2018.
58 f.

Orientador: Aroldo Misi.
Dissertação (Mestrado - Programa de Pós Graduação em
Geologia) -- Universidade Federal da Bahia, Instituto
de Geociências, 2018.

1. Fosfato. 2. Neoproterozoico. 3. Grupos Vaza
Barris/Miaba. 4. Correlações. I. Misi, Aroldo. II. Sá,
Haroldo. I. Misi, Aroldo. II. Título.

EDMAR DA SILVA SANTOS

“ANOMALIAS DE FOSFATO SEDIMENTAR NA FAIXA DE DOBRAMENTOS SERGIPANA, GRUPO VAZABARRIS/MIABA (NEOPROTEROZOICO), NE DO ESTADO DA BAHIA, BRASIL: CONTROLES ESTRATIGRÁFICOS E CORRELAÇÕES”

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal da Bahia, como requisito para a obtenção do Grau de Mestre em Geologia na área de concentração em Petrologia, Metalogênese e Exploração Mineral, em 29/10/2018.

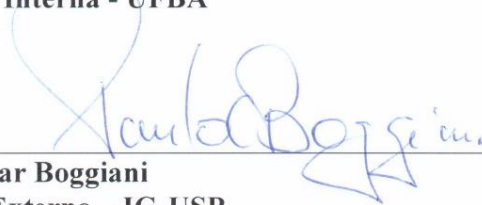
DISSERTAÇÃO APROVADA PELA BANCA EXAMINADORA:



Dr. Aroldo Misi
Orientador – UFBA



Dr.ª. Débora Correia Rios
Examinadora Interna - UFBA



Dr. Paulo Cesar Boggiani
Examinador Externo – IG-USP

Salvador – BA
2018

A Letícia Gouveia e Maria Luiza Evangelista,
incentivadoras incansáveis e companheiras fiéis.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente agradeço a minha esposa, Letícia Gouveia, o pilar fundamental de toda essa jornada. Companheira incansável e dedicada, que sempre esteve ao meu lado com palavras de apoio nos momentos de maior desânimo e necessidade.

Agradeço a toda a minha família, com especial carinho à minha mãe, Maria Luiza Evangelista e irmã, Priscila Silva, que sempre estiveram ao meu lado com palavras de incentivo, demonstrações de carinho e afeto que me movem adiante desde os primeiros dias da minha existência. Além da minha queridíssima sobrinha, Ana Luiza, alegria da minha vida.

Ao professor Dr. Aroldo Misi, pela orientação ao longo desses anos, por transmitir com incrível humildade e paciência, parte do imenso conhecimento adquirido em sua gabaritada carreira geológica e, aos colegas do Núcleo de Metalogênese da Universidade Federal da Bahia, em especial: Tatiana Ribeiro, Mariana Andriotti, Pedro Garcia, Daniel Mendonça, André Lírio e o estimado Flori. Aos professores Ernande e Cicero pelo tempo e paciência dedicados.

À CBPM – Companhia Baiana de Pesquisa mineral, por possibilitar a pesquisa por intermédio do Projeto Mapa Metalogenético da Bahia, por continuar acreditando no poder da pesquisa científica e no potencial dos resultados que os alunos da Universidade Federal da Bahia possuem.

Por fim, agradeço a todas as pessoas que direta ou indiretamente participaram direta ou indiretamente, tornando essa caminhada menos complexa. Muito obrigado!

“I know. It’s all wrong. By rights, we shouldn’t even be here. But we are. It’s like in the great stories, Mr. Frodo, the ones that really mattered. Full of darkness and danger they were. And sometimes you didn’t want to know the end because how could the end be happy? How could the world go back to the way it was when so much bad had happened? But in the end, it’s only a passing thing this shadow. Even darkness must pass. A new day will come. And when the sun shines, it will shine out the clearer. Those were the stories that stayed with you that meant something. Even if you were too small to understand why. But I think, Mr. Frodo, I do understand. I know now. Folk in those stories had lots of chances of turning back, only they didn’t. They kept going because they were holding on to something.”

“Samwise Gamgee – The Lord of The Rings”

RESUMO

As sequências neoproterozoicas que ocorrem no Cráton do São Francisco são constituídas por espessos pacotes oriundos de sedimentações carbonáticas e siliciclásticas, que se acumularam em bacias marinhas intracratônicas e de margem passiva nas bordas da zona cratônica, a exemplo das sequências sedimentares que ocorrem na região nordeste do estado da Bahia, representantes dos domínios Estância e Vaza Barris, objeto de estudo desta pesquisa.

Classicamente, o Domínio Estância é composto por sequências sedimentares pouco deformadas, representadas por diamictitos com clastos facetados de rochas do embasamento Arqueano-Paleoproterozoico na base (diamictitos da Formação Juetê/Ribeirópolis) sobrepostos por espessos pacotes carbonáticos (Formação Acauã/Jacoca), enquanto o Domínio Vaza Barris, é composto pelas formações Frei Paulo, Palestina e Olhos D'água, ambas intensamente deformadas e metamorizadas em baixo grau, sob influência da evolução do Orógeno Sergipano.

Neste trabalho foram estudadas detalhadamente seis seções estratigráficas ao longo de 140 km, onde ocorrem litofácies dos domínios Estância e Vaza-Barris, buscando verificar a existência de anomalias e/ou mineralizações de fosfato e estabelecer possíveis correlações estratigráficas com aquelas registradas nos Grupos Una e Bambuí. Foram identificadas anomalias de fosfato sobrepostas a diamictitos da Formação Palestina, nas porções basais das Formações Olhos D'Água, associadas a doloarenitos com estratificações cruzadas por ondas e razões de $\delta^{13}\text{C}$ variando entre -3.75 a -5.79‰ VPDB, além da identificação de carbonato fluorapatita em análises de fluorescências de Raios-X nas imediações da Serra da Gruta, povoado de Patamuté, onde foram obtidos relevantes valores medidos de P_2O_5 (1,756 % e 5,56%). Além de anomalias menores na porção basal da Formação Jacoca, associadas a dololutitos e doloarenitos com textura oolítica, sobrepostos aos diamictitos da Formação Ribeirópolis. Neste intervalo, as razões de $\delta^{13}\text{C}$ posicionam-se entre, -3.56 e -8.08 VPDB. O controle estratigráfico, disposição dos litotipos e a posição das anomalias de fosfato descobertas nas seções estudadas apresentam similaridades às ocorrências de fosfato economicamente exploradas em outras bacias de idade neoproterozoica no Cráton do São Francisco e Faixas Marginais.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	5
1.1 CARACTERIZAÇÃO E APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA.....	6
1.2 OBJETIVOS	7
1.3 DESENVOLVIMENTO	8
1.4 EXEQUIBILIDADE	8
1.5 JUSTIFICATIVA	8
1.6 LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO.....	10
1.7 MATERIAIS E MÉTODOS.....	11
1.7.1 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO:.....	11
1.7.2 GEOLOGIA DE CAMPO:.....	11
1.7.3 ESTUDOS PETROGRÁFICOS:	11
1.7.4 GEOQUÍMICA DE ROCHA TOTAL:	11
1.7.5 ANÁLISES ISOTÓPICAS DE C E O:	12
1.7.6 DIFRATOMETRIA POR RAIOS X:	12
1.8 FUNDAMENTOS DA FOSFOGÊNESE	13
1.8.1 FONTES DE FOSFATO E MECANISMO DE PRECIPITAÇÃO ...	13
1.8.2 MODELOS PARA A CONCENTRAÇÃO DE FOSFORITOS.....	14
1.8.3 FOSFOGÊNESE E GLACIAÇÕES NEOPROTEROZOICAS	15
1.8.4 DEPÓSITOS DE FOSFATO NEOPROTEROZOICO NO CRÁTON DO SÃO FRANCISCO	18
1.9 REFERÊNCIAS.....	22
2. ANOMALIAS DE FOSFATO SEDIMENTAR NA FAIXA DE DOBRAMENTOS SERGIPANA, GRUPO VAZA-BARRIS/MIABA (NEOPROTEROZOICO), NE DO ESTADO DA BAHIA, BRASIL: CONTROLES ESTRATIGRÁFICOS E CORRELAÇÕES	24

INTRODUÇÃO GERAL: LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Contexto geológico da Faixa Sergipana e localização aproximada da área de estudo (em verde).....	5
Figura 2: Localização aproximada da área de estudo.....	10
Figura 3: Extensão da fosfogênese resultante do bombeamento de Fe-redox nas plataformas do Precambriano e Fanerozóico.....	15
Figura 4: Distribuição temporal da formação de ferro (vermelha), ironstone (roxo), fosforito (amarelo) e folhelho negro (preto). Com base na idade do depósito, estimativa de recursos e cronologia de eventos da Terra, em Glenn <i>et al.</i> (1994), Kholodov & Butuzova (2004), Condie <i>et al.</i> (2001), Klein (2005), Reddy & Evans (2009), e Becker <i>et al.</i> (2010). Eventos: OP = aparecimento da fotossíntese aeróbica; GOE = Grande Evento de Oxidação; BB = Boring billion; CE = Explosão Cambriana. Glaciações: 1 = Mesoarqueano; 2 = Huroniano; 3 = Paleoproterozoica; 4 = "Bola de Neve" Neoproterozoico; 5 = Ordoviciano; 6 = Permiano; 7 = Neogene.....	17

ARTIGO: LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa geológico simplificado da Faixa Sergipana. Fonte: Modificado de D'El Rey-Silva (1999).....	05
Figura 2: Distribuição lateral dos Domínios Vaza-Barris/Miaba. Fonte: Misi et al. (2011).....	06
Figura 3: Seção geológica esquemática regional da Faixa Sergipana. Fonte: Modificado de D'El Rey-Silva, (1999).....	07
Figura 4: Perfil quimioestratigráfico do Grupo Vaza Barris/Miaba no estado de Sergipe. A – Formação Olhos D'Água na Serra do Capitão. B – Carbonatos da Formação Jacoca nas imediações da Faz. Capitão. Fonte> Sial et al. (2010).....	08
Figura 5: Mapa geológico regional com destaque para os domínios geológicos dos Grupos Vaza-Barris/Miaba. Fonte: SRH – Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Habitação.....	09
Figura 6: Formação Olhos D'Água nas imediações da Serra da Gruta, Ciclo 2: A- Doloarenito com dobra isoclinal. B- Doloarenito com estratificação cruzada. C - Doloarenito com estratificação cruzada com anomalia de campo (mobiado de amônia). D - Calcarenitos bandados com acamadamento rítmico.....	10
Figura 7: Formação Olhos D'Água, Ciclo 2A - Mosaico de dolomita, Amostra ES-05A. B - Possível ocorrência de fosfato. Amostra ES-05A.....	11
Figura 8: Difratometria de Raios-X (ES-08A/C-16) constatando a presença de carbonato fluorapatita associada aos doloarenitos com estratificação cruzada nas imediações da Serra da Gruta.....	12
Figura 9: Formação Olhos D'Água, Ciclo 2: A - Calcilutitos negros intensamente deformados nas imediações do povoado de Patamuté. B - Doloarenito calcítico rosado, com estrutura acamadada.	

C - Doloarenito calcítico neomorfisado com textura peloidal. D - Calcilito negro, neomorfisado13

Figura 10: Formação Olhos D'Água, Ciclo 2: A - Paredão de doloarenitos com estratificação cruzada. B - Reação ao molibdato de amônia em dolossilito14

Figura 11: Formação Jacoca, imediações do povoado Estaca Zero. Ciclo 1: A - Diamictito da Formação Ribeirópolis com seixo pingado oriundo do embasamento granito-gnaiss do Complexo Santaluz. B - Dololuto marrom avermelhado em contato direto com o diamictito da Fm. Ribeirópolis. C - Calcissilito a calcilito com estrutura bandada. D - Dolossilitos maciços com textura oolítica no topo da seqüência15

Figura 12: A - Calcilitos a calcarenitos dolomíticos intensamente deformados sob a influência de uma zona de cisalhamento. B - Anomalia de fosfato foram detectadas em associação com as camadas de dolossilitos. C - Diamictito Palestina, com destaque para um seixo pingado de calcário negro oriunda da Formação Olhos D'Água. D - Dolossilito a dololuto maciço, intensamente deformado aflorando em contato com os diamictitos da Fm. Palestina16

Figura 13: Porção basal da Fm. Jacoca, Ciclo 1, imediações de Estaca Zero: A - Dololuto caracterizado pela ocorrência de mosaicos de dolomita associados a megaquartzo. B - Calcilito com textura francamente peloidal, neomorfisado e intraclastos associados. Porção basal da Fm. Olhos D'Água, Ciclo 2. Imediações de Rosário: C - Dololuto neomórfico, intensamente deformado. E - Dolossilito com fraturas de sobrepressão de fluidos17

Figura 14: Base da Formação Jacoca, Ciclo 1: A - Espesso pacote de dololutos com estrutura plano paralela. B - Dololuto evidenciando anomalia de fosfato18

Figura 15: A - Doloarenito fino, com coloração bege avermelhada e estrutura maciça. B - Matações de estromatólitos.19

Figura 16: Seção geológica composta para as seções Patamuté e Serra da Gruta20

Figura 17: Seção geológica esquemática para a Seção Rosário21

Figura 18: Colunas estratigráficas esquemáticas para as seções geológicas estudadas com destaque para o intervalo de ocorrência das anomalias de P_2O_5 21

Figura 19: Correlação entre os Grupos Vaza-Barris/Miaba (margem passiva), Bambuí, Una e Vazante. Fonte: modificada de Misi *et al.* (2011) 22

Figura 20: Correlação entre as sucessões neoproterozoicas do Cráton do São Francisco e Faixas Marginais e das principais ocorrências e depósitos de fosfato. Fonte: Modificado de Misi *et al.* (2014) 24

Tabela 1: Razões de $\delta^{13}C$ e $\delta^{18}O$ para os litotipos do Grupo Vaza Barris nas imediações de Euclides da Cunha e Uauá.19

Tabela 2: Distribuição de elementos maiores para os litotipos do Grupo Vaza Barris nas imediações de Euclides da Cunha - Uauá.20

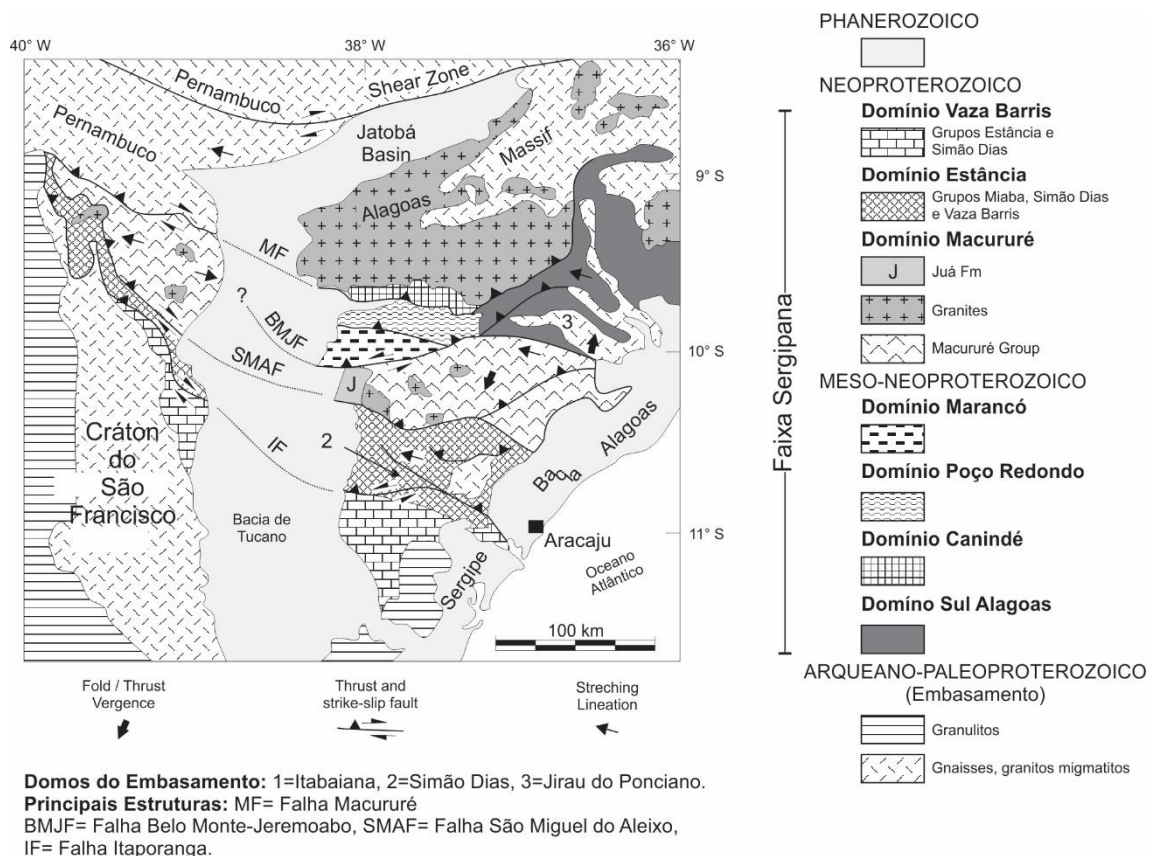
CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO GERAL

As seqüências neoproterozoicas do Cráton do São Francisco são constituídas por espessas camadas carbonáticas e siliciclásticas que se acumularam em bacias marinhas intracratônicas (epicontinentais) e em bacias de margem passiva que margeiam a área cratônica, a exemplo das seqüências que ocorrem na região nordeste do Estado da Bahia, que pertencem ao Grupo Vaza-Barris, objeto de estudo deste projeto.

O Grupo Vaza-Barris está inserido no âmbito da Faixa Sergipana, formada durante o ciclo Brasiliano/Pan-Africano, e que ocorre ao sul do Maciço Pernambuco-Alagoas, no limite nordeste do Cráton do São Francisco (ALMEIDA, 1977; BRITO NEVES *et al.*, 2000) (Figura 1).

Figura 7: Contexto geológico da Faixa Sergipana.



Fonte: D'El Rey-Silva, 1999 e Misi *et al.*, 2011.

Ocorrem importantes depósitos de fosfato nas bacias sedimentares neoproterozoicas no Cráton do São Francisco, com destaque para os as minas de Irecê-Lapão (Bahia), Campos Belo (Goiás), Rocinha e Lagamar (Minas Gerais), além de diversas ocorrências registradas nessas bacias sedimentares (MISI *et al.*, 2006; MISI *et al.*, 2010). Estes depósitos estão relacionados a eventos globais de fosfatização que ocorreram durante o Neoproterozoico e, sua gênese estaria relacionada a ciclos de glaciação global, sendo os horizontes de sedimentação glaciogênica importantes guias para a prospecção de fosforitos nos domínios das sequências carbonáticas neoproterozoicas.

Nos domínios do Grupo Vaza-Barris-Miaba, entre os municípios de Euclides da Cunha e Uauá, foram registradas ocorrências de mineralizações de fosfato associadas a calcarenitos finos, com estratificações cruzadas, intercalados ritmicamente com pelitos carbonáticos em um ambiente deposicional do tipo de submaré rasa (NOGUTI *et al.*, 1990, BASTOS ABRAM *et al.*, 2011). Posteriormente, foram realizadas campanhas exploracionais de iniciativa privada, nas quais se constataram novas ocorrências de fosfato relacionadas aos domínios carbonáticos do Grupo Vaza-Barris. Essas ocorrências estavam posicionadas estratigraficamente acima de intervalos de deposição glacial, que indicam similaridades as observadas no Grupo Bambuí.

Nesse trabalho foram estudados de forma detalhada a estratigrafia das sequências neoproterozoicas dessa região, com foco nas concentrações anômalas de fosfato que lá ocorrem. Para tanto, foram realizadas seções estratigráficas e geológicas com amostragens representativas onde, por intermédio da coleta de amostras *in situ*, executaram-se estudos petrográficos, geoquímicos e de isotópos estáveis, visando a elaboração de correlações e possíveis modelos evolucionais dos processos e paleoambientes relacionados à gênese dessas anomalias de P₂O₅.

1.1 CARACTERIZAÇÃO E APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

Misi *et al.* (2011) indicam que, durante o Neoproterozoico, palco de sedimentação de espessas sequências sedimentares no do Cráton do São Francisco, ocorreram ao menos três intervalos de glaciação e, mostra que os dados de $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$ e $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ dessas sucessões sedimentares suportam a correlação entre os Grupos Bambuí, Una e Vaza Barris, além da unidade basal do Grupo Vazante.

Segundo Cook & Shergold (1986), os eventos de fosfogênese ocorrem após períodos de glaciação, isso acontece devido ao pico de produtividade orgânica na zona fótica, após o período glacial. Nas sequências sedimentares neoproterozoicas que abarcam o Cráton do São Francisco, inúmeras ocorrências de anomalias de fosfato são reportadas, com destaque para as ocorrências do Grupo Bambuí, que apresentam um nítido controle estratigráfico e se sobrepõem aos diamictitos da Formação Jequitaí.

No que diz respeito ao Grupo Vaza Barris, alvo do presente trabalho, foram reportados expressivos valores anômalos de fosfato desde meados dos anos 80, em trabalhos pioneiros realizados pela CBPM (NOGUTI *et al.*, 1990), além de abordagens mais recentes por Bastos Abram (2011) e de iniciativa privada (BIOGOLD LTDA.), onde foram constatadas ocorrências medidas de P_2O_5 que variam entre 1,9 % (P_2O_5) e 5,7 (P_2O_5).

Dentre as questões ainda não estudadas sobre a área de trabalho, o presente trabalho busca indicar a ocorrência de um claro controle estratigráfico relacionado as ocorrências de fosfato nos domínios do Grupo Vaza Barris. Além de estabelecer correlações estratigráficas, genéticas e geoquímicas entre estas anomalias de fosfato e as observadas nos Grupos Una e Bambuí.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral da presente pesquisa é caracterizar, do ponto de vista estratigráfico, litogeoquímico e genético, as ocorrências de fosfato nos sedimentos neoproterozoicos dos domínios abarcados pelo Grupo Vaza-Barris, na região entre Uauá e Euclides da Cunha. Além de demonstrar correlações estratigráficas entre as ocorrências de fosfato descritas no Grupo Vaza Barris e as observadas nos Grupos Una e Bambuí com estudos adicionais.

Para alcançar o objetivo geral do projeto, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Caracterizar os controles estratigráficos relacionados às anomalias em P_2O_5 nos domínios Estância e Vaza Barris.

- Caracterizar petrograficamente as litofácies que compõem as sequências predominantemente carbonáticas, com ênfase na delimitação de paleoambientes favoráveis à deposição de fosforitos.
- Caracterizar a quimioestratigrafia por intermédio de isótopos estáveis ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$) e análises químicas de seções geológicas com anomalias em P_2O_5 .
- Estabelecer possíveis correlações estratigráficas e paleoambientais das ocorrências de fosfato com aquelas observadas nos Grupos Una e Bambuí.

1.3 DESENVOLVIMENTO

O desenvolvimento da pesquisa ocorreu ao longo de quatro semestres letivos e foi dividido em diferentes etapas. A primeira etapa abrangeu uma pesquisa nas principais referências bibliográficas sobre geologia regional e evolução tectônica de bacias e, sobre sedimentologia e estratigrafia em rochas carbonáticas do Neoproterozoico. Posteriormente, foi realizada uma campanha de campo com vistas à aquisição de dados relevantes para a pesquisa. A etapa seguinte consistiu na realização de estudos petrográficos, litogeoquímicos e de isótopos estáveis. Na etapa final houve a integração e interpretação dos resultados, e elaboração do artigo.

1.4 EXEQUIBILIDADE

A exequibilidade dessa pesquisa foi possível graças ao apoio técnico e financeiro do projeto Mapa Metalogênico 2. A sua execução deu-se pela Universidade Federal da Bahia por intermédio do Grupo de Metalogênese e em parceria com a CBPM – Companhia Baiana de Pesquisa Mineral. As análises isotópicas foram realizadas em parceria com a UFPE -Universidade Federal de Pernambuco, através do LABISE – Laboratório de isótopos estáveis, e parte das análises químicas foi cedida pela BIOMINER LTDA.

1.5 JUSTIFICATIVA

A crescente demanda por alimentos fomenta, cada vez mais, a descoberta de novas jazidas de minerais chaves para a fabricação de fertilizantes e corretivos de solo, indispensáveis para a agricultura moderna. Dessa maneira, o potencial metalogênico

excepcional característico de sequências sedimentares neoproterozoicas no Cráton do São Francisco, com especial afinidade para mineralizações de fosfato sedimentar, associado às relevantes ocorrências de mineralizações de fosfato que ocorrem no contexto dessas sequências sedimentares, constituem um extraordinário campo de exploração (BASTOS ABRAM *et al.*, 2011, NOGUTI *et al.*, 1990).

Noguti *et al.*, (1990), Bastos Abram *et al.*, (2011), registraram diversas ocorrências de mineralizações de fosfato em rochas carbonáticas dos Grupos Vaza-Barris, na região entre Uauá e Euclides da Cunha. Tendo em mente a correlação entre estas sequências sedimentares e as que ocorrem nas sequências carbonáticas também neoproterozoicas da região de Irecê (Mina Galvani / Iara), o entendimento dessas anomalias representa um ponto chave para a descoberta de novas jazidas economicamente viáveis de fosfato no estado da Bahia.

Destacando-se a utilização de isótopos de $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{13}\text{C}$ e $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, utilizados nos estudos de quimioestratigrafia, idades modelo, além de estudos de proveniência das mineralizações, Misi *et al.* (2011), realizou estudos quimioestratigráficos em algumas unidades carbonáticas do Grupo Vaza-Barris/Miaba, além de Kawashita (1998) e por Sial *et al.* (2000, 2003, 2005, 2006a, b). O primeiro autor determinou alteração mínima na razão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de 0,7078 em calcarenitos negros da Formação Olhos D'Água. Além do mais, Sial *et al.* (2000) *apud* Misi *et al.* (2011), reportaram valores negativos de $\delta^{13}\text{C}$ de -4,7‰ imediatamente acima dos diamictitos da Formação Palestina. Estes números aumentam seção acima para valores tão altos quanto +10‰ na Formação Olhos D'Água, superior. Sial *et al.* (2006a) *apud* Misi *et al.* (2011), reportaram excursões negativas tão baixas quanto -5‰ nos carbonatos mais inferiores da Formação Acauã (equivalente à Formação Jacoca) do Domínio Estância, imediatamente acima dos diamictitos da Formação Ribeirópolis, sugerindo que, pelo menos dois importantes eventos glaciogênicos estão representados no Grupo Vaza-Barris. Os resultados mostram uma possível correlação do Grupo Vaza-Barris com as sequências plataformais carbonáticas dos Grupos Bambuí e Una, como defendido por alguns autores (MISI, 1979; TEIXEIRA & FIGUEIREDO, 1991; TROMPETTE, 1994; D'EL REY SILVA, 1999; MISI *et al.*, 2011 e Sial *et al.*, 2016, dentre outros).

Nesse contexto, inúmeras ocorrências de mineralizações de fosfato podem ser encontradas na bibliografia disponível, com destaque para trabalhos realizados pela Companhia Baiana de Pesquisa Mineral (CBPM) nos domínios dos Grupos Miaba e

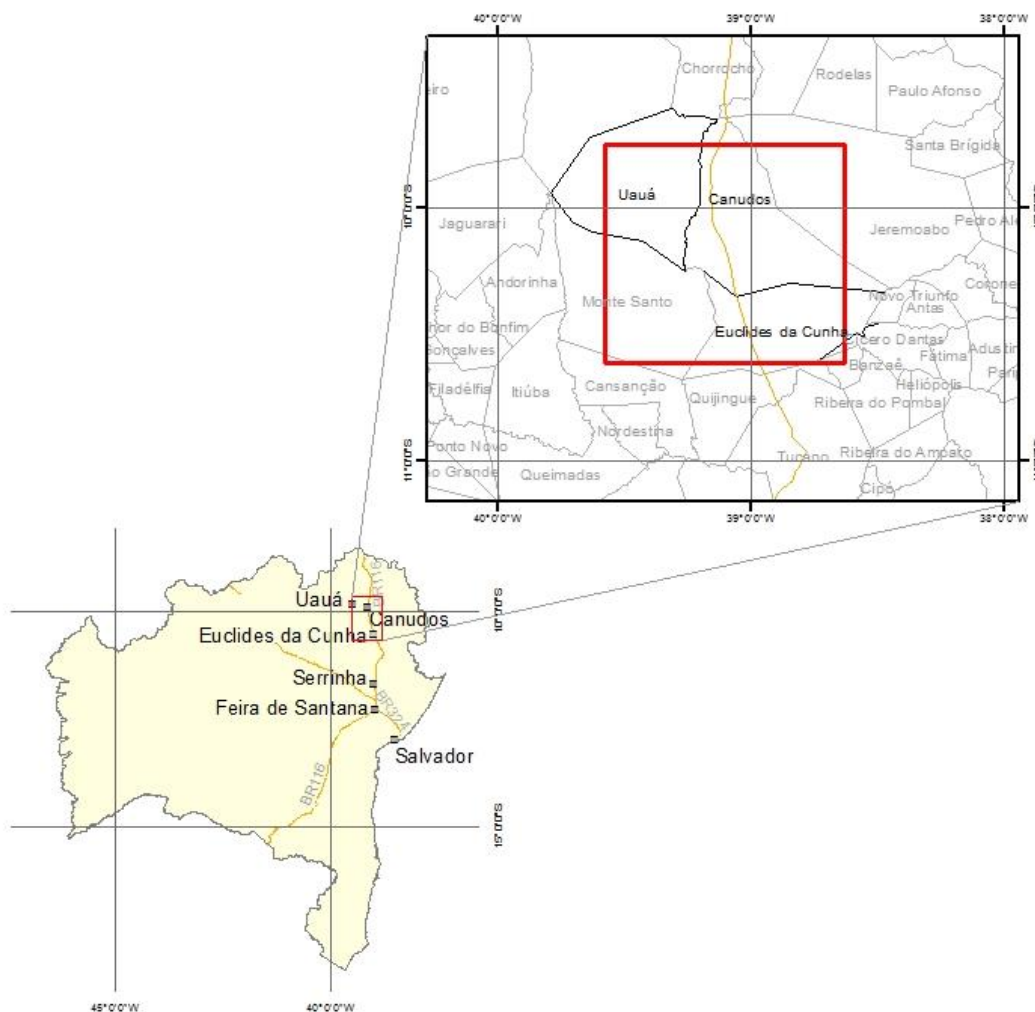
Vaza-Barris (NOGUTI *et al.* (1990). Essas concentrações primárias de fosfato são interpretadas como o resultado de eventos pós sucessões glaciogênicas, e sua origem pode estar relacionada à alta produtividade orgânica, como consequência dos eventos glaciais, como sugerido por Misi *et al.* (2007), Sanches *et al.* (2007) e Sial *et al.* (2010).

1.6 LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO

A área de estudo está inserida na porção Nordeste do Estado da Bahia, a aproximadamente 323km de Salvador, entre os municípios de Uauá e Euclides da Cunha.

O acesso à área por via terrestre, partindo do município de Salvador, é realizado através da BR-324, até Feira de Santana, seguindo a partir daí pela BR-116, sentido norte, até o município de Euclides da Cunha (Figura 2), cidade base para as campanhas de campo que nortearam os estudos.

Figura 8: Localização aproximada da área de estudo.



Fonte: Modificado de IBGE (2018)

1.7 MATERIAIS E MÉTODOS

Para aquisição, integração e interpretação dos dados foram utilizadas diversas ferramentas e métodos, sucintamente descritos a seguir.

1.7.1 Levantamento Bibliográfico:

Análise bibliográfica realizada em periódicos e livros, nacionais e internacionais, com vistas à seleção dos trabalhos considerados fundamentais sobre o tema da pesquisa e os aspectos da geologia regional.

1.7.2 Geologia de Campo:

Caminhamentos geológicos de detalhe ao longo da faixa de ocorrência das sequências do Grupo Vaza-Barris, com descrição de estruturas sedimentares e amostragem dos diversos tipos litológicos aflorantes na área, além da realização de testes de fosfato em campo, por intermédio do uso de molibdato de amônio associado a ácido clorídrico.

1.7.3 Estudos petrográficos:

Estudos petrográficos foram empregados para determinar e caracterizar os constituintes das fácies e, quando possível, para qualificar os processos diagenéticos, as suas relações temporais e também para identificar o tipo de microporosidade das rochas.

As lâminas delgadas foram confeccionadas no Laboratório de Laminação da CBPM – Companhia Baiana de Pesquisa Mineral.

As descrições das lâminas foram realizadas no Laboratório de Microscopia do Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia (UFBA), com microscópio petrográfico modelo Olympus BX60.

1.7.4 Geoquímica de Rocha Total:

Análises geoquímicas quantitativas em rocha total foram obtidas através dos métodos laboratoriais convencionais ICP (*Inductively Coupled*) com abertura em água régia para os elementos maiores e Fluorescência de Raios X.

1.7.5 Análises Isotópicas de C e O:

Técnicas isotópicas, sobretudo aquelas referentes à variação de isótopos estáveis como ^{13}C , têm-se mostrado ferramenta importante em pesquisas sobre paleoambientes e paleoclimas.

Na presente pesquisa, o resultado das análises foi utilizado para avaliar a assinatura isotópica e estabelecer uma possível associação a um intervalo da litoestratigrafia, já estabelecido a partir da assinatura isotópica (por exemplo, MISI *et al.*, 2007).

As amostras foram coletadas em pontos chave da coluna estratigráfica, e submetidas à análises após prévia triagem macroscópica e microscópica, quando foram selecionadas apenas aquelas mais homogêneas - isentas de fraturas, alterações e/ou vênulas - e de composição essencialmente carbonática, sem a presença de terrígenos.

Em fase posterior, nas dependências da UFBA e no laboratório de preparação de amostras do Grupo de Metalogênese, com o auxílio de uma furadeira de bancada com broca \varnothing 0,8mm, técnica de *microdrilling*, foram coletados cerca de 300 microgramas de material pulverizado, este posteriormente submetido à aquisição das razões isotópicas.

As análises foram realizadas na UFPE -Universidade Federal de Pernambuco, por intermédio do LABISE – Laboratório de isótopos estáveis. As razões isotópicas foram geradas a partir da reação entre a mistura gasosa de dióxido de carbono (CO_2) - proveniente da amostra - e ácido fosfórico (H_3PO_4) concentrado a temperatura de 720C° , em recipientes devidamente livres de gases atmosféricos.

O equipamento utilizado para obtenção desses dados foi o espectrômetro de massa Delta Plus Advange acoplado a Gas Bench II, com *auto-sampler*, projetado especialmente para receber amostras sob a forma de gás. As medidas das relações isotópicas são efetuadas em relação a um padrão secundário, adotado pelo laboratório e, posteriormente ajustado para estar conforme com um padrão internacional definido pela Agência Internacional de Energia Atômica (*International Atomic Energy Agency* - IAEA).

1.7.6 Difractometria por Raios X:

Análises por difração de Raio X (DRX) foram realizadas em uma amostra de rocha total coletadas em um perfil chave. As análises DRX foram executadas no laboratório de DRX do Instituto de Geociências da UFBA no difratômetro Siemens D5000. A preparação das amostras consistiu na moagem prévia e prensa em lâmina apropriada.

1.8 FUNDAMENTOS DA FOSFOGÊNESE

A Formação dos fosforitos está relacionada a uma série de eventos que concentram fósforo, como alta produtividade orgânica, processos diagenéticos associados a sedimentos ricos organicamente e acúmulo ou precipitação bacteriana direta (SANCHES, 2007). Papineau (2010) apresenta um modelo baseado em observações geológicas, geocronológicas, geoquímicas e geobiológicas globais que ocorreram do Paleo ao Neoproterozoico, e que induziram a oxigenação da atmosfera e a mudanças fundamentais na evolução dos ciclos biogeoquímicos globais.

Segundo Papineau (2010) as causas da oxigenação atmosférica foram semelhantes e dependentes do fornecimento de nutrientes para os oceanos nestes períodos, onde altas taxas de intemperismo químico podem ter contribuído com o aumento do fluxo de fósforo dos rios para os oceanos e, conseqüentemente, da taxa de produtividade primária, produzindo quantidades significativas de oxigênio atmosférico. Este acúmulo de oxigênio atmosférico propiciou importantes saltos na evolução biológica no Paleoproterozoico, com o aumento de organismos aeróbicos macroscópicos e surgimento de animais no Neoproterozoico-Cambriano.

Robb (2005) indica que os fosforitos estão geralmente associados a ambientes de formação similares aos observados em depósitos de manganês acamadados e ferro bandado, posicionados ao longo de plataformas continentais e em ambientes marinhos de água rasa, possíveis lagunas e deltas.

1.8.1 FONTES DE FOSFATO E MECANISMO DE PRECIPITAÇÃO

As principais fontes de fósforo em ambientes marinhos incluem a atividade hidrotermal e o intemperismo submarino dos basaltos das cadeias meso-oceânicas. Além disso, como pode ser observado no ciclo do fósforo, o intemperismo continental de rochas ígneas e sedimentares ricas em fosfato constituem a fonte mais importante desse elemento (FÖLLMI, 1996).

Uma vez removido das rochas por processos intempéricos mecânicos ou bioquímicos, o fosfato é lixiviado e transportado pela água ou pelo vento, e transferido para lagos, rios e oceanos. Após ser transferido do ambiente continental para o marinho, cerca de 90% do fosfato é soterrado sem nenhuma interação com a biosfera (FROELICH, 1984).

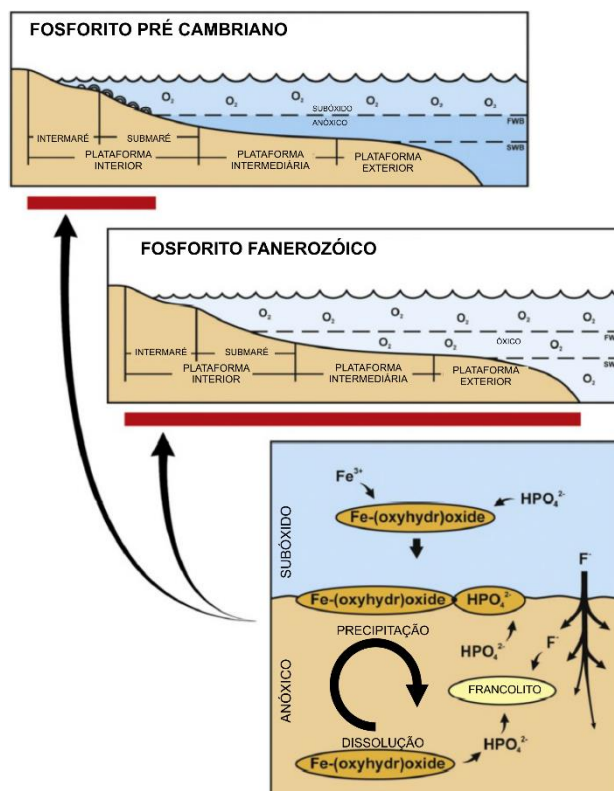
Em ambientes marinhos todo o fosfato de fonte fluvial e eólica é utilizado na zona superficial de produtividade primária e incorporado à matéria orgânica (SANCHES, 2007). Eventualmente, pode ser transferido para o fundo dos oceanos na forma de agregados e matéria orgânica, e, em condições oxidantes, como fosfato inorgânico dissolvido. A maior parte do fosfato é levada para zonas superficiais, pelas correntes intermediárias e profundas, e assim reintroduzido na zona fótica pelo processo de ressurgência marinha (PAPINEAU, 2010).

1.8.2 MODELOS PARA A CONCENTRAÇÃO DE FOSFORITOS

Sob condições de pH em torno de 7,1 a 7,8 e temperaturas de 5 a 20°C estimam-se valores de precipitação de fluorapatita em torno de $5 \times 10^{-8} \text{g/l}$ e $2,5 \times 10^{-7} \text{g/l}$, valores estes que podem ser modificados consideravelmente em função da composição do fosfato precipitado (especialmente o conteúdo de carbonato), das propriedades do sedimento, presença de oxigênio e interferência da atividade orgânica (JANKE, 1984 *apud* SANCHES, 2007).

A precipitação da apatita nas águas intersticiais é regulada pelo mecanismo de bombeamento Fe-redox (NELSON *et al.*, 2010), que é um mecanismo cíclico que enriquece a água de poro em fosfato através do transporte de fosfato adsorvido ao ferro de águas oceânicas óxicas a subóxicas. Durante o soterramento, ocorre a dissolução dos oxi-hidróxidos de Fe abaixo do limite redutor subóxico-anóxico, liberando o fosfato para a água de poro ou intersticial (NELSON *et al.*, 2010) (Figura 3). A presença de estromatólitos associados aos fosforitos indica que águas marinhas rasas e subóxicas são um pré-requisito para a fosfogênese, além da importância da presença dos microrganismos na formação destes (SANCHES, 2007).

Figura 3: Extensão da fosfogênese resultante do bombeamento de Fe-redox nas plataformas do Pré-Cambriano e Fanerozoico.



Fonte: Modificado de Nelson *et al.*, 2010.

1.8.3 FOSFOGÊNESE E GLACIAÇÕES NEOPROTEROZOICAS

O avanço em estudos da razão de isótopos estáveis de Sr, C, e O₂ em diversas partes do mundo tem mostrado que os eventos fosfogênicos possuem correlação direta com eventos de glaciação em escala planetária. Cook e Shergold (1986), analisando os fracionamentos isotópicos, mostraram que os padrões apresentados pelos mesmos são indícios de que os períodos pós-glaciação são os momentos onde se instalaram as melhores condições para a ocorrência de sistemas fosfogênicos.

Os eventos de glaciação determinam mudanças climáticas e biogeoquímicas nas condições de oxidação que permitiriam a acumulação e favorecem a deposição dos fosfatos em ambientes marinhos. Além de ocorrer a exposição de grandes áreas continentais que estavam cobertas por gelo no intervalo pós-glaciação, tornando-as sujeitas à erosão, aumentando conseqüentemente, a taxa de lixiviação do fósforo transportado para águas marinhas (SANCHES, 2012).

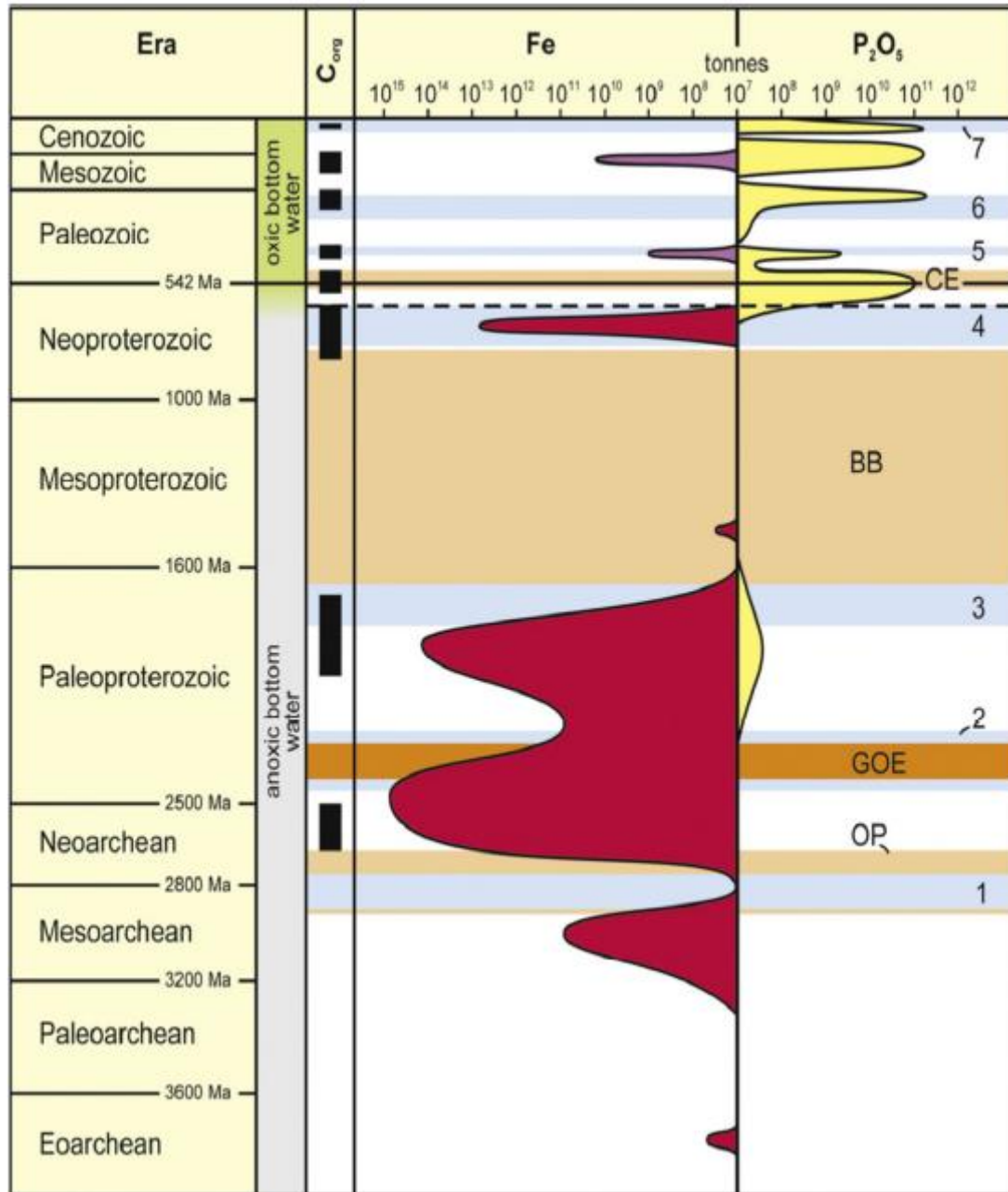
Outro fator digno de nota está relacionado à ampla distribuição temporal e o registro síncrono do Paleoproterozoico ao Fanerozoico de sedimentos químicos ricos em fósforo e ferro sugerindo mudanças químicas dos oceanos ligadas a glaciações e/ou evolução dos processos tectônicos (Figura 4), que influenciaram a sedimentação e, conseqüentemente, o ciclo biogeoquímico de Fe, P e C (PUFAHL E HIATT, 2012).

Acredita-se que a oxigenação do oceano durante o GOE, com contribuições diretas ou indiretas de bactérias anaeróbicas, teria sido responsável pela deposição simultânea de formações ferríferas e fosforitos durante o Paleoproterozoico. Ao passo que, durante o Neoproterozoico, essa deposição (Fe e Fosforitos) teria ocorrido devido a duas das mais rigorosas glaciações da história da Terra, no Criogeniano que ocorreu em 710 Ma, e no Marinoano terminando em 635 Ma. Além de uma glaciação posterior, a Gaskier, ocorrida a aproximadamente 580 Ma atrás (HOFFMANN *et al.*, 2004; CONDON *et al.*, 2005 *apud* SANCHES, 2007) (Figura 4).

Na América do Sul, os diamictitos glaciogênicos e fácies associadas ocorrem em duas posições estratigráficas nas sequências Neoproterozóicas correspondentes ao Sturtiano e Marinoano (ou Varanger), e são superpostos por carbonatos de capa (KENNEDY, 1996; KAUFMAN *et al.*, 1997; HOFFMAN *et al.*, 1998 *apud* SANCHES, 2007) e sucessões de fácies de ambiente marinho raso misturados. A associação de sedimentos glaciais, fosforitos e a ocorrência de formações ferríferas têm colaborado na correlação dos eventos glaciais de altitude e do Ediacarano (Gonzaga, 2001), a exemplo dos fosforitos que ocorrem na Faixa Brasília, associados a rochas da Formação Samburá e da base do Grupo Vazante em Minas Gerais.

No Brasil, unidades correspondentes às glaciações Sturtianas (idades variando entre 804 e 650 Ma.) possuem várias denominações: Bebedouro, Jequitaí, Carrancas e Macaúbas (base dos Grupos Bambuí e Una/ Bacias do São Francisco, Irecê, Una-Utinga); Santo Antônio do Bonito (base do Grupo Vazante); Panelinha e Salobro (base do Grupo Rio Pardo).

Figura 4: Distribuição temporal da formação de ferro (vermelha), ironstone (roxo), fosforito (amarelo) e folhelho negro (preto). Com base na idade do depósito, estimativa de recursos e cronologia de eventos da Terra, em Glenn *et al.* (1994), Kholodov & Butuzova (2004), Condie *et al.* (2001), Klein (2005), Reddy & Evans (2009), e Becker *et al.* (2010). Eventos: OP = aparecimento da fotossíntese aeróbica; GOE = Grande Evento de Oxidação; BB = Boring billion; CE = Explosão Cambriana. Glaciações: 1 = Mesoarqueano; 2 = Huroniano; 3 = Paleoproterozoica; 4 = "Bola de Neve" Neoproterozoico; 5 = Ordoviciano; 6 = Permiano; 7 = Neogene.



Fonte: modificado de Pufahl e Hiatt, 2012.

Misi *et al.* (2011) indicam que, durante o Neoproterozoico, palco de sedimentação de espessas seqüências sedimentares no do Cráton do São Francisco, ocorreram ao menos três intervalos de glaciação, e mostram que os dados de ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr dessas sucessões sedimentares suportam a correlação entre os Grupos Bambuí, Una e Vaza Barris, além da

unidade basal do Grupo Vazante. Afirmam ainda que esses períodos de glaciação foram responsáveis pela deposição de diamictitos nos grupos supracitados.

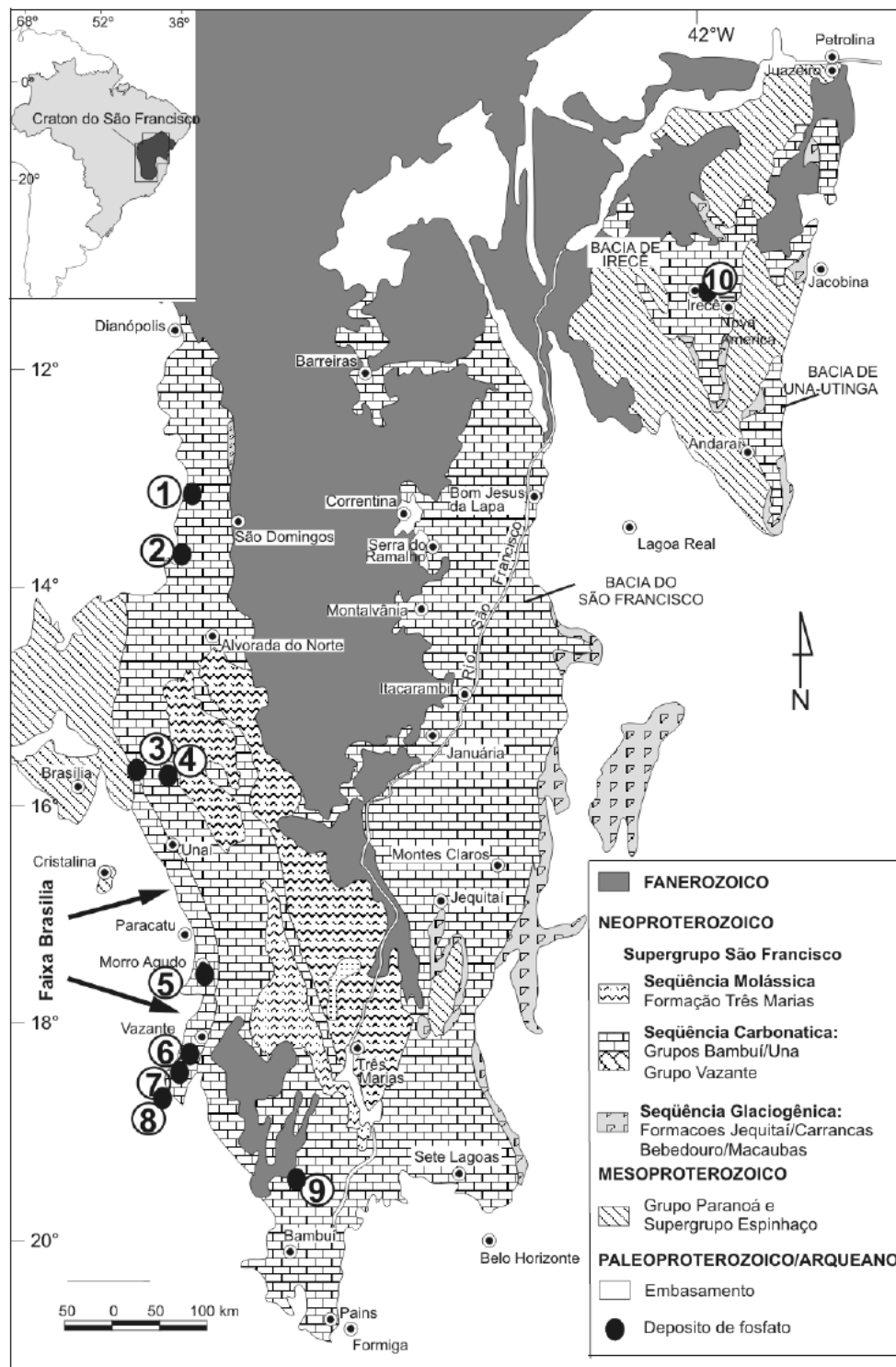
Segundo Cook & Shergold (1986), os eventos de fosfogênese ocorrem após períodos de glaciação, isso acontece devido ao pico de produtividade orgânica na zona fótica, após o período glacial. Nas sequências sedimentares neoproterozoicas que abarcam o Cráton do São Francisco, inúmeras ocorrências de anomalias de fosfato são reportadas, com destaque para as ocorrências fosforíticas do Grupo Bambuí, que apresentam um nítido controle estratigráfico e se sobrepõem aos diamictitos da Formação Jequitaiá.

1.8.4 DEPÓSITOS DE FOSFATO NEOPROTEROZOICO NO CRÁTON DO SÃO FRANCISCO

As ocorrências de fosforitos proterozoicos no Brasil distribuem-se principalmente nos estados de Minas Gerais, Goiás e Bahia (Figura 5). Dardenne *et al.* (1986) assinalaram a existência dos seguintes depósitos, todos associados aos sedimentos carbonáticos atribuídos ao Neoproterozoico do Brasil: Nova Roma, Campos Belo, Monte Alegre e Cabeceiras, no estado de Goiás; Cedro do Abaeté, Rocinha e Lagamar, em Minas Gerais e Irecê-Lapão, na Bahia.

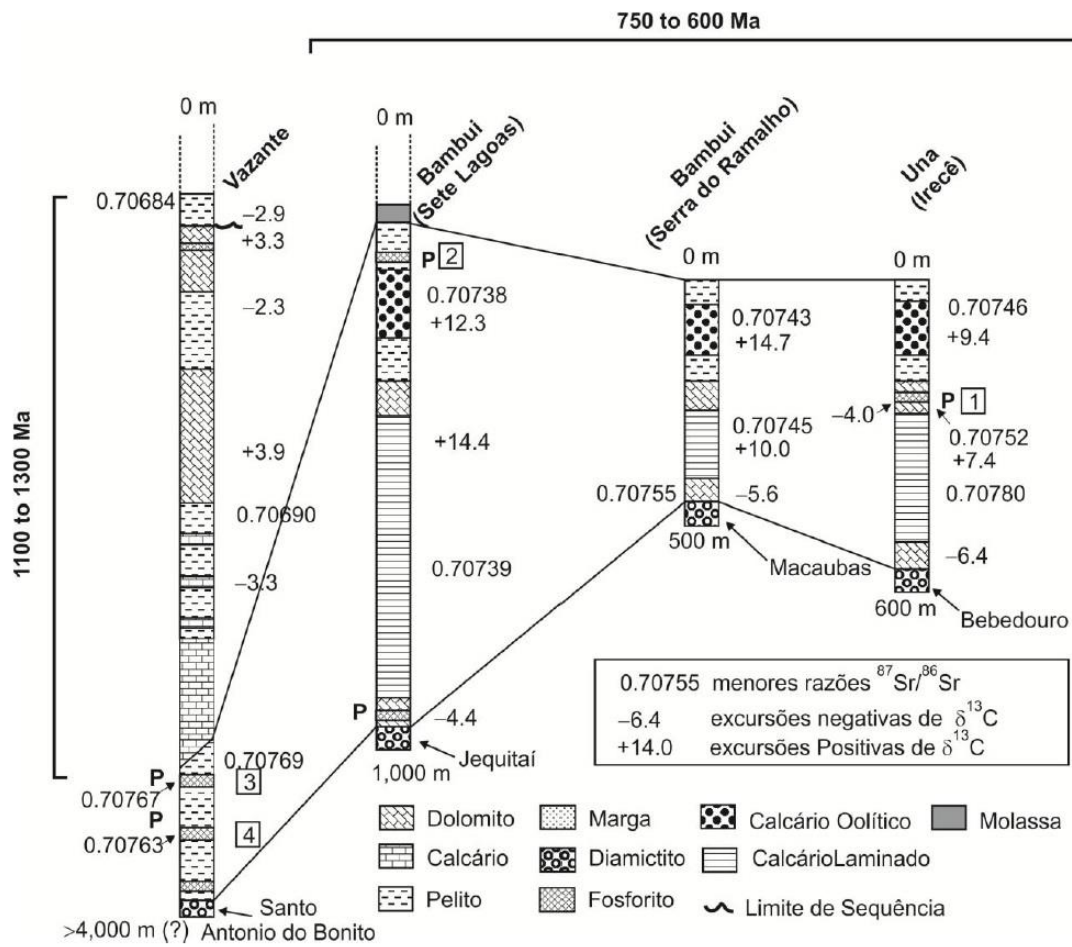
Esses depósitos possuem características semelhantes, e diversas correlações entre os mesmos têm sido propostas, onde seções dos Grupos Vazante (Formação Lagamar), Bambuí e Una são correlacionados de acordo com a litoestratigrafia e posicionamento dos depósitos de Pb, Zn e fósforo, além de correlações isotópicas (Figura 6).

Figura 5: Mapa geológico simplificado do Cráton do São Francisco com as bacias neoproterozoicas e os depósitos de fosfato. 1 - Campos Belo e Monte Alegre, 2 - Nova Roma, 3 - Formosa, 4 - Cabeceiras, 5 - Morro Agudo, 6 - Lagamar, 7 - Rocinha, 8 - Coromandel, 9 - Cadro do Abaeté, 10 - Irecê e América Dourada.



Fonte: Sanches *et al.* (2007)

Figura 6: Correlações estratigráficas, litológicas e isotópicas entre os Grupos Bambuí, Una e Vaza Barris.



Fonte: Modificado de Misi *et al.* (2010).

TEXTO EXPLICATIVO – ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho está estruturado em duas partes. A primeira tem caráter introdutório e fornece um panorama geral da pesquisa. Contém a caracterização do problema abordado, objetivos, desenvolvimento e exequibilidade da pesquisa e, também relata as justificativas para execução do trabalho e fornece informações sobre a localização da área pesquisada.

Além disso, apresenta os métodos empregados para aquisição e tratamento dos dados e uma breve revisão sobre os fundamentos da fosfogênese, mostrando-se também os depósitos conhecidos de fosforito (alguns deles com valor econômico) e os controles estratigráficos.

Os resultados da pesquisa podem ser verificados na segunda parte no formato de um artigo científico a ser submetido para publicação. O artigo trata da contextualização geológica regional e local da área de estudo, com ênfase em uma caracterização litofaciológica de detalhe, realizada por intermédio da análise de dados de campo, além de estudos petrográficos, litogeoquímicos e de isótopos estáveis ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$) com especial foco nos intervalos com anomalias de P_2O_5 , seus controles estratigráficos e possíveis correlações.

Todas as citações bibliográficas e correspondentes referências estão conforme a Norma Técnica NBR 10520 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), à exceção daquelas contidas no corpo do próprio artigo (Cap. 2), que atende as normas preestabelecidas pela Revista Geológica USP.

O presente documento constitui um dos requisitos para obtenção do título de mestre em Geologia e está estruturado em conformidade com o regulamento do Programa de Pós-graduação em Geologia da Universidade Federal da Bahia.

1.9 REFERÊNCIAS

- ALMEIDA F.F.M. O Cráton do São Francisco. 1: Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 7(4): 349-364, 1977.
- BRITO-NEVES B.B., SANTOS E.J., VAN SCHMUS W.R. Tectonic history of the Borborema province. In: Tectonic Evolution of South América. CORDANI, U.G., MILANI, E.J., THOMAZ FILHO, A., CAMPOS, D.A.(Editors). 31st International Geological Congress, 151 – 182 p, 2000.
- BASTOS ABRAM, M. CUNHA B. I, GERHEIM P. C, e CORREIA DE BRITO R. S. Projeto Fosfato Brasil – Parte I . – Salvador: CPRM, 2011.
- COOK P.J. & SHERGOLD J.H. Proterozoic and Cambrian phosphorite: nature and origin. In: P.J. Cook & J.H. Shergold (eds.) Phosphate Deposits of the World. Proterozoic and Cambrian Phosphorites, Cambridge University Press, Cambridge, p. 369-386, 1986.
- D'EL REY SILVA, L. J. H. Basin infilling in the southern-central part of the Sergipano Belt (NE Brazil) and implications for the evolution of Pan-African/Brasiliano cratons and Neoproterozoic sedimentary cover. Journal of South American Earth Sciences, 12, 453–470, 1995.
- D'EL-REY SILVA L. J. H. Basin infilling in the southern-central part of the Sergipano Belt, NE Brazil, and implications for the tectonic evolution of the Pan-African/Brasiliano cratons and Neoproterozoic sedimentary cover. Journal of South American Earth Sciences, 12: 453-470, 1999.
- FÖLLMI K. B. The phosphorus cycle, phosphogenesis and marinephosphate-rich deposits. Earth-Sci. Rev., Amsterdam, v. 40, p. 55-124, 1996.
- GEOLOGIA DA BAHIA: Pesquisa e atualização / Coordenação geral Johildo Salomão Figueirêdo Barbosa. – Salvador: CBPM, 2012. 2v.: il. Color. – (Série publicações especiais; 13).
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA, disponível em:
< <http://downloads.ibge.gov.br/>>. Acesso em 2 de junho de 2016.
- KAWASHITA, K. Rochas carbonáticas neoproterozoicas da América do Sul: idades e inferências quimioestratigráficas. Full professor thesis, University of São Paulo, Brazil, 126, 1998.
- MISI, A., SANCHES A.L., KAUFMAN A.J., VEIZER J., AZMY K., POWIS K. & TEIXEIRA J.B.G. PHOSPHORITES AND THE CHEMOSTRATIGRAPHIC CORRELATION OF THE NEOPROTEROZOIC SEQUENCES OF THE SÃO FRANCISCO CRATON AND THE BRASILIA FOLD BELT. In: III Simpósio sobre o Craton do São Francisco, Salvador (BA), Brazil, Anais, p. 291-294, 2005.
- MISI A., SANCHES A.L., KAUFMAN A.J., VEIZER J., AZMY K., POWIS K. & TEIXEIRA J.B.G. 2006. $\delta^{13}\text{C}$ and $87\text{Sr}/86\text{Sr}$ of phosphorites from the São Francisco craton, Brazil: phosphogenesis and correlations. In: South American Symposium on Isotope Geology, 5, Punta del Este, Uruguay, April 21-24, Short Papers, p. 313-316, 2006.
- MISI A., KAUFMAN A.J., VEIZER J., POWIS K., AZMY K., BOGGIANNI P.C., GAUCHER C., TEIXEIRA J.B.G., SANCHES A.L. & IYER S.S.S. Chemostratigraphic

Correlation of Neoproterozoic Successions in South America. *Chem. Geol.*, 237:161-185, 2007.

MISI A., AZMY K., KAUFMAN A.J., OLIVEIRA T.F., PINHO J.M., SANCHES A.L. Metallogenic and phosphogenic events in the intracratonic and passive-margin proterozoic basins of the São Francisco craton: the bambuí/una and vazante groups. VII SSAGI. Brasília, 2010.

MISI, A.; KAUFMAN, A.J.; AZMY, K.; DARDENNE, M. A.; SIAL, A. N.; DE OLIVEIRA, T. F. Neoproterozoic successions of the São Francisco Craton, Brazil: the Bambuí, Una, Vazante and Vaza Barris/Miaba groups and their glaciogenic deposits. *Geological Society, London, Memoirs*, v.36, p. 509-522, 2011.

NELSON, G. PUFHAL.P, HIATT.E. Paleooceanographic constraints on Precambrian phosphorite accumulation Braga Group, Michigan, USA. *Sedimentary Geology*, vol. 226, p 9-21, 2010.

NOGUTI, I. SANTOS, O. A, SANTOS, A. J, PONTE, C. Projeto Fosfato, Relatório Final (textos e mapas). CBPM – Companhia Baiana de Pesquisa Mineral, 1990.

OLIVEIRA, E.P. Faixa de Dobramentos Sergipana. In: BARBOSA, J.S. (Coord.). *Geologia da Bahia: Pesquisa e atualização*. Bahia. CBPM, V.2, p. 179-198, 2012.

SANCHES, A. L., MISI, A., KAUFMAN, A. J. & AZMY, K. As sucessões carbonáticas neoproterozoicas do Cráton do São Francisco e os depósitos de fosfato: correlações e fosfogênese, *Revista Brasileira de Geociências*, 37, 1034–1046, 2007.

SIAL, A.N., FERREIRA, V. P., ALMEIDA, A. R., ROMANO, A.W., PARENTE, C., DA COSTA, M. L. & SANTOS, V. H. CARBON isotope fluctuations in Precambrian carbonate sequences of several localities in Brazil. *Anais Academia Brasileira de Ciências*, 72, 540–557, 2000.

SIAL, A. N., FERREIRA, V. P., MOURA, C. V. A. & SANTOS, V. H. C-, O- and Sr-isotope stratigraphy of the Sturtian Jacoca and Olho D'Água Formations, state of Sergipe, Northeastern Brazil. Short papers. IV South American Symposium on Isotope Geology. Salvador, Bahia, 394–397, 2003.

SIAL, A. N., FERREIRA, V. P. Two Neoproterozoic cap carbonates in the states of Sergipe and Bahia, Northeastern Brazil: C- and Sr-isotopes and mercury as paleoclimatic tracer. X Congresso NEOPROTEROZOIC SUCCESSIONS OF THE SÃO FRANCISCO CRATON 521 Brasileiro de Geoquímica e II Simpósio de Geoquímica de Países do Mercosul, Porto de Galinhas. Short paper CD-ROM. 2005.

SIAL, A. N., FERREIRA, V. P. ET AL. Chemostratigraphy of two Neoproterozoic cap carbonates from the Sergipano belt (northeastern Brazil). Short Papers, V South American Symposium on Isotope Geology (V SSAGI). Punta del Este, Uruguay, 314–317, 2006 a.

SIAL, A.N., FERREIRA, V. P. C- and Sr-isotopes and mercury as paleoclimatic tracer in two Neoproterozoic cap carbonates in northeastern Brazil. Snowball Earth Conference. Ascona, Suíça, 100–101, 2006 b.

SIAL, A. N., DARDENNE, M. A. The São Francisco Paleocontinent. In: *Neoproterozoic-Cambrian Tectonics, Global Change and Evolution: A Focus on Southwestern Gondwana*. *Developments in Precambrian Geology*, 16, 31–69, 2009.

SILVA FILHO M. A., BOMFIM L. F. C., SANTOS R. A., LEAL R. A., SANTANA A. C., BRAZ FILHO P. A. Geologia do Geossinclinal Sergipana e do seu embasamento. Alagoas, Sergipe e Bahia. Brasília, MME/DNPM, 131 p. 1 mapa, col. Escala 1:500.000 (Projeto Baixo São Francisco/Vaza Barris), 1979.

UHLEIN, A.; CAXITO, F.A.; SANGLARD, J. C. D.; UHLEIN, G. J.; SUCKAU, G. L. Estratigrafia e tectônica das faixas neoproterozoicas da porção norte do Cráton do São Francisco. GEONOMOS, 19 (2): 8-31, (2011).

ANOMALIAS DE FOSFATO SEDIMENTAR NA FAIXA DE DOBRAMENTOS SERGIPANA, GRUPO VAZA-BARRIS/MIABA (NEOPROTEROZOICO), NE DO ESTADO DA BAHIA, BRASIL: CONTROLES ESTRATIGRÁFICOS E CORRELAÇÕES

Edmar da Silva Santos

Aroldo Misi

José Haroldo da Silva Sá

Alcides Nóbrega Sial

Pedro Maciel de Paula Garcia

Sr. Edmar da Silva Santos

Agradecemos a submissão do trabalho "ANOMALIAS DE FOSFATO SEDIMENTAR NOS GRUPOS VAZA-BARRIS/MIABA, FAIXA DE DOBRAMENTOS NEOPROTEROZOIICOS SERGIPANA, NE DA BAHIA, BRASIL: CONTROLES ESTRATIGRÁFICOS E CORRELAÇÕES" para a revista Geologia USP. Série Científica.

Acompanhe o progresso da sua submissão por meio da interface de administração do sistema, disponível em:

URL da submissão:

<https://www.revistas.usp.br/guspsc/authorDashboard/submission/153075>

Login: 270812

Em caso de dúvidas, entre em contato via e-mail.

Agradecemos mais uma vez considerar nossa revista como meio de compartilhar seu trabalho.

Daniel Machado
Geologia USP. Série Científica

ANOMALIAS DE FOSFATO SEDIMENTAR NOS GRUPOS VAZA-BARRIS/MIABA, FAIXA DE DOBRAMENTOS NEOPROTEROZOIÓICOS SERGIPANA, NE DA BAHIA, BRASIL: CONTROLES ESTRATIGRÁFICOS E CORRELAÇÕES

SEDIMENTARY PHOSPHATE ANOMALIES IN THE NEOPROTEROZOIC VAZA-BARRIS/MIABA GROUPS, SERGIPANO BELT, NORTHEASTERN BAHIA, BRAZIL: STRATIGRAPHIC CONTROLS AND CORRELATIONS

Título Curto: GRUPOS VAZA-BARRIS/MIABA: OCORRÊNCIAS DE FOSFATO SEDIMENTAR.

Edmar da Silva Santos

Universidade Federal da Bahia – Bahia – Brasil

Endereço: Rua Barão de Jeremoabo, s/n, Campus Universitário de Ondina. CEP: 40170-020.

Salvador – Bahia. E-mail: edm.geo@gmail.com

Telefone: (71) 91029923

Aroldo Misi

Grupo de Metalogênese, Centro de Pesquisa em Geofísica e Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia

Endereço: Rua Barão de Jeremoabo, s/n, Campus Universitário de Ondina. CEP: 40170-020.

Salvador – Bahia. E-mail: misi@ufba.br

José Haroldo da Silva Sá

Grupo de Metalogênese, Centro de Pesquisa em Geofísica e Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia

Endereço: Rua Barão de Jeremoabo, s/n, Campus Universitário de Ondina. CEP: 40170-020.

Salvador – Bahia. E-mail: haroldo.sa@gmail.com

Alcides Nobrega Sial

NEG-LABISE, Departamento de Geologia, Universidade Federal de Pernambuco, C.P. 7852, Recife, PE 50670-000, Brasil. e-mail: sial@ufpe.br

Pedro Maciel de Paula Garcia, PhD

Associate Professor - Economic Geology & Geochemistry Faculdade de Geociências (FAGEO/UFMT) Room 128, Tel.: +55 (65) 3615-8969

Universidade Federal de Mato Grosso, Av. Fernando Corrêa da Costa, 2367, Boa Esperança Cuiabá (Mato Grosso, Brazil), CEP 78060-900

Alternative e-mails: pedrogarcia@ufmt.br

Número de Palavras: 7673

Número de Figuras: 20

Total de Tabela: 2

RESUMO

As sucessões neoproterozoicas do Cráton do São Francisco são constituídas por sedimentações carbonática e siliciclástica, depositadas em bacias marinhas intracratônicas e de margem passiva nas bordas da zona cratônica, a exemplo das sequências sedimentares ocorrem na região nordeste da Bahia, nos domínios Estância e do Grupo Vaza-Barris/Miaba. O domínio Estância é composto pelas formações Jutuê e Acauã, ao passo que o Grupo Vaza Barris é composto pelas formações Frei Paulo, Palestina e Olhos D'água, intensamente deformadas e metamorfizadas em baixo grau. Nos domínios do Grupo Vaza-Barris/Miaba foram registradas ocorrências fosfóricas relacionadas à sequências carbonáticas sobrepostas a espessos pacotes derivados de sedimentação glaciogênica. Em seções geológicas entre os municípios de Euclides da Cunha e Uauá, nordeste da Bahia, foram identificadas anomalias de fosfato sobrepostas a diamictitos da Formação Palestina, nas porções basais das Formações Olhos D'Água, associadas a dolarenitos com estratificações cruzadas e razões de $\delta^{13}\text{C}$ variando de -3.8 a -5.8‰ VPDB, além da identificação de carbonato fluorapatita nas imediações da Serra da Gruta, Patamuté, onde foram obtidos valores de P_2O_5 , de 1,76 % e 5,56%). Foram observadas também anomalias menores na porção basal da Formação Jacoca, associadas a dololitos e dolarenitos com textura oolítica, sobrepostos aos diamictitos da Formação Ribeirópolis. Neste intervalo, $\delta^{13}\text{C}$ varia de -3.6 a -8.1 VPDB. O controle estratigráfico, disposição dos litotipos e a posição das anomalias de fosfato nas seções estudadas apresentam semelhança à ocorrências de fosfato economicamente exploradas em outras bacias de idade Neoproterozoica no Cráton do São Francisco e faixas marginais.

Palavras-Chave: Fosfato, Neoproterozoico, Grupo Vaza-Barris/Miaba, Correlações

ABSTRACT

The Neoproterozoic sequences of the São Francisco Craton are composed of carbonaceous and siliciclastic sediments deposited in intracratonic and passive margin basins on the borders of the cratonic zone, such as the sedimentary sequences occurring in the northeastern Bahia, in the Estancia and Vaza-Barris / Miaba Domains. The Estancia Domain is composed of the Jutuê and Acauã formations, while the Vaza Barris Group is composed of the Frei Paulo, Palestina and Olhos D'Água formations, intensely deformed and metamorphosed in a low degree. In the domains of the Vaza-Barris / Miaba Group, occurrences of phosphoric anomalies related to carbonaceous sequences superimposed on thick packages from glaciogenic sedimentation were recorded. In detailed geological sections between the municipalities of Euclides da Cunha and Uauá, northeastern Bahia, phosphate anomalies were identified overlying diamictites of the Palestina Formation, in the basal portions of the Olhos D'Água Formation, associated with doloarenites with crossed stratification by waves and $\delta^{13}\text{C}$ ratios varying from -3.75 to -5.79 ‰_{VPDB}, in addition to the identification of carbonate in the vicinity of the Patamuté, where P₂O₅ values of 1.76% and 5.56% have been detected. Minor anomalies in the basal portion of the Jacoca Formation, associated to dololutes and doloarenites with oolitic texture, superimposed on the diamictites of the Ribeirópolis Formation have been also observed. In this range, $\delta^{13}\text{C}$ varies from -3.6 to -8.1 ‰_{VPDB}. The stratigraphic control, arrangement of lithotypes and position of the phosphate anomalies present similarities to economically exploited phosphate occurrences in other Neoproterozoic basins in the São Francisco Craton and their surrounding belts.

Keywords: Phosphorite, Neoproterozoic, Vaza-Barris/Miaba Group, Correlations

1. INTRODUÇÃO

A extensiva sedimentação Neoproterozoica que recobriu o Cráton do São Francisco ocorre simultaneamente na região cratônica estável (bacias intracontinentais e epicontinentais) e nas bordas (bacias de margem passiva). Eventos relacionados à evolução dessas bacias (incluindo eventos fosfogenéticos) são representados em ambos os megadomínios, incluindo as zonas de transição entre eles.

De fato, possíveis correlações entre os grupos Una e Bambuí (bacias intracratônicas) com os grupos Vaza-Barris/Miaba (bacias de margem passiva e transicional da Faixa de dobramentos Sergipana) foram preliminarmente propostas por D'El Rey-Silva (1999), porém não foram demonstradas correlações estratigráficas precisas entre as sequências estratigráficas observadas nos diferentes domínios. Posteriormente, Misi *et al.* (2007), Misi *et al.* (2011), Sial *et al.* (2010) e Sial *et al.* (2016), demonstraram a validade dessa proposta, essencialmente baseada em dados de quimioestratigrafia de alta resolução ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$ e $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) e que será discutida em seguida.

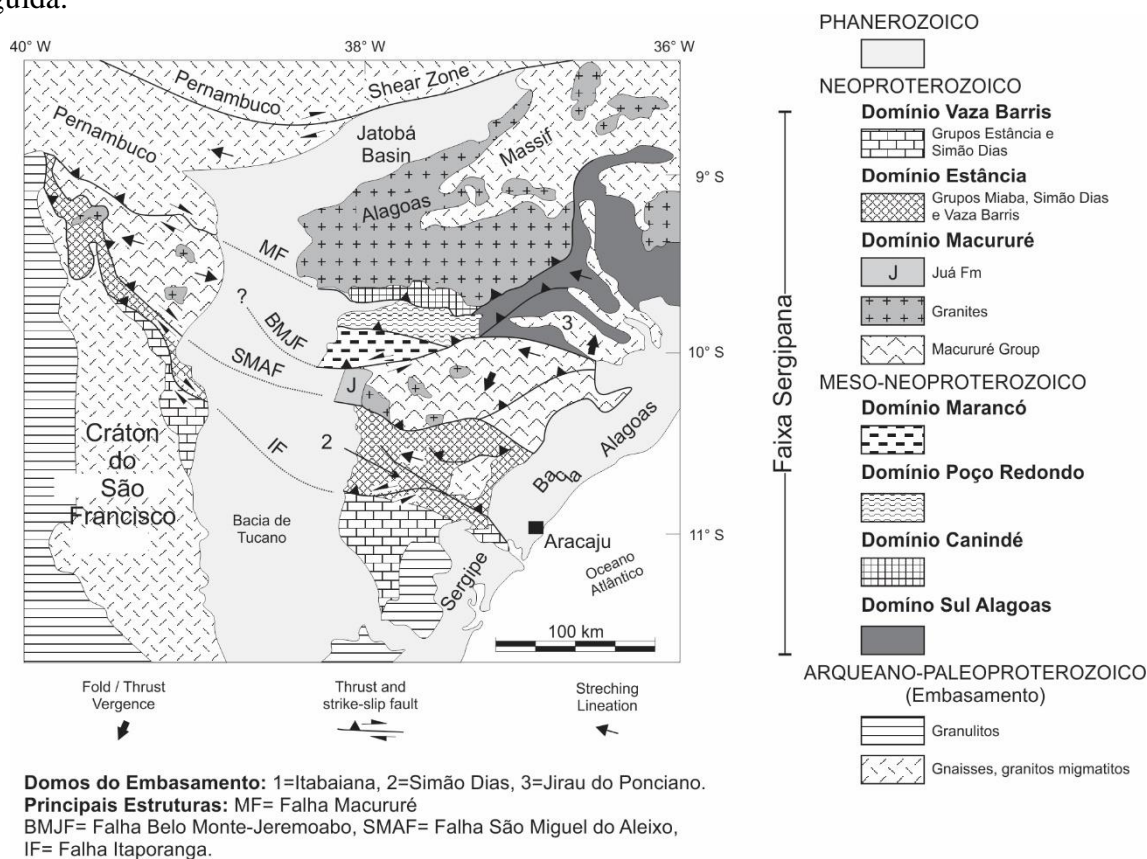


Figura 1: Mapa geológico simplificado da Faixa Sergipana. Fonte: modificado de D'El Rey-Silva (1999).

No que diz respeito à mineralização de fosfato nessas sequências, existem apenas dois registros na literatura, tendo Sá *et al.* (1990) reportaram anomalias de P_2O_5 variando de 9,3 e 12,6% em quatro amostras de dolomito derivadas da Serra da Gruta, localizada nas imediações de Patamuté, e referiram-se a dolomitos “algais” como rochas hospedeiras da mineralização. Bahiense (2011) registrou também anomalias (1 a 6% P_2O_5) de dois litotipos, dos quais um em calcissilito laminado da Formação Acauã e o outro, em rocha carbonática no Rio Patamuté. Nessas pesquisas, não há informação sobre a posição estratigráfica das anomalias nem a correlação entre os depósitos econômicos das bacias intracratônicas.

Nesse artigo serão apresentados novos dados com base em descrições detalhadas em seis colunas estratigráficas, distribuídas ao longo de 140 km de extensão, em afloramentos dos grupos Vaza-Barris/Miaba na Bahia (Figura 1), onde anomalias de fosfato e/ou mineralizações ocorrem. Também serão discutidos controles estratigráficos das anomalias de fosfato, bem como correlações com outras sequências intracratônicas Neoproterozoicas, onde existem depósitos econômicos de fosfato.

2. GEOLOGIA REGIONAL

A Faixa Sergipana resulta da evolução de sedimentações em margem passiva, afetadas pela colisão ente os Blocos Pernambuco-Alagoas, a norte, com o Cráton do São Francisco (Oliveira *et al.* 2010) (Fig. 1). A divisão dos domínios, originalmente proposta por D'El Rey-Silva (1999) para esse cinturão orogênico ainda é bem aceita, a despeito de controvérsias relacionadas à evolução geotectônica, conforme indicado por Oliveira *et al.* (2010).

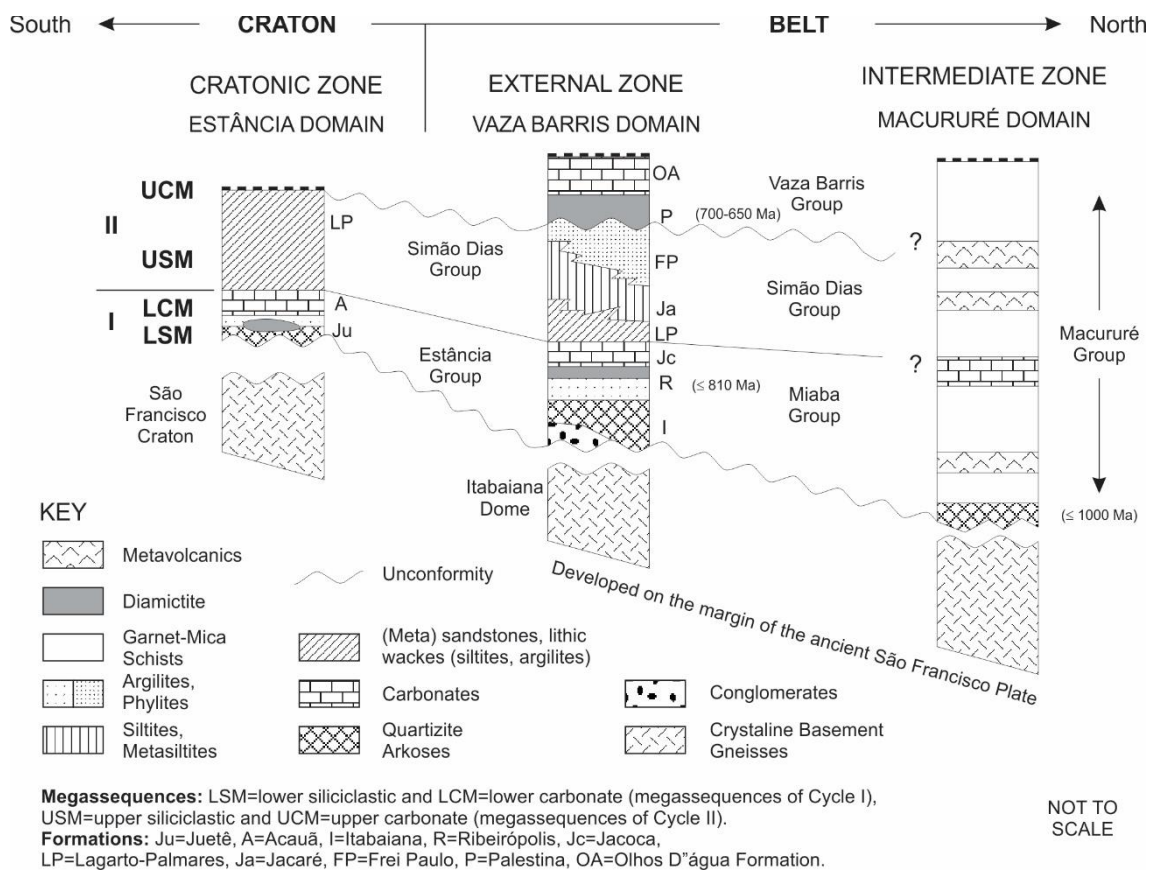


Figura 2: Distribuição lateral dos Domínios Vaza-Barris/Miaba. Fonte: Misi *et al.* (2011).

A faixa Sergipana foi dividida por D'el Rey-Silva (1999) em três domínios: Estância (cratônico), Vaza-Barris (cinturão de dobramentos, zona exterior) e Macururé (cinturão de dobramentos, zona intermediária). A Figura 1 mostra o mapa geológico com a localização dos três domínios e a Figura 2, a distribuição lateral dos domínios, com a possível correlação estratigráfica entre eles. O autor descreve dois ciclos sedimentares nesses domínios: (i) Ciclo 1, representado pela megassequência silissiclástica: diamictitos glaciogênicos na seção basal (Formações Jutuê, Itabaiana e Ribeirópolis) e acima, megassequências carbonáticas (Formações Jacoca e Acauã); (ii)

Ciclo 2, com siliciclastos (base), incluindo siltitos e filitos (Grupo Simão Dias: Formação Frei Paulo), intercalados com um segundo nível de diamictitos glaciogênicos (Formação Palestina), com carbonatos da Formação Olhos D'Água acima. Correlações entre essas sequências em diferentes domínios do Cráton são propostas, visto que existe uma forte similaridade de litofácies, que sempre ocorrem na mesma posição estratigráfica.

Uma das dificuldades para o melhor entendimento da relação entre as sequências estratigráficas nos diferentes domínios da Faixa Sergipana está relacionada ao intenso tectonismo orogenético tardio, com falhas de empurrão e dobramentos isoclinais (Fig. 3) que mascaram o posicionamento original das sucessões estratigráficas (em adição, é claro, da eventual variação lateral de fácies). Outro fator é a proliferação de nomes dados a uma mesma formação.

No que diz respeito aos dados geocronológicos, Misi et al. (2011) reportam que a despeito da ausência de determinações geocronológicas absolutas em sucessões carbonáticas na plataforma do Cráton do São Francisco, há uma tendência de considerar os Grupos Una e Bambuí como do Criogeniano médio. Razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ variando de 0.7074 a 0.7077 e S (derivadas de barita estratiforme) com razões médias de c. +30 per mil CDT no Grupo Uma, indicam que a sedimentação provavelmente ocorreu entre c. 780 Ma e 600 Ma (Misi & Veizer 1998; Misi et al. (1999).

Além disso, Babinski & Kaufman (2003) e Babinski et al. (2007) determinaram novas idades (Pb/Pb) em carbonatos derivadas de cimento do assoalho oceânico pós-glacial na Formação Sete Lagoas, do Grupo Bambuí em Sete Lagoas (MG), sugerindo uma idade de deposição de 740 ± 22 Ma ($\text{MSDW} \pm 0.66$). Notavelmente idades próximas (730 Ma, U–Pb em zircão) foram obtidas por Brito Neves (comunicação pessoal.) em tufo ácido intercalados em diamictitos da Formação Ribeirópolis do Grupo Vaza-Barris, na Faixa Sergipana. De acordo com D'el Rey Silva (1999), a sedimentação na faixa Sergipana ocorreu entre 1.0 Ga (U-Pb em zircão metavulcânico, Brito Neves et al. 1993) até possivelmente 0.65 Ga.

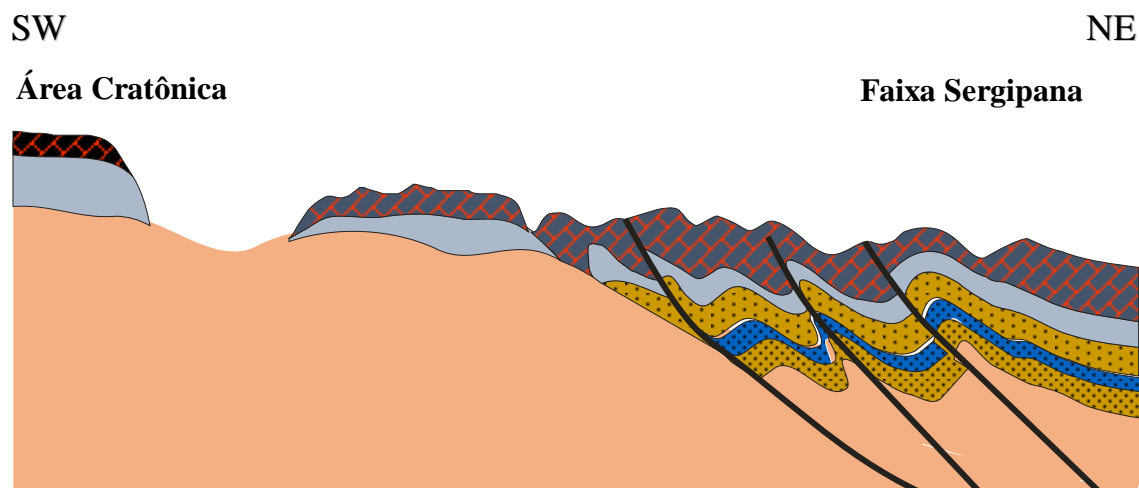


Figura 3. Seção geológica esquemática regional da Faixa Sergipana. Fonte: modificado de D'El Rey-Silva (1999).

Estudos quimioestratigráficos na Faixa Sergipana foram conduzidos principalmente por pesquisadores da Universidade Federal de Pernambuco, Brasil (Sial *et al.*, 2000; Sial *et al.*, 2006 e Sial *et al.*, 2010). As análises de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$, assim como as de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ em carbonatos ao longo de perfis estratigráficos completos principalmente no estado de Sergipe, permitiram não somente interpretar a evolução deposicional mais precisamente, mas também estabelecer relevantes correlações entre as diferentes sucessões (Misi *et al.*, 2007; Misi *et al.*, 2011; Misi *et al.*, 2014; Sial *et al.*, 2010; Sial *et al.*, 2016, entre outros). A Figura 4 mostra o perfil quimioestratigráfico do Grupo Vaza Barris/Miaba no estado de Sergipe, realizada por Sial *et al.* (2010), baseada na estratigrafia proposta por D'El Rey-Silva e McClay (1995) e modificada por Oliveira *et al.* (2010).

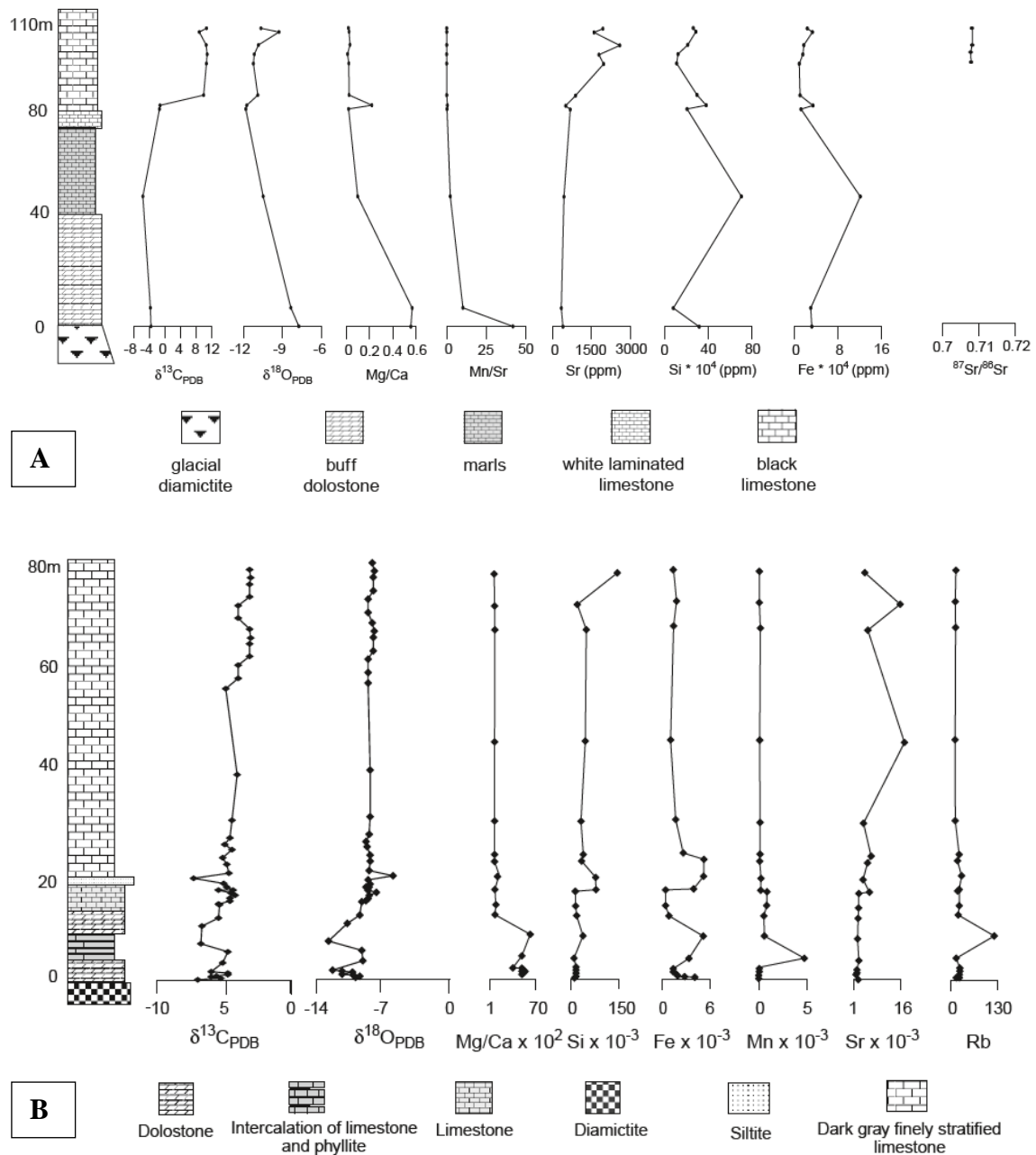
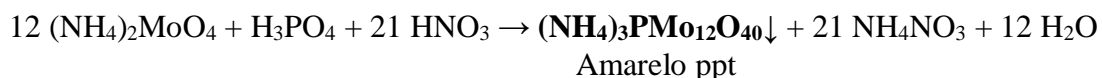


Figura 4: Perfil quimioestratigráfico do Grupo Vaza Barris/Miaba no estado de Sergipe. A – Formação Olhos D'Água na Serra do Capitão. B – Carbonatos da Formação Jacoca nas imediações da Faz. Capitão. Fonte> Sial *et al.* (2010).

3. METODOS

Estudos geológicos de detalhes foram conduzidos em seis perfis estratigráficos ao longo de aproximadamente 140 km, entre Euclides da Cunha e Patamutê. Nesses perfis, existem afloramentos bem preservados do Grupo Vaza-Barris/Miaba, dos quais as litofácies, estruturas sedimentares e aspectos estratigráficos locais foram descritos e fotografados. Nos intervalos estratigráficos apropriados, foram testadas a presença de fosfato em amostras de rocha bem preservadas usando molibdato de amônia. Quando presente, a reação em solução ácida mostrava uma característica coloração amarela, resultado da precipitação de *-fosfo-molibdato de amônio*:



Amostras coletadas foram analisadas por fluorescência de raios X e ICP para a determinação de elementos maiores e traços, respectivamente. Essas análises foram realizadas nos laboratórios da SGS-GEOSOL.

As determinações através de difratometria de raios-X foram realizadas no Laboratório de Tecnologia Mineral - Raios-X / LAPAG no Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia, por intermédio de um difratômetro D2 PHASER (BRUKER). A preparação das amostras consistiu na moagem prévia e prensagem em lâmina apropriada sendo para as amostras analisadas definidos os seguintes parâmetros analíticos: 2θ : 5 ° a 70°; Incremento: 0,014; 15RPM; Voltagem 30KV; Corrente: 10mA; Time: 0,35s; Faca: 1 mm.

As novas análises isotópicas de C e O plotadas nas colunas quimioestratigráficas foram realizadas no Laboratório de Isótopos Estáveis (LABISE) da Universidade Federal de Pernambuco, Recife. A extração de CO₂ dos carbonatos foi feita por meio do método convencional, onde a amostra reagiu com ácido ortofosforico por 12h a 25°C (três dias caso a dolomita estivesse presente), seguido por uma limpeza criogênica e a seguir pela análise espectrométrica no espectrômetro de massa Thermofinnigan Delta V Advantage.

4. SEQUÊNCIAS ESTRATIGRÁFICAS E OCORRÊNCIAS DE FOSFATO

A área estudada está incluída nos domínios do Grupo Vaza-Barris/Miaba, onde ocorrem litofácies das formações Juetê/Ribeiropolis, Acauã/Jacoca, Simão Dias, Palestina e Olhos D'Água (Figura 5). Essas formações representam Sucessões glaciogênicas e marinhas.

Ocorreram dois ciclos sedimentares bem representados nos siliciclastos e sequências carbonáticas dos seis perfis estudados. O primeiro ciclo é representado pela sequência glaciogênica da Formação Ribeiropolis, superposto por uma sequência de água marinha rasa, Formação Jacoca. O segundo ciclo é representado por siliciclastos da megassequência do Grupo Simão Dias, recoberto por diamictitos glaciogênicos da Formação Palestina, esta, superposta pela megassequência de água rasa a intermediária que compõe a Formação Olhos D'Água.

O pacote sedimentar foi afetado em graus variáveis de deformação, com maior intensidade de superposição de dobramentos a noroeste. O grau de metamorfismo varia da mesma maneira, inicialmente baixo ou incipiente no Sul, porém, podendo chegar a grau anfíbolito na porção extremo norte da área estudada (Fig. 5). Os contatos das unidades estratigráficas são marcados por zonas de cisalhamento transpressionais, com altos ângulos e vergência para SO. A seguir, serão descritas as litofácies observadas nas seis colunas ou seções estratigráficas indicadas na Figura 3. Anomalias de fosfato e/ou

mineralizações foram observadas em quatro dessas colunas e estão plotadas na posição estratigráfica em que ocorrem. Em amostras coletadas ao longo desses perfis, foram realizadas análises quantitativas para a composição de elementos maiores e traço (Tabela 2), e em algumas das amostras foram analisadas as razões de isótopos estáveis, $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$ (Tabela 1), e para a identificação de possíveis minerais de fosfato, foram realizadas análises de difratometria de raios-X.

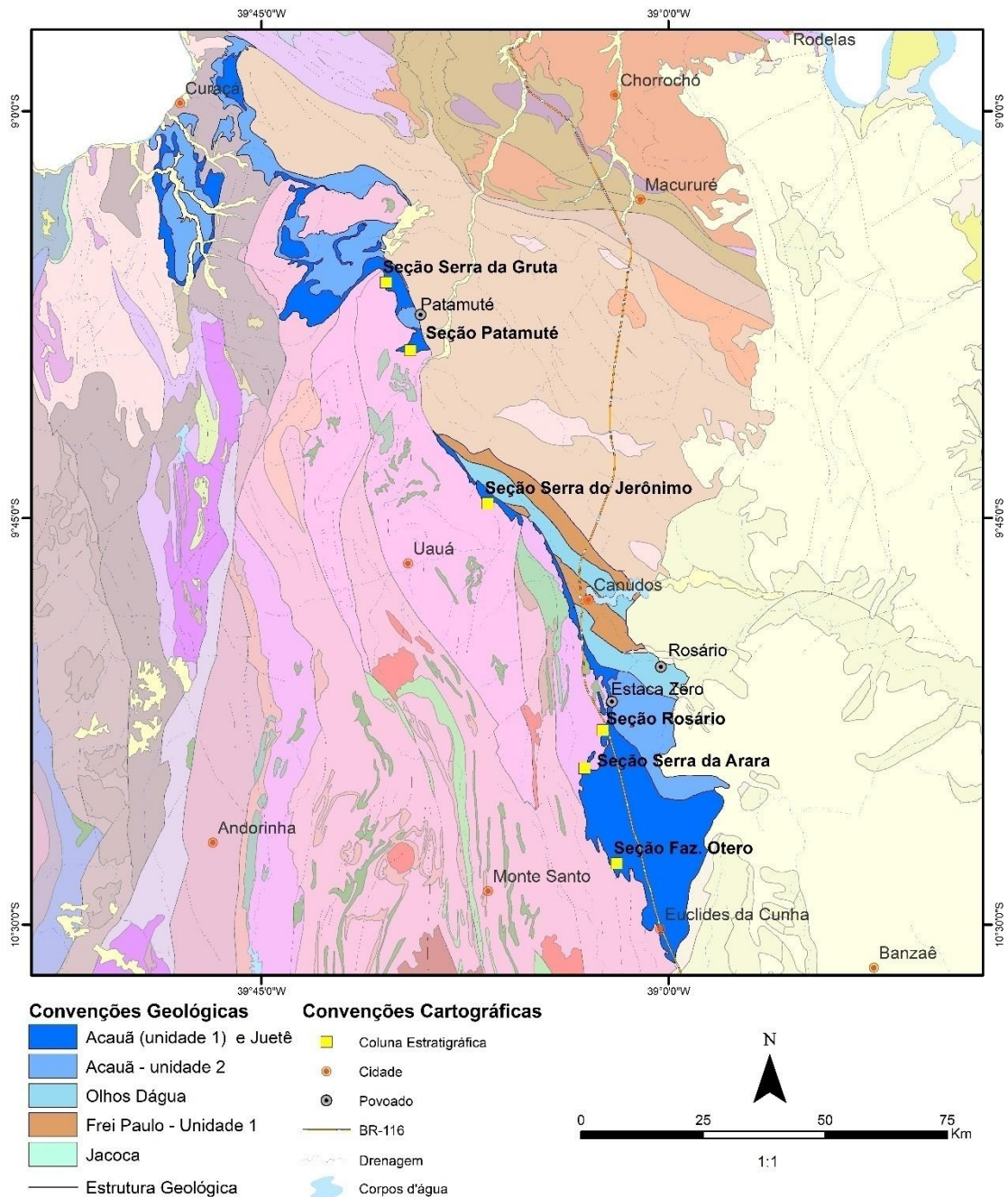


Figura 5: Mapa geológico regional com destaque para os domínios geológicos dos Grupos Vaza-Barris/Miaba. Fonte: SRH – Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Habitação.

5. SEÇÕES ESTRATIGRÁFICAS

5.1 Serra da Gruta

Esta seção está localizada na porção noroeste da área de estudo (Figura 5), a aproximadamente 60 km da cidade de Uauá e é caracterizada por uma elevação sustentada por rochas carbonáticas, com aproximadamente 85 m em relação aos terrenos adjacentes alongada segundo a direção noroeste por aproximadamente 0.8 km.

O pacote sedimentar é intensamente deformado, com dobras isoclinais onde o plano do eixo axial mergulha entre 30° a 40° NE (Fig. 6a). Localmente, foram observadas mais de uma fase de deformação na seção basal, evidenciada por estruturas dobradas com planos de eixo axial verticalizados. Apesar disso, existem afloramentos bem preservados, e foi possível constituir o posicionamento original da sucessão estratigráfica.

A unidade basal recobre gnaiesses e migmatitos de idades Arqueana e Paleoproterozoica do Complexo Uauá por falhas de empurrão. É composta por dolomitos cinza avermelhados (aproximadamente 20 m de espessura) com laminação planoparalela e estratificações cruzadas (Fig. 6b). Em testes realizados com molibdato de amônia em alguns horizontes dessas camadas, foram evidenciadas reações positivas para fosfato (Fig.6c). As amostras desse afloramento (ES-08/C-16) foram submetidas à análise química, na qual foi medido um teor de 1.8% P_2O_5 (Tabela 2). Esta amostra foi ainda analisada em um difratômetro de Raios-X, onde identificou-se a presença de carbonato fluorapatita (Fig.8) A unidade basal é superposta por calcilitos cinza escuros com laminação plano paralela (unidade superior, aproximadamente 60 m de

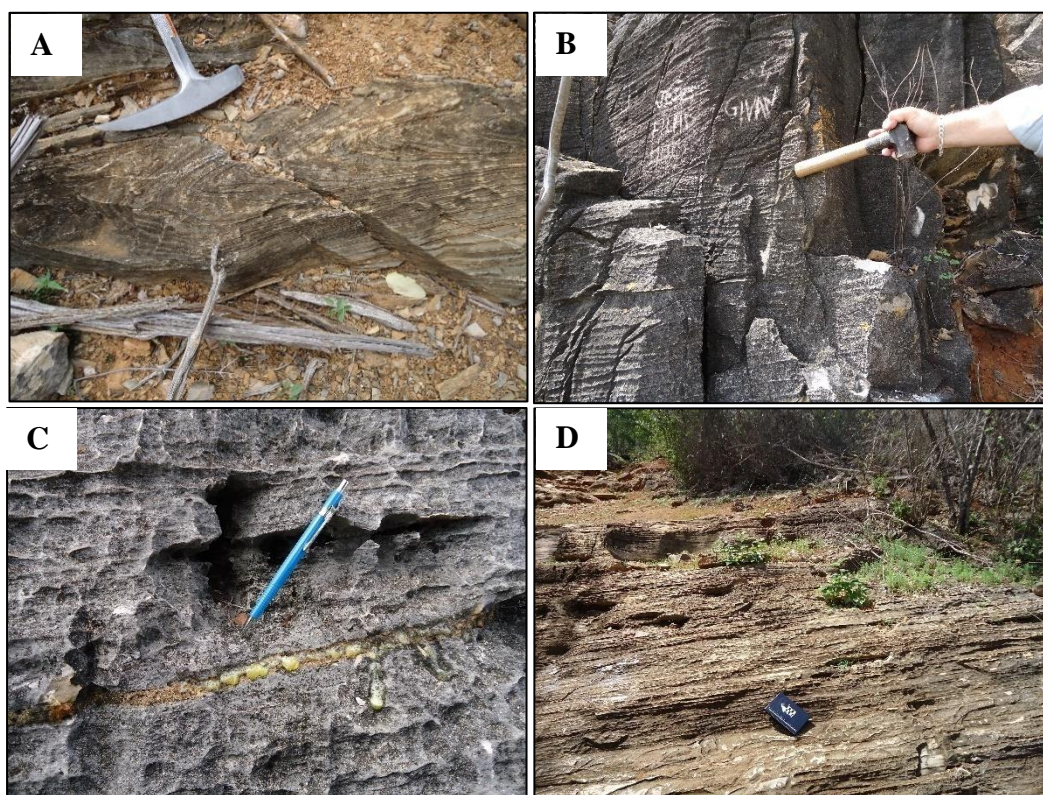


Figura 6: Formação Olhos D'Água nas imediações da Serra da Gruta, Ciclo 2: A- Doloarenito com dobra isoclinal. B- Doloarenito com estratificação cruzada. C - Doloarenito com estratificação cruzada com anomalia de campo (mobilizado de amônia). D - Calcarenitos bandados com acamamento rítmico.

espessura) (Fig.6d).

Quando observados ao microscópio petrográfico, os dolomitos cinza avermelhados apresentam uma estrutura bandada, com coloração marrom avermelhada, compostas por mosaicos de dolomita, sustentados por grãos (Fig. 7a), com pouca a nenhuma micrita entre os grãos que se tocam, tipo *grainstone*. Também ocorrem associados a bandas com coloração marrom clara, com textura francamente peloidal, neomorfisadas, e com granulometria muito fina (silte), tipo *packstone*.

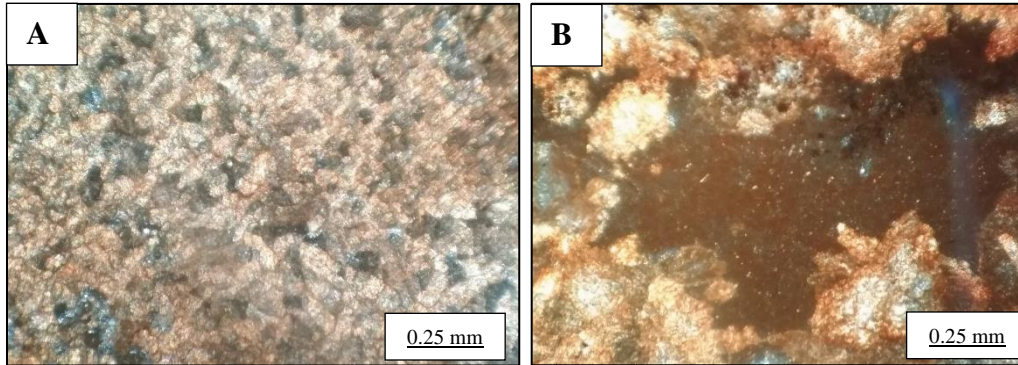


Figura 7: Formação Olhos D'Água, Ciclo 2A - Mosaico de dolomita, Amostra ES-05A. B - Possível ocorrência de fosfato. Amostra ES-05A.

São observados grãos de quartzo disseminados nas amostras, além de manchas de oxidação oriundas da alteração de minerais euédricos a subédricos associadas à camada onde ocorre o mosaico de dolomitas. Nesse intervalo é ainda observado o início de mineralizações de fosfato (Fig.7b).

Análises de isótopos de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) em amostras de doloarenito bem preservadas da unidade basal da seção Serra da Gruta – ES-07A e ES-07B mostraram valores negativos, -3.75 e -3.80 ‰ VPDB, respectivamente (Tabela 1), confirmando os estudos quimioestratigráficos realizados por Sial *et al.* (2000 e 2006).

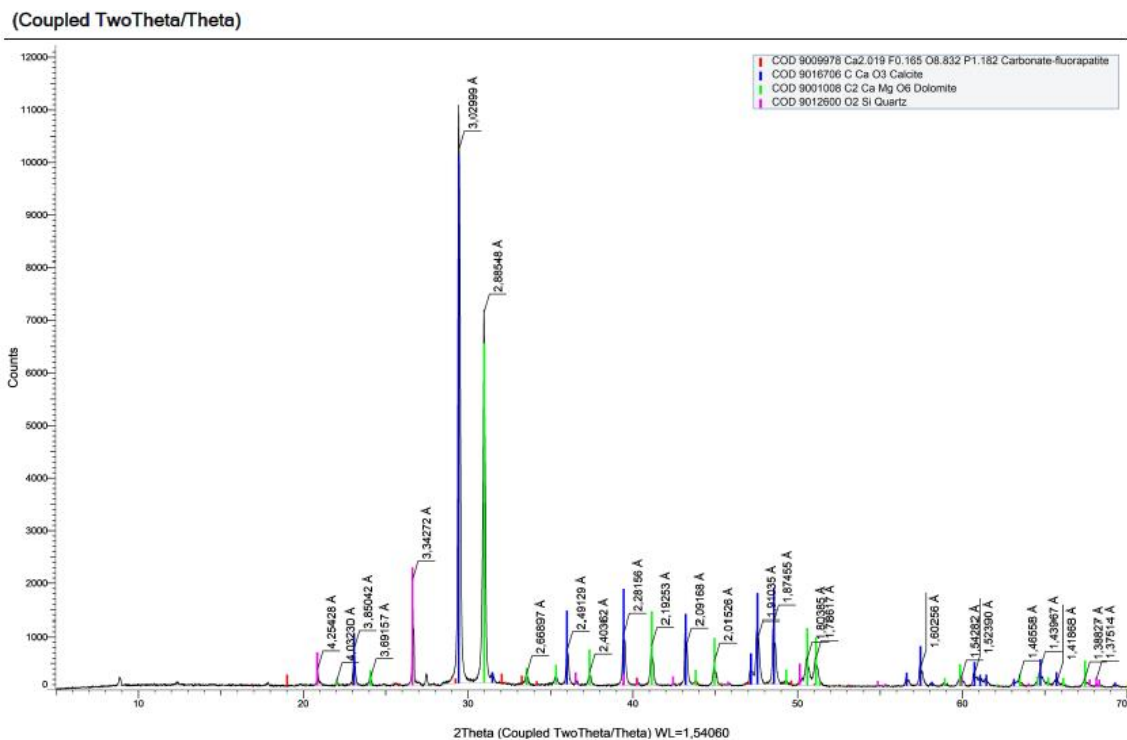


Figura 8: Difratomia de raios-X (ES-08A/C-16) constatando a presença de carbonato fluorapatita associada aos doloarenitos com estratificação cruzada nas imediações da Serra da Gruta.

5.2 Patamuté

Esta seção está localizada a aproximadamente 11 km a sul da Seção Serra da Gruta (Fig. 5). Os afloramentos recobrem uma extensa área de relevo plano, onde o pacote sedimentar é intensamente dobrado, mostrando padrões de dobramento isoclinais com plano axial posicionado em SO-NE, mergulhando 30° para NE. O pacote carbonático recobre gnaisses migmatíticos do Complexo Uauá, evidenciando uma complexa zona de cisalhamento com direção SO-NE e vergência para NE.

O pacote sedimentar possui as mesmas unidades observadas na Seção 1 e a unidade basal é composta predominantemente por doloarenitos calcíticos cinza avermelhados e superposta por calcilitos negros com laminação planoparalela (unidade superior) (Figs. 9a e 9b). Os doloarenitos da unidade basal apresentam valores negativos para as razões $\delta^{13}\text{C}$ que variam entre -5.2 a -5.8‰ VPDB (Tabela 1).

Petrograficamente, os carbonatos desta unidade estão francamente neomorfisados, e exibem textura predominantemente peloidal, tipo *Wackestone*. Foram observados grãos de quartzo subédricos a anédricos, com extinção ondulante, preferencialmente alinhados à matriz carbonática. Raros minerais opacos, euédricos ocorrem disseminados na amostra (Fig. 9c e 9b).

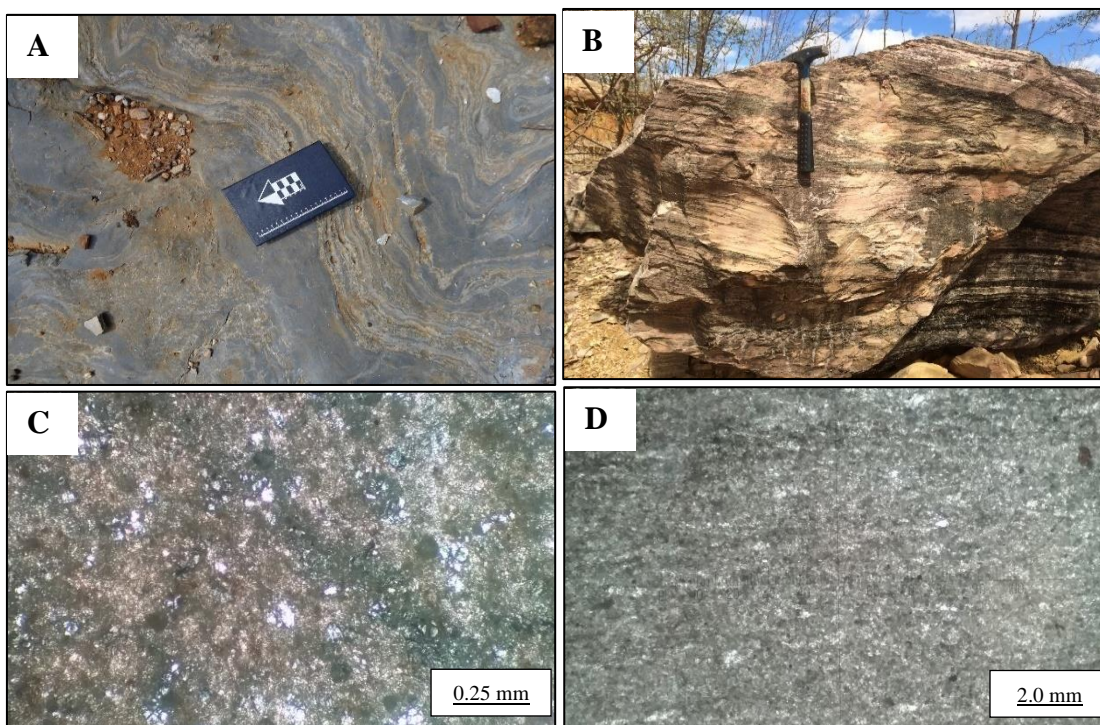


Figura 9: Formação Olhos D'Água, Ciclo 2: A - Calcilitos negros intensamente deformados nas imediações de Patamuté. B - Doloarenito calcítico rosado, com estrutura acamadada. C - Doloarenito calcítico neomorfisado com textura peloidal. D - Calcilitito negro, neomorfisado.

Não foram detectadas anomalias de fosfato nessa seção, porém elas foram reportadas por Sá *et al.* (1990) em quatro amostras na região da Serra da Gruta-Patamuté (P_2O_5 variando de 9.3 até 12.6%).

5.3 Serra Do Jerônimo

Localizada a aproximadamente 20 km a nordeste da cidade de Uauá, apresenta uma geomorfologia similar àquela observada na área da Serra da Gruta (Fig. 5),

alongando-se por aproximadamente 4.5 km NO-SE, com uma altura máxima de aproximadamente 200 m em relação aos terrenos vizinhos, compostos pelo embasamentogranito gnáissico do Complexo Uauá a oeste, e pelos metapelitos do Grupo Macururé a leste.

Da base para o topo, essa seção é composta por um pacote com espessura de aproximadamente 40 m de calcilutito negro acinzentado com estrutura maciça calcissiltitos bandados. São observadas fraturas de sobrepressão de fluídos e silicificação penetrativa intensa e ainda, veios centimétricos de calcita neomórfica. Esta unidade basal é superposta por doloarenito bandado com aproximadamente 20 m de espessura, com estrutura predominantemente bandada, intercalado com níveis de dololutito cinza escuro.

As relações estratigráficas e de ambientes deposicionais para estas litofácies são similares às observadas na seção Serra da Gruta, e podem ser interpretadas como a porção basal da Formação Olhos D'Água. A presença de estratificações cruzadas (Fig. 10a) sugerem que eles foram depositados em um ambiente de alta energia.

Um intervalo com aproximadamente 10 m pode ser identificado nessa seção, onde frequentes anomalias de fosfato foram observadas por intermédio do molibdato de amônia (Fig. 10b). Em uma amostra analisada para este intervalo (ES-62), mediu-se um teor de 1.099% de P_2O_5 (Tabela 2).

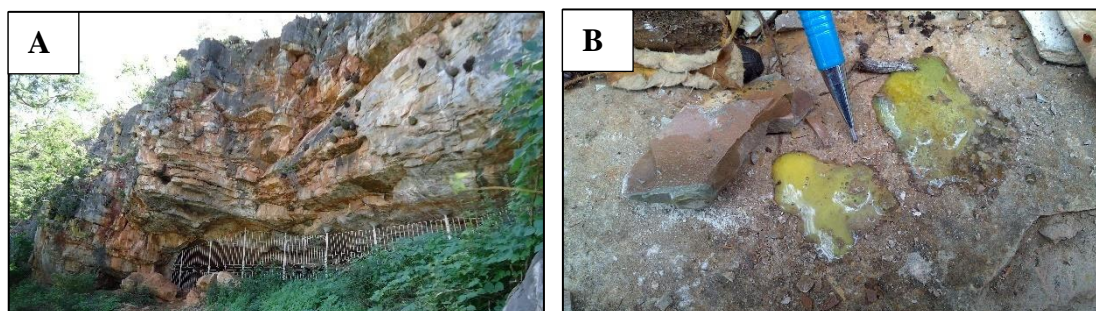


Figura 10: Formação Olhos D'Água, Ciclo 2: A - Paredão de doloarenitos com estratificação cruzada. B - Reação ao molibdato de amônia em dolossiltito.

5.4 Seção Rosário

Essa seção tem início próximo ao povoado de Estaca Zero, aproximadamente 45 km a sul de Euclides da Cunha (Fig. 5). Ela compreende os dois ciclos sedimentares completos do Domínio Vaza-barris/Miaba, onde pode ser observado, da base para o topo, litofácies das formações Ribeirópolis (diamictitos), Jacoca (carbonatos) e Frei Paulo (siliciclásticos) (Ciclo 1), superpostos pelas Formações Palestina (diamictitos) e litofácies da porção basal (doloarenitos) da Formação Olhos D'Água (Ciclo 2). Esta seção possui uma espessura estimada de aproximadamente 150 m, com afloramentos ocorrendo ao longo de 15 km desde o povoado de Estaca Zero até Rosário. Estas unidades são truncadas indiscriminadamente por extensivas zonas de cisalhamento transpressivas, posicionadas em NO-SE, com um nível de deformação que aumenta significativamente de intensidade de oeste para leste. As litofácies da porção basal da (Formação Jacoca) foram menos deformadas, com um visível acamadamento S_0 com direção $N75O$, mergulhando 15° para SE. As litofácies carbonáticas do segundo ciclo de sedimentação (Formação Olhos D'Água) estão intensamente deformadas, com dobras isoclinais mostrando planos axiais com mergulhos que variam entre 30° e 50°

para NO, porém com acamadamentos S0 preservados. Eles estão parcialmente milonitizados e recristalizados.

Diamictito marrom avermelhado, com clastos de quartzo, feldspato e granito-gnaisses (aproximadamente 25 cm de diâmetro) derivados de rochas do embasamento, representa os diamictitos glaciogênicos da Formação Ribeirópolis, que afloram em contato direto com rochas do Complexo Santaluz (Fig. 11a). Esse pacote possui espessura de aproximadamente 7 m, intensamente deformado e empurrado sobre o embasamento por meio de zonas de cisalhamentos transpressionais.

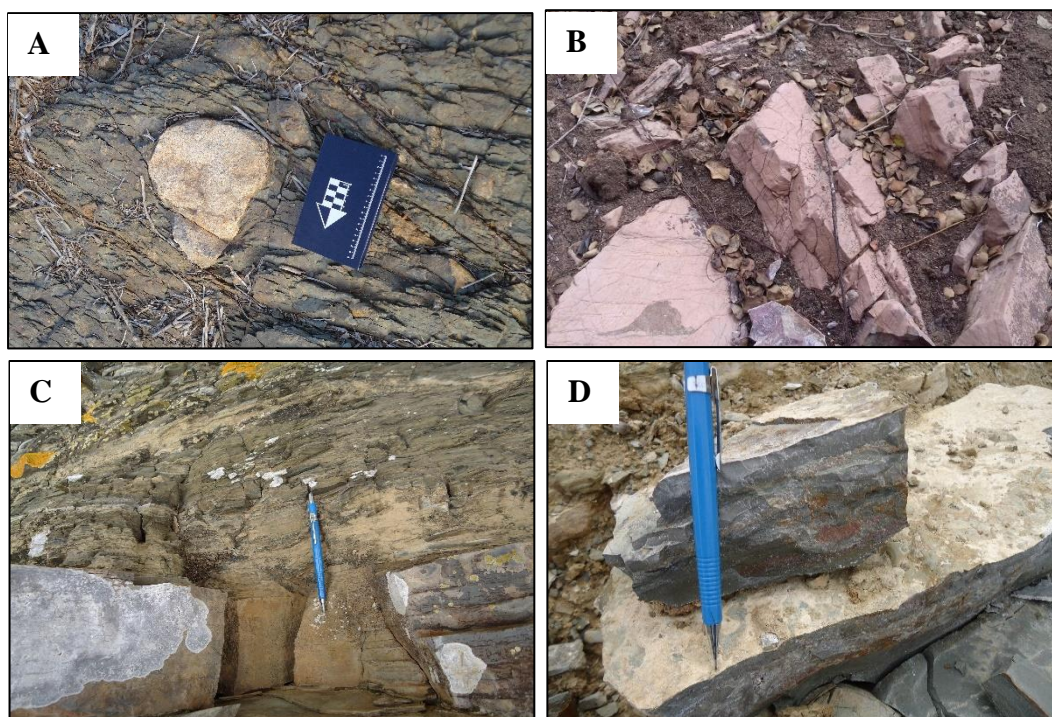


Figura 11: Formação Jacoca, imediações do povoado Estaca Zer0. Ciclo 1: A - Diamictito da Formação Ribeirópolis com seixo pingado oriundo do embasamento granito-gnaisses do Complexo Santaluz. B - Dololuto marrom avermelhado em contato direto com o diamictito da Fm. Ribeirópolis. C – Calcissiltito a calcilutito com estrutura bandada. D - Dolossiltitos maciços com textura oolítica no topo da sequência.

Recobrando os diamictitos, ocorre um pacote com 1 a 4 m de espessura, composto por um dololuto marrom avermelhado (Fig. 11b). Valores negativos de $\delta^{13}\text{C}$ que variam entre -3.6 e -3.5‰ VPDB e de $\delta^{18}\text{O}$, -7.2 e -8.1‰ VPDB foram obtidos em duas amostras bem preservadas (ES-18A e ES-18B, Tabela 1). Estas litofácies são recobertas por calcissiltito a calcilutito com textura peloidal, bege rosado, intercalado com calcissiltitos dolomíticos cinza esverdeados, que por sua vez são sobrepostos por um dolossiltito maciço, com coloração cinza escura (Fig. 11c e 11d). Valores negativos de $\delta^{13}\text{C}$ foram obtidos em amostras dessas litofácies (ES 16A, ES 16B, ES 16C e ES 16D, Tabela 1) variando entre -6.2 a -7.8‰ VPDB e $\delta^{18}\text{O}$, com valores medidos de -7.68 a -12.38 ‰ VPDB. Anomalias de fosfato foram detectadas em associação com as camadas de dolossiltitos maciços (Fig. 11d).

A aproximadamente a 800 metros a leste do referido ponto, os afloramentos dessa sequência carbonática são truncados por uma grande zona de cisalhamento transpressiva, resultando em dobramentos isoclinais com vergência para oeste, e planos axiais mergulhando 30° para Leste (Fig. 18). Estas litofácies representam a porção basal da Formação Jacoca, estendendo-se por 4 km em direção este, onde faz um contato

brusco, marcado por intensa deformação, com sedimentos siliciclásticos (arenitos, siltitos e filitos) da Formação Frei Paulo.

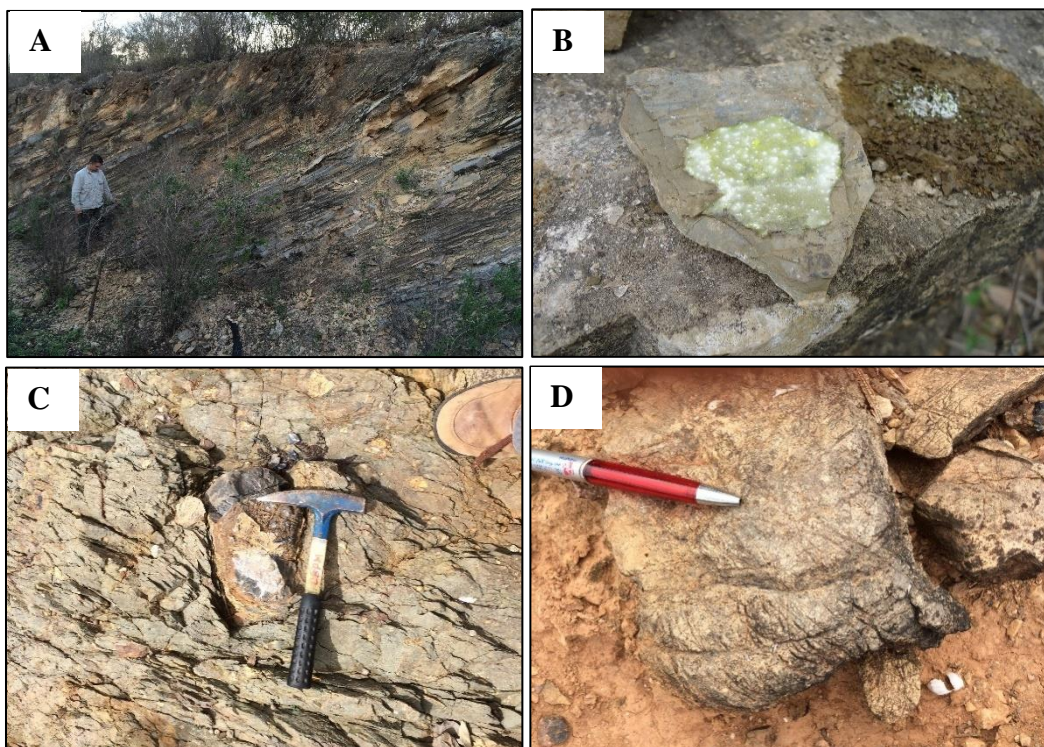


Figura 12: A - Calcilitos a calcarenitos dolomíticos intensamente deformados sob a influência de uma zona de cisalhamento. B - Anomalia de fosfato foram detectadas em associação com as camadas de dolossiltitos. C - Diamictito Palestina, com destaque para um seixo pingado de calcário negro oriunda da Formação Olhos D'Água. D - Dolossiltito a dololutito maciço, intensamente deformado aflorando em contato com os diamictitos da Fm. Palestina.

Próximo ao povoado de Rosário, a Formação Frei Paulo está superposta por diamictitos glaciogênicos da Formação Palestina, com uma matriz predominantemente composta por metagrauvacas, com clastos de rochas carbonáticas (Fig. 12c). Acima desse intervalo de sedimentação glaciogênica, fazendo contato por meio de zonas de cisalhamento transpressionais com direções preferenciais NO-SE, ocorrem um pacote de rochas carbonáticas acamadadas, composto por dololutitos a dolossiltitos maciços com coloração cinza escura a cinza clara, truncados por veios de calcita aparentemente sem orientação preferencial (Fig. 12d). Este intervalo de deposição possui uma espessura de até 20 m, e aflora, predominantemente, sob a forma de pequenas elevações intercaladas, por dobras isoclinais com planos de eixo axial mergulhando entre 30° e 45° NO (Fig. 12a).

Ao microscópio petrográfico, as rochas do primeiro ciclo de deposição, os dololutitos marrom avermelhados apresentam uma textura francamente peloidal, com arcabouço e grãos sustentados por matriz carbonática (micrita), tipo *Wackestone* a *Packstone*. Observa-se um bandamento plano horizontal, onde filmes de dissolução ocorrem ao longo dos contatos entre as camadas, além de veios de calcita sem direções preferenciais, e a ocorrência de minerais opacos distribuídos aleatoriamente. São observados ainda raros fragmentos de matéria orgânica. A intercalação rítmica que se segue, é caracterizada pela ocorrência de calcissiltitos a dololutitos calcílicos francamente neomorfisados, com textura predominantemente peloidal, com intraclastos associados (Fig. 13b). Apresenta uma estrutura bandada, com granulometria

predominantemente fina a muito fina (argila e silte) com grãos sustentados por matriz, *Packstone* a *Wackestone*. São verificadas porções intensamente dolomitizadas, com ocorrência de mosaicos de dolomita associados a grãos de megaquartzo (Fig. 13a). O contato entre as camadas é quase sempre marcado por filmes de dissolução com aspecto estilolítico.

Os dololutitos a dolosiltitos maciços que representam as rochas do segundo ciclo de deposição aflorando na Seção Rosário são mais intensamente deformadas, e petrograficamente caracterizadas por intenso neomorfismo com textura predominantemente peloidal, com a ocorrência de filmes de dissolução (dobrados) e fraturas de sobrepressão de fluido. A amostra é truncada por diversos veios de calcita, posicionados em direções aleatórias, além da ocorrência de zonas silicificadas e grãos de quartzo disseminados na matriz argilosa, tipo *Packstone* a *Wackestone* (Fig. 13c e 13d).

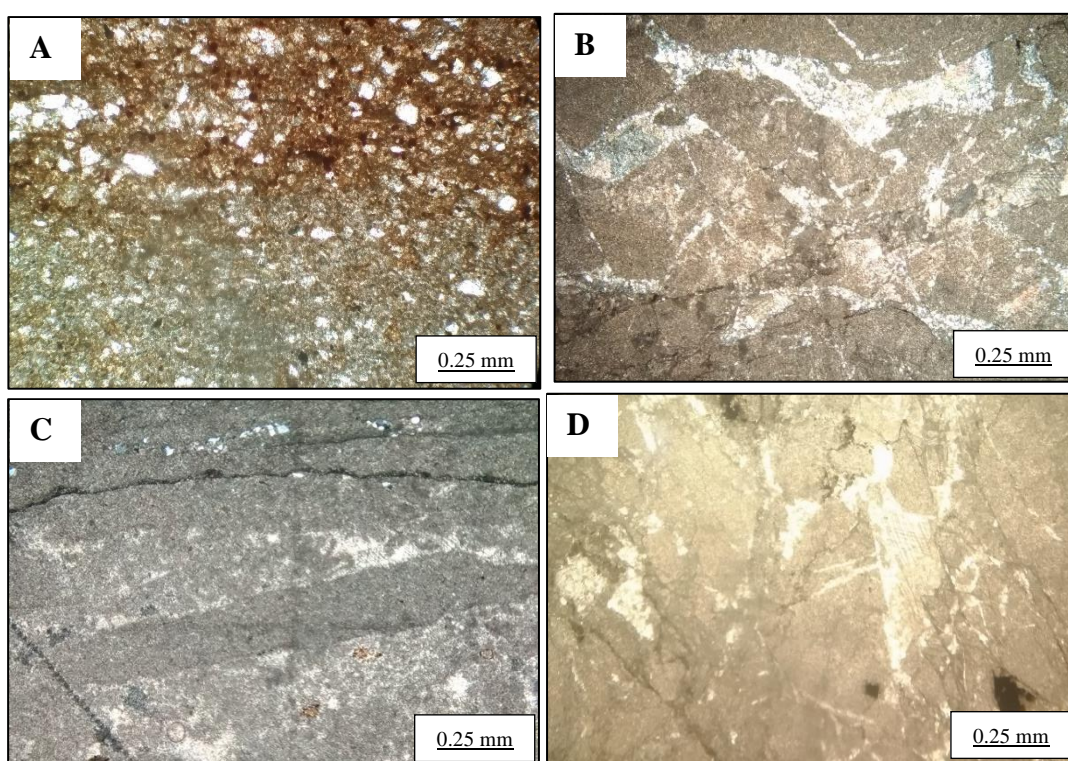


Figura 13: Porção basal da Fm. Jacoca, Ciclo 1, imediações de Estaca Zero: A - Dololuto caracterizado pela ocorrência de mosaicos de dolomita associados a megaquartzo. B - Calciluto com textura francamente peloidal, neomorfizado e intraclastos associados. Porção basal da Fm. Olhos D'Água, Ciclo 2. Imediações de Rosário: C - Dololuto neomórfico, intensamente deformado. E - Dolossiltito com fraturas de sobrepressão de fluidos.

5.5 Serra Da Arara

Esta seção está localizada aproximadamente a 35 km a norte da cidade de Euclides da Cunha, e ocorre sobre a forma de um pequeno morro que acompanha um alinhamento regional, posicionado predominantemente segundo a direção NW-SE por aproximadamente 1 km (Fig. 5).

O pacote de rochas carbonáticas aflora em contato direto, discordante, com o embasamento granito gnáissico derivado do Complexo Santaluz e é composto por um intervalo de deposição com aproximadamente 12 m de espessura onde se observam, da

base para o topo, um nível com aproximadamente 5 m de dololutitos de coloração bege rosada, com estrutura acamadada planoparalela (Fig. 14a).

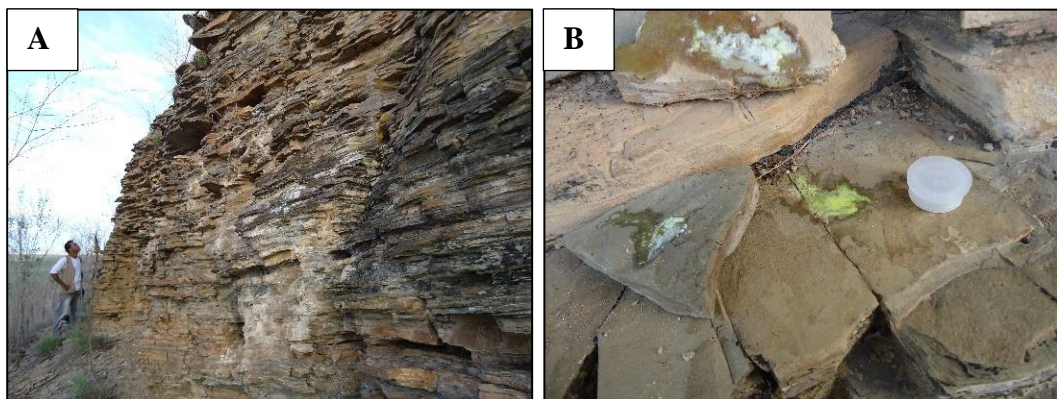


Figura 14: Base da Formação Jacoca, Ciclo 1:A - Espesso pacote de dololutitos com estrutura plano paralela. B - Dololuto evidenciando anomalia de fosfato.

Este dololuto é recoberto por um intervalo de deposição carbonática com aproximadamente 7 m de espessura, composto, predominantemente, por um doloarenito fino a muito fino, com um acamadamento sedimentar predominantemente rítmico, onde é observada a intercalação com níveis centimétricos de ardósia carbonática laminada e de calcilitos bege amarelados. É notada ainda a presença de camadas isoladas doloarenitos finos com estratificação cruzada por ondas de pequeno porte com marcas de ondas associadas.

Quando submetidos a molibdato de amônio, a porção intermediária a superior desse pacote de rochas carbonáticas apresentou uma forte anomalia contínua de fosfato ao longo de um intervalo de aproximadamente 6 m de espessura (Fig. 14b).

5.6 Fazenda Otero

Localizada na porção extremo sul da área de estudo, na Faz. Otero, a aproximadamente 15 km de Euclides da Cunha (Fig. 5), essa seção é composta por um pacote de rochas carbonáticas com aproximadamente 10 m de espessura, que recobrem um intervalo de deposição glacial representado por diamictito, constituído por metagrauvaça de coloração marrom avermelhada, parcialmente milonitizado, com fragmentos de rochas facetadas, derivadas do embasamento granito-gnáissico.

A sequência carbonática é composta por doloarenitos finos com coloração bege esbranquiçada, estratificados (Fig. 15a), e intercalado pontualmente com níveis centimétricos de ardósia, e pacotes com até 15 cm compostos por dolarenitos intensamente silicificados. Quando submetidos ao teste de campo (molibdato de amônio + ácido clorídrico), a porção basal desse pacote de rochas carbonáticas foi verificada uma fraca reação, indicando a ocorrência de uma fraca anomalia de fosfato relacionada à ocorrência de matações estromatolíticas (Fig. 15b).

Os valores obtidos para os isótopos estáveis de $\delta^{13}\text{C}$ nas amostras PG 169A, 169C e 169E (Tabela 1) indicam valores que oscilam entre $-4,02\text{‰}_{\text{VPDB}}$ e $-3,21\text{‰}_{\text{VPDB}}$. Com relação aos isótopos de oxigênio ($\delta^{18}\text{O}$), os valores obtidos variam entre $-7,13\text{‰}_{\text{VPDB}}$ e $-6,18\text{‰}_{\text{VPDB}}$.

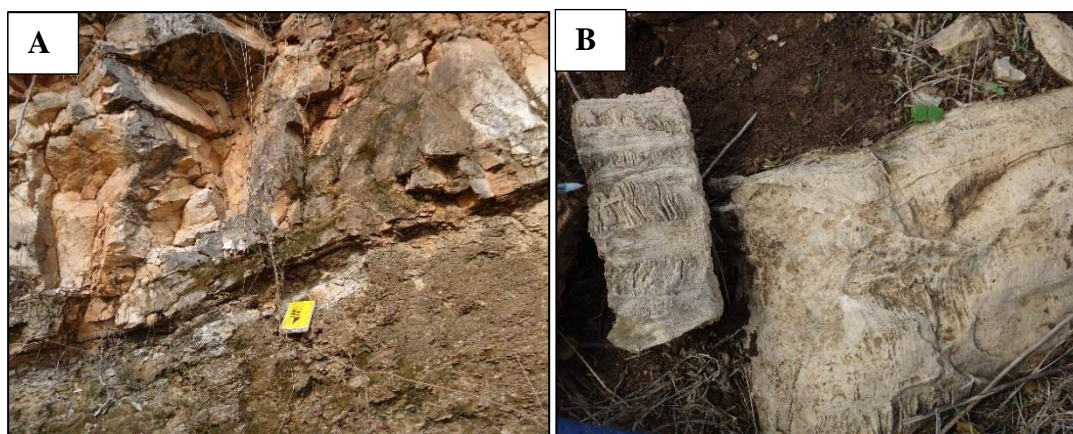


Figura 15: A - Dolarenito fino, com coloração bege avermelhada e estrutura maciça. B - Matacões de estromatólitos.

5.7 Sumário

Anomalias de fosfato estão presentes em cinco das seis seções descritas ao longo de 140 km de extensão de afloramentos do Grupo Vaza-Barris/Miaba, no território baiano (Fig. 5). Em uma dessas seções (Seção Rosário), minerais do grupo do carbonato flúor-apatita foram identificados. Eles estão hospedados em carbonatos que recobrem os diamictitos glaciogênicos da Formação Palestina e Ribeirópolis, mostrando um notável controle estratigráfico. As figuras 16 e 17 representam seções geológicas observadas na área de estudo e a Figura 18 mostra a distribuição das seções descritas e as possíveis correlações.

Seção	Amostras	$\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}} \text{ ‰}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{VPDB}} \text{ ‰}$
Col. Patamuté	ES 01 A	-5.79	-8.52
	ES 01 B	-5.15	-8.42
	ES 01 C	-5.43	-8.64
	ES 01 D	-5.49	-8.40
	ES 01 E	-5.17	-8.01
Col. Serra da Gruta	ES 07 A	-3.75	-8.29
	ES 07 B	-3.80	-8.79
Col. Rosário	ES 16 A	-7.83	-7.68
	ES 16 B	-7.15	-10.67
	ES 16 C	-6.21	-12.38
	ES 16 D	-6.63	-8.16
	ES 18 A	-3.56	-7.22
	ES 18 B	-3.50	-8.08
	ES 14 A	-5.19	-6.49
Col. Fazenda Otero	ES 14 B	-7.17	-6.44
	PG 169 A	-4.02	-7.13
	PG 169 C	-3.60	-6.64
	PG 169 E	-3.21	-6.18

Tabela 1: Razões de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$ para os litotipos do Grupo Vaza Barris nas imediações de Euclides da Cunha e Uauá

Amostras	SiO ₂ (%)	TiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	CaO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	P ₂ O ₅ (%)	Mn (ppm)	Sr (ppm)	Mn/Sr (ppm)
PT-ES-R-C16	14,8	0,21	2,07	1,14	2,05	42,7	<0,1	0,45	1,975	0,09	180	0,0005
ES-01A	11,65	0,1	2,02	0,87	1,42	42,13	0,04	0,99	0,06	0,12	244	0,0004
ES-01B	8,19	0,05	0,87	0,77	2,84	42,42	0,04	0,65	0,02	0,11	328	0,0003
ES-01C	12,1	0,06	1,12	0,67	2,55	41,08	0,04	0,7	0,03	0,12	244	0,0004
ES-01D	7,74	0,05	0,94	0,63	2,45	42,59	0,03	0,63	0,14	0,12	367	0,0003
ES-01E	11,57	0,1	1,94	1,37	3,32	38,33	0,04	1,06	0,12	0,32	299	0,0010
ES-05	5,54	0,11	3,11	1,18	0,83	44,09	0,05	0,26	0,29	0,11	28	0,0039
ES-07A	2,12	0,02	0,39	0,23	4,59	46,3	0,03	0,23	0,02	0,03	230	0,0001
ES-07B	2,85	0,02	0,33	0,19	0,55	50,79	0,03	0,19	0,02	0,1	250	0,0004
ES-11	65,82	0,58	11,22	5,71	2,54	3,29	1,35	2,63	0,14	0,06	143	0,0004
ES-11B	15,65	0,09	1,18	1,73	13,88	24,06	0,59	0,1	0,1	0,55	318	0,0017
ES-14A	7,85	0,07	1,55	1,06	14,78	27,16	0,69	0,15	0,11	0,1	349	0,0002
ES-14B	7,07	0,09	1,54	0,92	15,44	27,31	0,65	0,17	0,12	0,05	457	0,0001
ES-16A	49,16	0,54	11,5	5,65	3,35	11,29	0,9	3,72	0,18	0,05	140	0,0003
ES-16B	9,75	0,09	1,47	0,67	0,75	45,65	0,29	0,42	0,13	0,16	251	0,0006
ES-16C	11,11	0,09	1,92	1,03	1,08	42,07	0,28	0,65	0,08	0,19	334	0,0005
ES-16D	16,05	0,05	1,06	0,59	0,55	42,48	0,11	0,62	0,07	0,2	634	0,0003
ES-17	66,42	0,77	14,39	5,91	2,22	0,85	1,34	3,86	0,19	0,02	85	0,0002
ES-18A	7,38	0,08	1,84	1,01	16,03	27,06	0,05	0,54	0,05	0,18	57	0,0031
ES-18B	7,41	0,07	1,99	1,1	14,76	28,3	0,06	0,58	0,09	0,21	65	0,0032
PG-169A	3,25	0,02	0,48	0,61	17,07	31,27	0,05	0,08	0,04	0,15	38	0,0039
PG-169B	1,31	0,01	0,27	0,49	18,69	28,33	0,04	0,09	<0,01	0,09	46	0,0019
PG-169C	1,66	0,02	0,44	0,54	18,1	28,52	0,04	0,17	0,03	0,08	48	0,0016
PG-169D	5,63	0,06	1,27	0,65	16,82	28,31	0,05	0,57	0,06	0,08	55	0,0014
PG-169E	14,36	0,14	3,43	3,16	14,98	22,79	0,08	2,05	0,04	0,09	51	0,0017
PG-169F	13,32	0,11	3,27	2,97	14,54	21,96	0,06	1,92	0,05	0,07	48	0,0014
PG-169G	9,6	0,1	2,72	1,7	15,96	24,43	0,05	1,49	0,08	0,08	56	0,0014
PT-ES-R-034	1,72	<0,01	0,2	0,38	9,07	43,6	<0,1	0,03	5,674	0,04	57	0,0007
SJ-ES-R-062	13,3	0,14	2,68	1,65	14,8	28,2	<0,1	1,6	1,099	0,03	49	0,0006

Tabela 2: Distribuição de elementos maiores para os litotipos do Grupo Vaza Barris nas imediações de Euclides da Cunha - Uauá.

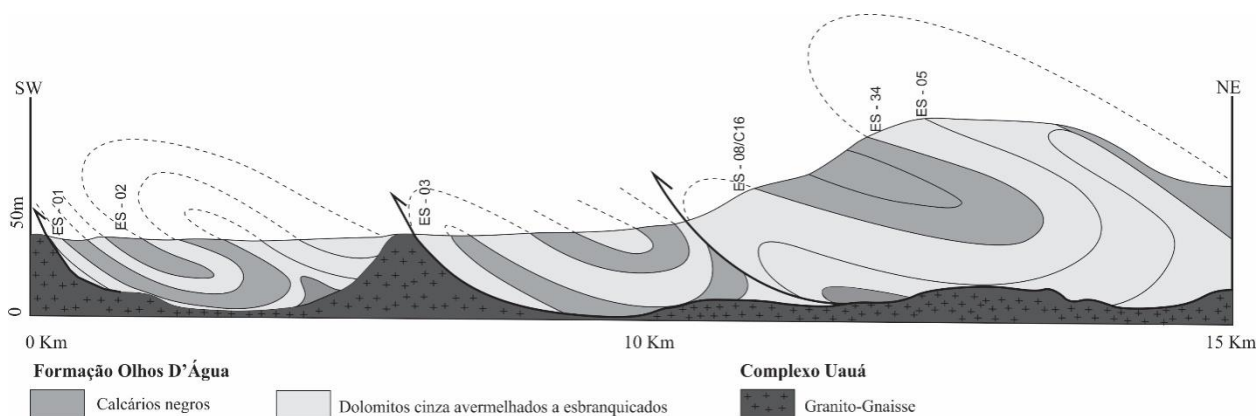


Figura 16: Seção geológica composta para as seções Patamuté e Serra da Gruta.

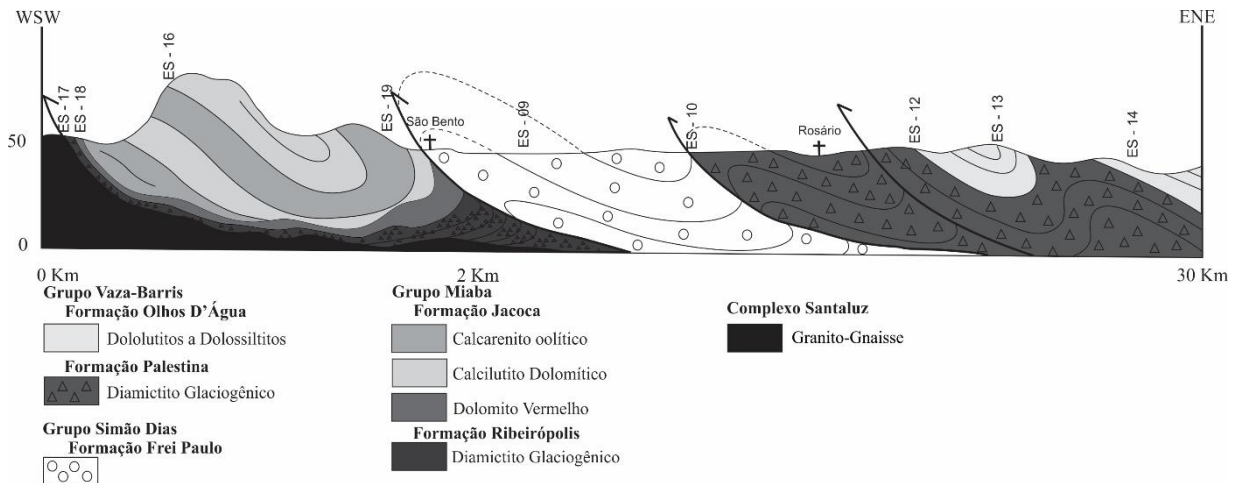


Figura 17: Seção geológica esquemática para a Seção Rosário.

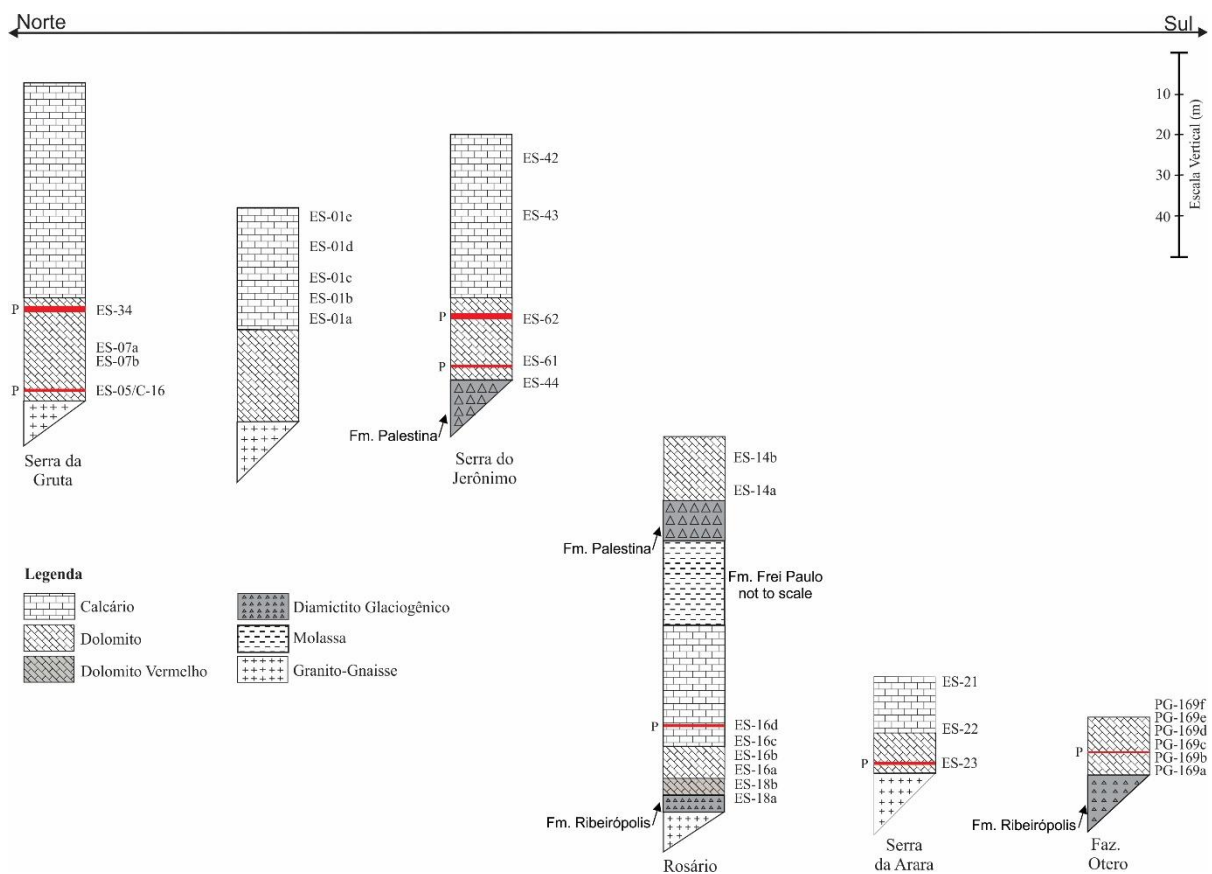


Figura 18: Colunas estratigráficas esquemáticas para as seções geológicas estudadas com destaque para o intervalo de ocorrência das anomalias de P_2O_5 .

6. CORRELAÇÕES E ORIGEM DAS ANOMALIAS DE FOSFATO

As seqüências sedimentares Neoproterozoicas que ocorrem no Cráton do São Francisco, são constituídas por espessa sedimentação carbonática com intercalações de rochas siliciclásticas e abrangem uma grande área. Estão localizadas tanto em zonas intracratônicas, com pouca ou nenhuma deformação, como nas bordas do Cráton, em bacias de margem passiva, intensamente deformadas em consequência da orogênese Brasiliana. Associados a esta sedimentação Neoproterozoica, são descritas várias ocorrências de depósitos de fosfato sedimentar (fosforito), que apresentam um nítido controle estratigráfico.

Correlações estratigráficas e quimioestratigráficas que vêm sendo feitas entre os depósitos de fosfato dos Grupos Una, Vazante e Bambuí (Misi *et al.*, 2006; Sanches *et al.*, 2007) assim como em publicações mais recentes (Misi *et al.*, 2011; Sial *et al.*, 2016) têm demonstrado, por intermédio de dados quimioestratigráficos de alta resolução, uma possível correlação entre as unidades estratigráficas e as ocorrências de fosfato do Grupo Vaza Barris, (Fig. 19).

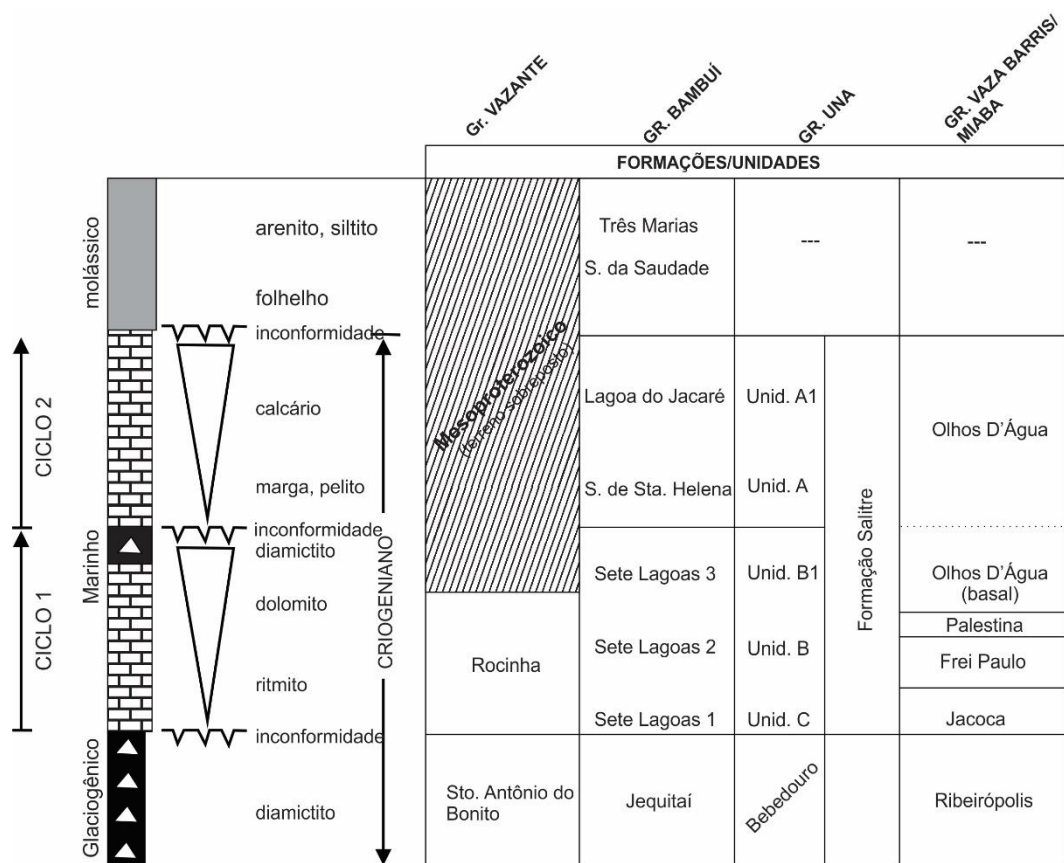


Figura 19: Correlação entre os Grupos Vaza-Barris/Miaba (margem passiva), Bambuí, Una e Vazante. Fonte: modificada de Misi *et al.* (2011).

As ocorrências de fosfato associadas ao Grupo Vaza-Barris apresentam um nítido controle estratigráfico. Elas estão associadas a doloarenitos com estratificação cruzada por ondas, em intervalos deposicionais relacionados a eventos de sedimentação pós-glaciais, indicado não só pela ocorrência de diamictitos glaciogênicos na base como pelos característicos valores negativos de $\delta^{13}\text{C}$ medidos nas zonas com valores anômalos de fosfato. A porção basal dos ciclos de sedimentação que deram origem as

sequências carbonáticas que compõem o domínio Vaza-Barris, são estratigraficamente limitadas pela ocorrência de dois intervalos de deposição glaciogênica. Na base do primeiro ciclo, os diamictitos glaciais da Formação Ribeirópolis, com clastos facetados de rochas granito-gnaissicas, estão em contato (basal) direto com o embasamento granito gnáissico do Complexo Santaluz. Na base do segundo ciclo ocorrem os diamictitos da Formação Palestina, com clastos facetados de rochas carbonáticas do primeiro ciclo.

Os diamictitos glaciogênicos da Formação Ribeirópolis, nas imediações de Euclides da Cunha, são seguidos por uma deposição francamente carbonática, dobrada, que representam a porção basal da Formação Jacoca, com o início marcado por um característico dolomito vermelho de capa com uma espessura de até 5 m, onde foram medidos valores de $\delta^{13}\text{C}$ que variam entre -3,56 e -3,50 ‰ VPDB, além de um espesso pacote de calcário dolomítico com estrutura francamente bandada, onde foram verificadas anomalias de fosfato, em níveis intercalados com um pacote de calcilitos com textura peloidal. Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ variam entre -6,21 e -7,83 ‰ VPDB. Correlações estratigráficas entre a Formação Jacoca e a base da Formação Salitre (Grupo Una, unidade A e B), além das formações Sete Lagoas 1 e 2 (Grupo Bambuí) e Formação Rocinha (Grupo Vazante) podem ser indicadas e as medidas de $\delta^{13}\text{C}$ e $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ sustentam essa correlação (Misi et al., 2011; Sial et al., 2016).

O segundo ciclo da sedimentação que deu origem ao Grupo Vaza-Barris tem início após a deposição de um espesso pacote de diamictitos glaciogênicos que compõe a Formação Palestina, marcado pela ocorrência de matacões e seixos pingados de rochas carbonáticas oriundas da Formação Jacoca. Na porção SE da área de estudo, em contato direto com estes diamictitos glaciogênicos, ocorre um pacote de doloarenitos silicificados, intensamente deformados e truncado por falhas transpressionas pertencentes a porção basal da Formação Olhos D'Água, nas quais foram medidos valores de $\delta^{13}\text{C}$ entre -5,2 e -7,2 ‰ VPDB em amostras bem preservadas. Ainda na porção basal da Formação Olhos D'Água, nas imediações do povoado de Patamuté, associados a uma sequência de doloarenitos calcíticos vermelhos, calcilitos negros e doloarenitos com estratificação cruzadas por ondas, intensamente deformados por dobras (Fig.) foram medidas razões de $\delta^{13}\text{C}$ que oscilam entre -5,2 e -5,8 ‰ VPDB, e na Seção Serra da Gruta, base da Formação Olhos D'Água, associadas as principais anomalias medidas de P_2O_5 , os valores obtidos para o $\delta^{13}\text{C}$ estão posicionados entre -3,75 e -3,80 ‰ VPDB, sugerindo uma deposição relacionada a eventos pós glaciais, muito possivelmente a glaciação que deu origem à Formação Palestina, aflora na seção do Rosário.

Os valores obtidos para os isótopos estáveis de $\delta^{13}\text{C}$ (Tabela 2) são compatíveis com os obtidos por Sial *et al.* (2000, 2003, 2005, 2006^a, 2010, 2016) e por Misi et al. (2011), indicando que esta sedimentação carbonática ocorreu em ambientes imediatamente após as grandes glaciações Neoproterozoicas, e o controle estratigráfico interpretado para as ocorrências de campo e medidas de fosfato nos intervalos estudados, são similares aos observados a depósitos de fosfato distribuídos em todas as bacias neoproterozoicas. As características litofaciológicas e estratigráficas apresentadas na parte basal da Formação Olhos D'Água podem ser correlacionáveis àquelas encontradas na parte superior da Formação Salitre (Grupo Una) e as Formações Serra de Santa Helena e Lagoa do Jacaré (Grupo Bambuí). Os trabalhos de quimioestratigrafia de detalhe obtidos nessas formações (Misi *et al.*, 2006) são compatíveis com os valores apresentados por este trabalho, e dão uma sólida base de sustentação as correlações indicadas para essas formações (Fig. 20).

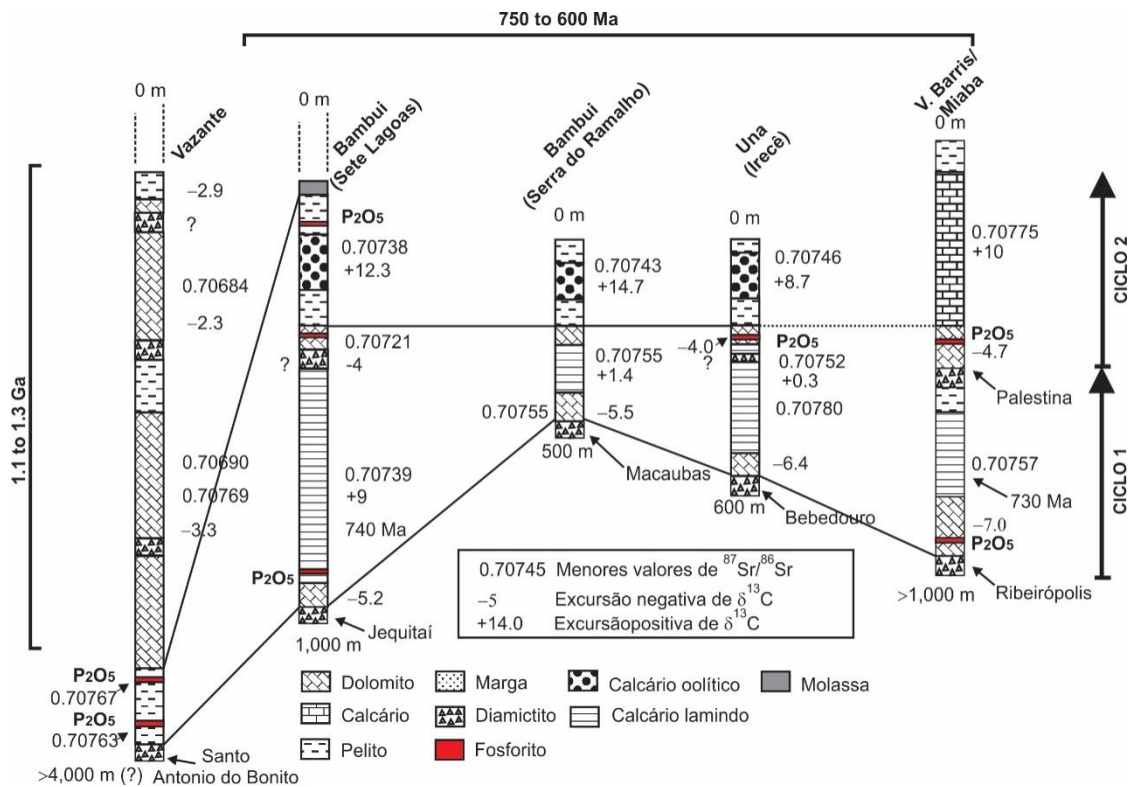


Figura 20: Correlação entre as sucessões neoproterozoicas do Crátom do São Francisco e Faixas Marginais e das principais ocorrências e depósitos de fosfato. Fonte: Modificado de Misi et al. (2014).

Os modelos de fosfogênese mais amplamente discutidos e aceitos para os eventos ocorridos na Era Precambriana (Papineau, 2010; Nelson *et al.*, 2010) aplicam-se satisfatoriamente às ocorrências medidas na porção basal da formação Olhos D'Água, e indicadas na base da Formação Jacoca. Outro fator digno de nota está relacionado à ampla distribuição temporal. Além disso, o registro síncrono do Paleoproterozoico ao Fanerozoico de sedimentos químicos ricos em fósforo e ferro, sugerem mudanças químicas dos oceanos ligadas a glaciações e/ou evolução dos processos tectônicos que influenciaram a sedimentação e, conseqüentemente, o ciclo biogeoquímico de Fe, P e C (Pufahl e Hiatt, 2012).

Dessa maneira, podemos deduzir que:

- A principal fonte de P e Fe seria derivada de áreas continentais expostas ao intemperismo pós períodos glaciais (Papineau, 2010; Nelson *et al.*, 2010).
- O PO_4 é carreado para a plataforma continental juntamente com o Fe, na forma de oxi-hidróxidos de Fe com PO_4 . Em águas marinhas estratificadas, como ocorria no Neoproterozoico, ao atingirem o limite que separava a zona subóxida a anóxida, esses complexos seriam reduzidos pela ação de microorganismos, liberando o P que, a partir de então, combinaria com F e CO_2 da água marinha, dando origem ao carbonato-fluorapatita. Nas zonas rasas onde se desenvolvem as colônias estromatolíticas, a exemplo dos depósitos de fosfato de Irecê, estas são responsáveis pela implantação de um ambiente francamente subóxido, propício à redução e liberação do P.

7. CONCLUSÕES

Com base nos dados apresentados, conclui-se que:

- As principais anomalias de fosfato, com valores medidos (1,099 %, 1,975 % e 5,764 % de P_2O_5), apresentam um claro controle estratigráfico, e na área de pesquisa ocorrem associadas a doloarenitos com estratificação cruzada na porção basal da Formação Jacoca, onde, a despeito da ausência de afloramentos de diamictitos da Formação Palestina (possivelmente deslocados e erodidos em resposta ao evento tectônico brasileiro), as excursões negativas associadas aos intervalos anômalos deixam clara a sua influência. Por intermédio de análises de difratometria de raios-X em uma amostra desse intervalo, constatou-se a presença de carbonato fluorapatia.
- As anomalias de fosfato detectadas por intermédio de molibdato de amônia nas imediações do povoado de Estaca Zero, na porção basal da Formação Jacoca, apresentam um controle estratigráfico similar, sendo associadas a um doloarenito com textura oolítica, depositados imediatamente acima dos diamictitos da Formação Ribeirópolis. Nas imediações desses afloramentos foram encontrados matacões com estruturas estromatolíticas.
- Os valores medidos para $\delta^{13}C$ na porção basal da Formação Olhos D'Água (-5,2 e -7,2 ‰ VPDB) em doloarenitos com estratificação cruzadas, estão associadas a relevantes anomalias de fosfato e são similares estratigraficamente a importantes depósitos de fosfato no Grupo Una. Os dados obtidos durante a pesquisa indicam que a porção inferior desta Unidade pode ser correlacionável à porção superior da Formação Sete Lagoas (Grupo Bambuí) e à Unidade B1 da Formação Salitre (Grupo Una). A sua porção superior apresenta relevantes similaridades litofaciológicas e quimioestratigráficas à Formação Lagoa do Jacaré do Grupo Bambuí e à Unidade A1 da Formação Salitre.
- As razões medidas para $\delta^{13}C$ na Formação Jacoca (-3,6 e -3,5 ‰ VPDB) em dololutitos vermelhos (dolomititos de capa) e -6,21 e -7,83 ‰ VPDB em calcilititos dolomíticos, além da disposição estratigráfica e ambiente deposicional das litofácies, sugerem correlações diretas com a porção Basal da Formação Sete Lagoas e com a Unidade C da Formação Salitre. A porção superior da Formação Jacoca pode ser correlacionável com a Unidade B da Formação Salitre, conforme proposto por Misi et al. (2011) e Sial et al. (2016).
- Apesar das anomalias constatadas não indicarem qualquer valor econômico, elas são significativas do ponto de vista científico porque demonstram a importância dos eventos glaciais como marcadores de processos fosfogenéticos, servindo como uma camada guia para a prospecção de fosfato em bacias Neoproterozoicas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Companhia Baiana de Pesquisa Mineral por financiar parcialmente o projeto, possibilitando a realização de: viagens de campo, análises químicas e a confecção lâminas delgadas. A Profa. Dr. Débora Rios e ao Laboratório de Tecnologia Mineral - raios-X / LAPAG da Universidade Federal da Bahia, pela realização das análises de difratometria de raios-X, e por fim, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

REFERÊNCIAS

- Babinski, M. & Kaufman, A. J. 2003. First direct dating of a Neoproterozoic post-glaciogenic cap carbonate. IV South American Symposium on Isotope Geology, Short Papers 1, 321–323.
- Babinski, M., Vieira, L. C. & Trindade, R. I. F. 2007. Direct dating of the Sete Lagoas cap carbonate (Bambuí Group, Brazil) and implications for the Neoproterozoic glacial events. *Terra Nova*, 19, 401–406.
- Brito Neves, B. B., Van Schmus, W. R., Babinski, M. & Sabin, T. 1993. O evento de magmatismo de 1,0 Ga nas faixas móveis ao norte do Cráton São Francisco. Sociedade Brasileira de Geologia, Simpósio o Cráton do São Francisco 2, Salvador, Anais, 243–245.
- D'el-Rey Silva, L. J. H. 1995. Tectonic evolution of the Sergipano Belt, northeastern Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, 25, 315–332.
- D'el Rey Silva, L. J. H. 1999. Basin infilling in the southern-central part of the Sergipano Belt (NE Brazil) and implications for the evolution of Pan-African/Brasiliano cratons and Neoproterozoic sedimentary cover. *Journal of South American Earth Sciences*, 12, 453–470.
- Misi, A., Iyer, S. S. S. et al. 2005. Sediment-hosted lead–zinc deposits of the Neoproterozoic Bambuí Group and correlative sequences, São Francisco Craton, Brazil: a review and a possible metallogenic evolution model. *Ore Geology Reviews*, 3, 263–304.
- Misi A., Kaufman A.J., Veizer J., Powis K., Azmy K., Boggiani P.C., Gaucher C., Teixeira J.B.G., Sanches A.L., Iyer S.S.S. 2007. Chemostratigraphic correlation of Neoproterozoic successions in South America. *Chemical Geology*, 237:143-167.
- Misi A., Kaufman A.J., Azmy K., Dardenne M.A., Sial A.N., Oliveira T.F. 2011. Neoproterozoic successions of the São Francisco Craton, Brazil: The Bambuí, Una, Vazante and Vaza Barris/Miaba groups and their glaciogenic deposits. *In*: Arnaud E., Halverson G. P., Shields-Zhou G. (eds.). *The Geological Record of Neoproterozoic Glaciations*. Memoir 36, Chapter 48, Geological Society of London, London, 509-522.
- Misi A., Azmy K., Kaufman A.J., Oliveira, T.F., Sanches A.L., Oliveira G.D. 2014. Review of the geological and geochronological framework of the Vazante sequence, Minas Gerais, Brazil: Implications to metallogenic and phosphogenic models. *Ore Geology Reviews*, 63:76-90.
- Nelson, G. Pufhal, P., Hiatt, E. Paleooceanographic constraints on Precambrian phosphorite accumulation Braga Group, Michigan, USA. *Sedimentary Geology*, vol. 226, p 9-21, 2010.
- Oliveira, E.P., 2008. Evolução geológica da Faixa Sergipana, limite sul da Província Borborema. Workshop sobre a Geologia do Precambriano da Província Borborema. Campinas, Sao Paulo, pp. 14-15.

- Papineau, D., 2010. Global biogeochemical changes at both ends of the Proterozoic: insights from phosphorites. *Astrobiology* 10, 165–181.
- Sanches, A. L., Misi, A., Kaufman, A. J. & Azmy, K. 2007. As sucessões carbonáticas neoproterozoicas do Cráton do São Francisco e os depósitos de fosfato: correlações e fosfogênese, *Revista Brasileira de Geociências*, 37, 1034–1046.
- Sial, A.N., Ferreira, V. P., Almeida, A. R., Romano, A.W., Parente, C., Da Costa, M. L. & Santos, V. H. Carbon isotope fluctuations in Precambrian carbonate sequences of several localities in Brazil. *Anais Academia Brasileira de Ciências*, 72, 540–557, 2000.
- Sial, A. N., Ferreira, V. P., Moura, C. V. A. & Santos, V. H. C-, O- and Sr-isotope stratigraphy of the Sturtian Jacoca and Olho D'Água Formations, state of Sergipe, Northeastern Brazil. Short papers. IV South American Symposium on Isotope Geology. Salvador, Bahia, 394–397, 2003.
- Sial, A. N., Ferreira, V. P. Two Neoproterozoic cap carbonates in the states of Sergipe and Bahia, Northeastern Brazil: C- and Sr-isotopes and mercury as paleoclimatic tracer. X Congresso Neoproterozoic Successions Of The São Francisco Craton 521 Brasileiro de Geoquímica e II Simpósio de Geoquímica de Países do Mercosul, Porto de Galinhas. Short paper CD-ROM. 2005.
- Sial, A. N., Ferreira, V. P. Et Al. Chemostratigraphy of two Neoproterozoic cap carbonates from the Sergipano belt (northeastern Brazil). Short Papers, V South American Symposium on Isotope Geology (V SSAGI). Punta del Este, Uruguay, 314–317, 2006 a.
- Sial, A.N., Ferreira, V. P. C- and Sr-isotopes and mercury as paleoclimatic tracer in two Neoproterozoic cap carbonates in northeastern Brazil. Snowball Earth Conference. Ascona, Suíça, 100–101, 2006 b.
- Sial A.N., Gaucher C., Silva Filho M.A., Ferreira V.P., Pimentel M.M., Lacerda L.D., Silva Filho E.V., Cezario W. 2010b. C-, Sr-isotope and Hg chemostratigraphy of Neoproterozoic cap carbonates of the Sergipano Belt, Northeastern Brazil. In: Karhu J., Sial A.N., Ferreira V.P., Eds, Precambrian Isotope Stratigraphy, special issue, *Precambrian Research* 182: 351–372.