



Associação de Fácies, Litoquímica e Geologia Isotópica da Formação Lagamar (Grupo Vazante, Minas Gerais): uma Plataforma Carbonática no Mesoproterozoico
Facies Association, Lithochemistry and Isotope Geology of the Lagamar Formation (Vazante Group, Minas Gerais): A Carbonate Platform in Mesoproterozoic

Carla Sofia de Sousa Marques¹; Alexandre Uhlein²; Gabriel Jubé Uhlein²;
Gustavo Diniz Oliveira³; Alcides Nóbrega Sial⁴ & Carlos José Souza de Alvarenga⁵

¹Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências,
Av. Antônio Carlos, 6627 - Campus Pampulha 31270-901 Belo Horizonte – MG, Brasil

²Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências e CPMTc,
Av. Antônio Carlos, 6627 - Campus Pampulha 31270-901 Belo Horizonte – MG, Brasil

³Nexa Resources, Vazante - MG, Brasil

⁴Universidade Federal de Pernambuco, NEG-LABISE, Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n, 50670-000, Recife - PE, Brasil

⁵Universidade de Brasília, Instituto de Geociências, Asa Norte 70910-900 – Brasília - DF, Brasil

E-mails: smarques085@gmail.com; auhlein@gmail.com; guhlein@gmail.com;
gustavo.oliveira.go1@nexaresources.com; sial@ufpe.br; carlosjalvarenga@gmail.com

Recebido em: 13/06/2019 Aprovado em: 01/08/2019

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2019_4_71_82

Resumo

A Formação Lagamar representa uma plataforma em um possível contexto extensional onde carbonatos precipitaram em altos estruturais em um mar aberto, na borda do Paleocôntinente São Francisco. Esta plataforma é constituída por diversas fácies relacionadas a um ambiente recifal: frente recifal (consiste em retrabalhamento dos carbonatos no talude), recife (representando estruturas de recifes isolados) e recife interno (favorecidos pelo ambiente raso, provavelmente com alta salinidade, protegido pela barreira recifal). Os estudos geoquímicos e isotópicos mostram no geral uma grande contribuição detrítica nos carbonatos, com um enriquecimento em ETR na porção mais periférica da plataforma do que a porção protegida pela barreira recifal, mais rica em Mg devido à dolomitização. Normalizando pelo PAAS, as amostras não seguem o padrão típico de carbonatos marinhos, mostrando ETRL/ETRP \approx 1.0, forte anomalia de La, inexistência de anomalias de Ce e Gd, e as taxas de Y/Ho apresentando valores baixos (29-39). Nos perfis isotópicos, os valores de $\delta^{13}\text{C}$ variam de -0,14 e 2,20 ‰, de $\delta^{18}\text{O}$ de -9,82 a -3,18 ‰ mostrando uma homogeneidade de valores coincidentes com o período de quiescência tectônica do Mesoproterozoico e $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ em torno de 0.7068, onde o sinal primário deste foi afetado por processos pós-diagenéticos.

Palavras-chave: Proterozoico; Grupo Vazante; Complexo Recifal

Abstract

The Lagamar Formation represents a platform deposited in a probable extensional period where carbonates precipitated in a structural high in an open sea, along the margin of the São Francisco paleocontinent. This platform is related to a reef environment: fore reef (consisting of carbonate reworking in slope), reef (representing structures of isolated reefs) and back reef (favored by the shallow environment, with high salinity, protected by the reef barrier). Lithochemical and isotopic analyzes show predominance of siliciclastic contamination masking the primary seawater signal, with more REE enriched in fore reef than the restricted environment in back reef, which has higher Mg abundances due to dolomitization. When normalized to PAAS, samples do not follow the typical pattern of marine carbonates, showing LREE/HREE \approx 1.0, strong positive La anomaly, absence of Ce and Gd anomalies and low Y/Ho ratios at 29-39. The isotopic data showed $\delta^{13}\text{C}$ values ranging from -0.14 and 2.20 ‰, and $\delta^{18}\text{O}$ from -9.82 to -3.18 ‰ showing a homogeneity of values coincident with the tectonic quiescence period of Mesoproterozoic and, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ around 0.7068 where the primal signature was affected by post-diagenetic processes.

Keywords: Proterozoic; Vazante Group; Reefs

1 Introdução

Recentemente, alguns trabalhos têm sido desenvolvidos em carbonatos Pré-cambrianos em torno do Cráton do São Francisco. Destacam-se em carbonatos do Mesoproterozoico do Grupo Paranoá os trabalhos de Santos *et al.* (2000), Alvarenga *et al.* (2007, 2014) e, em carbonatos Neoproterozoicos do Grupo Bambuí os de Caxito *et al.* (2012), Kuchenbecker *et al.* (2016) e Paula-Santos *et al.* (2017). Os carbonatos do Grupo Bambuí apresentam importantes incursões negativas de $\delta^{13}\text{C}$ e outras características químicas e físicas que indicam sequências pós-glaciais correlacionadas a eventos globais de glaciação.

O Grupo Vazante não apresenta estes registros de eventos globais, porém os estudos de litoquímica e isótopos estáveis fornecem informações importantes sobre o ambiente de sedimentação dos carbonatos e são indicadores do registro da água do mar onde estes carbonatos se depositaram. Azmy *et al.* (2001; 2006) estudaram as Formações Serra do Poço e Morro do Calcário usando $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$ e $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$. Oliveira (2013) fez um estudo semelhante de $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$ na Formação Serra do Poço Verde separando esta formação em dois estágios de evolução da bacia, onde a bacia inferior era uma rampa e a superior uma plataforma com barreira.

Na porção mais a sul deste grupo, a Formação Lagamar carece de uma análise estratigráfica e geoquímica detalhada. Neste trabalho, serão apresentados novos dados sobre a Formação Lagamar, especialmente o Membro Sumidouro, que incluem um estudo estratigráfico com análise de fácies, combinado com geoquímica de rocha total e estudos de isótopos estáveis (carbono, oxigênio e estrôncio), almejando entender o tipo de ambiente onde estes carbonatos se sedimentaram. Isto permitiu inferir, sobretudo, o tipo de plataforma, bem como restrições que esta provocou e possíveis eventos pós-dia-genéticos locais.

2 Contexto Geológico

O Grupo Vazante é uma faixa delgada aproximadamente N-S, com cerca de 250 km de extensão, localizada no Domínio Externo da Faixa Brasília, próximo ao limite com o Cráton do São Francisco (Fuck *et al.*, 1993; Dardenne, 2000; Va-

leriano *et al.*, 2004; 2008). Este grupo consiste em uma sucessão pelito-carbonática, subdividida em sete formações, da base ao topo: Santo Antônio do Bonito (diamictitos, arenitos e pelitos), Rocinha (siltitos e fosforitos), Lagamar (calcários e dolomitos estromatolíticos), Serra do Garrote (siltitos e arenitos finos), Serra do Poço Verde (dolomitos), Morro do Calcário (dolomitos) e Lapa (siltitos e lentes de dolomitos). As rochas deste grupo foram afetadas por uma deformação epidérmica (*thin-skin*) associada à orogênese da Faixa Brasília, gerando sistemas de dobras e zonas de cisalhamento (Dardenne, 2000; Coelho *et al.*, 2008; Valeriano *et al.*, 2008). Geralmente, o metamorfismo da Faixa Brasília diminui de oeste para leste, sendo de baixo grau na área do Grupo Vazante (Dardenne, 2000; Valeriano *et al.*, 2008).

Misi *et al.* (2011; 2014) propuseram uma nova organização estratigráfica para o Grupo Vazante, com uma importante inversão estratigráfica resultante de uma falha inversa localizada no topo da Formação Rocinha. Essa falha colocou rochas mais antigas (Formação Lagamar) sobre rochas mais recentes (Formações Rocinha e Santo Antônio do Bonito; Figura 1). As isócronas Re-Os de folhelhos da Formação Serra do Garrote apresentam idades de cerca de 1,3 Ga (Geboy *et al.*, 2013). Além disso, os dados U-Pb em zircões detriticos desta formação apresentam um pico mais jovem ~ 1,3 Ga (Rodrigues *et al.*, 2012), suportando essa nova interpretação estratigráfica proposta por Misi *et al.* (2014). Como os carbonatos da Formação Lagamar estão em contato gradacional com a Formação Serra do Garrote, estes são considerados da mesma idade, Mesoproterozoicos.

3 Materiais e Métodos

Métodos tradicionais de análise de fácies sedimentares e interpretação de modelos deposicionais foram aplicados, isto é, discriminação de fácies e associação de fácies e seus sub-ambientes (Dalrymple, 2010). Folk (1959) foi usado para classificar as rochas carbonáticas, com base no tamanho dos grãos, usando os termos dolorrudito, dolarenito e dololuto para seus equivalentes dolomitizados.

Para estudos químicos e isotópicos, duas seções foram escolhidas para coletas de amostras: Joaquim e Geraldo Américo (Figura 1), ambas perpendiculares à empresa CALA (Calcários de Lagamar).

A primeira foi amostrada em um testemunho de sondagem de cerca 100 m de profundidade e diâmetro aproximado de 5 cm e a segunda, ao longo de bancadas de lavra, com espessura total de 50 m. Estas amostras foram pulverizadas utilizando uma micro broca de ponta adiantada, evitando veios e porções recristalizadas. As coordenadas das seções amostradas bem como algumas das fácies descritas para interpretação paleoambiental encontram-se na Tabela 1.

Ponto	E	W
Seção Joaquim	307529	7995535
Seção Geraldo Américo	302336	7990985
Figura 3A e C Microbialito crenulado	303452	7987503
Figura 3B Estromatólito colunar	303491	7987233
Figura 3D Dolarenito oncolítico	303230	7986701
Figura 3E Brecha intraformacional	307578	7995805

Tabela 1 Coordenadas geográficas das seções amostradas e fácies descritas (UTM 23S WGS84).

Nestas mesmas duas seções, 10 amostras foram selecionadas para a litoquímica, que foram analisadas nos laboratórios do SGS Geosol, na cidade de Vespasiano (MG). As amostras foram medidas com ICP-OES e ICP-MS após fusão com metaborato/tetraborato de lítio e digestão com ácido nítrico diluído. Os limites de detecção são 0,01% para óxidos e 0,1 ppm para a maioria dos elementos traço, alcançando valores de até 0,01 ppm para elementos terras raras pesados (ETRP), como Tb, Tm e Lu. Os Elementos Terras Raras + Ítrio (ETR+Y), foram normalizados pelo PAAS (Taylor & McLennan, 1985) e as anomalias lineares foram calculadas de acordo com Bau & Dulski (1996) usando as seguintes fórmulas: $Ce/Ce^* = Ce / (2Pr - Nd)$; $Eu/Eu^* = Eu / (0,67Sm + 0,33Tb)$; $Pr/Pr^* = Pr / (0,5Ce + 0,5Nd)$ e $La/La^* = La / (Pr^*(Pr/Nd)^2)$.

Para isótopos estáveis de carbono e oxigênio, foram analisadas 38 amostras e, das mesmas amostras, 5 amostras para a razão $^{87}Sr/^{86}Sr$. Os isótopos de carbono e oxigênio foram analisados no LABISE - Laboratório de Isótopos Estáveis da Universidade Federal de Pernambuco. Os de estrôncio foram analisados no Laboratório de Geocronologia, Universidade de Brasília (veja detalhes em Marques *et al.*, 2015).

4 Estratigrafia e Sedimentologia da Formação Lagamar

O Grupo Vazante, próximo ao município de Lagamar, é formado pela Formação Santo Antônio do Bonito (metadiamicritos e metarenitos) e pela Formação Rocinha (metapelitos e fosforitos). No topo destas, separados por uma falha inversa (Figura 1), ocorre a Formação Lagamar (carbonatos) e a Formação Serra do Garrote (metapelitos e metarenitos).

A Formação Lagamar pode ser subdividida em dois membros: Arrependido e Sumidouro, com uma espessura média de 100 a 150 m, conforme Marques (2015) e Marques *et al.* (2015) (Figura 2). O Membro Arrependido tem ocorrência local no córrego homônimo (no nordeste da área, Figura 1), sendo representado por ortoconglomerados com matriz silto-arenosa e clastos de seixos e matacões de pelito, arenito laminado, quartzito, ritmito e quartzo, intercalados com pelitos laminados, com espessura de cerca de 40 metros. Essas litofácies sugerem uma sedimentação gravitacional por fluxo de detritos num contexto de *fan delta*, em provável contexto extensional. Esta sedimentação subaquosa é interdigitada com rochas carbonáticas, registrando a transição do Membro Arrependido para a plataforma carbonática do Membro Sumidouro (Marques, 2015; Marques *et al.*, 2015).

5 Associação de Fácies no Complexo Recifal do Membro Sumidouro

O Membro Sumidouro é constituído por diversas litofácies carbonáticas, destacando-se calcarenitos, calcilutitos, calcirruditos e calcários estromatolíticos. Foi possível identificar três associações de litofácies, associações AF1, AF2 e AF3.

A Associação de Fácies 1 (AF1) é composta por calcirruditos, calcarenitos, dolarenitos, dololutitos e alguns níveis de brechas dolomíticas, relacionadas a um subambiente de frente de recife, de alta energia, com intenso retrabalhamento por ondas, próximos do declive do recife. Os calcirruditos mostram intraclastos angulosos em matriz calcítica (Figura 3E). A Associação de Fácies 2 (AF2) consiste em rochas carbonáticas dolomitizadas, mostrando vários tipos morfológicos de estromatólitos colunares

Associação de Fácies, Litoquímica e Geologia Isotópica da Formação Lagamar
(Grupo Vazante, Minas Gerais): uma Plataforma Carbonática no Mesoproterozoico

Carla Sofia de Sousa Marques; Alexandre Uhlein; Gabriel Jubé Uhlein; Gustavo Diniz Oliveira; Alcides Nóbrega Sial & Carlos José Souza de Alvarenga

Figura 1 Localização da área estudada, mapa geológico e seção geológica NW-SE no Grupo Vazante, município de Lagamar, adaptado de Marques *et al.* (2015).

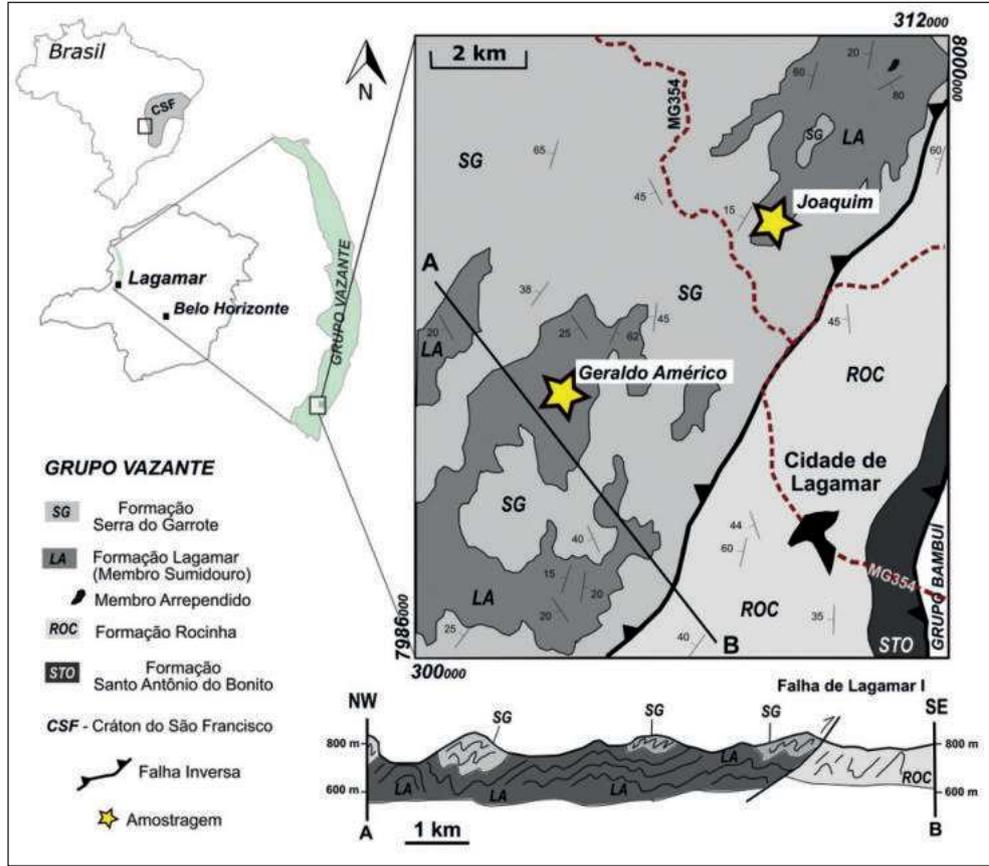
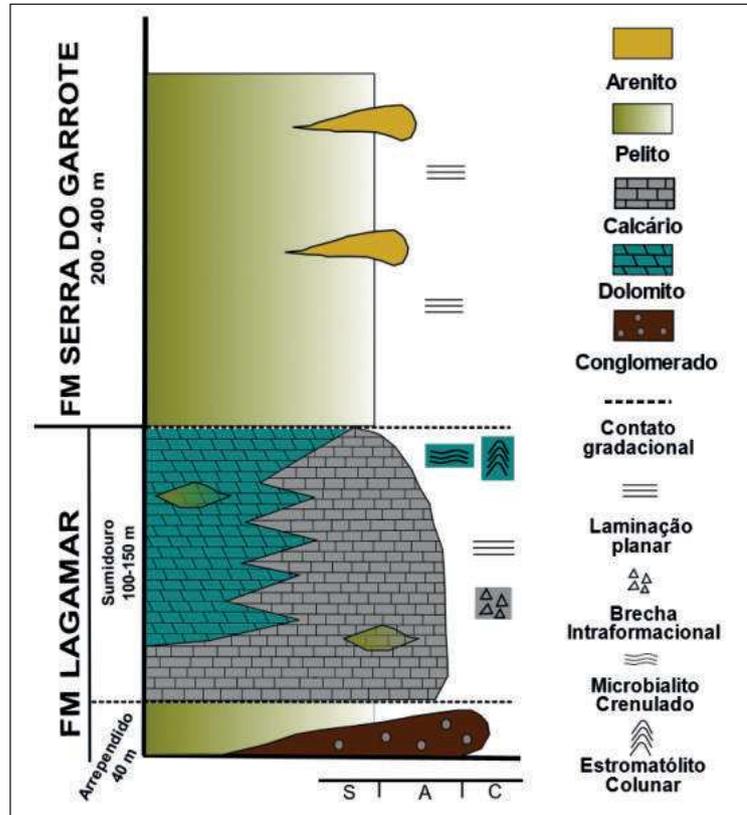


Figura 2 Coluna estratigráfica simplificada das formações Lagamar e Serra do Garrote na região de Lagamar (Marques *et al.*, 2015).



Associação de Fácies, Litoquímica e Geologia Isotópica da Formação Lagamar
(Grupo Vazante, Minas Gerais): uma Plataforma Carbonática no Mesoproterozoico

Carla Sofia de Sousa Marques; Alexandre Uhlein; Gabriel Jubé Uhlein; Gustavo Diniz Oliveira; Alcides Nóbrega Sial & Carlos José Souza de Alvarenga

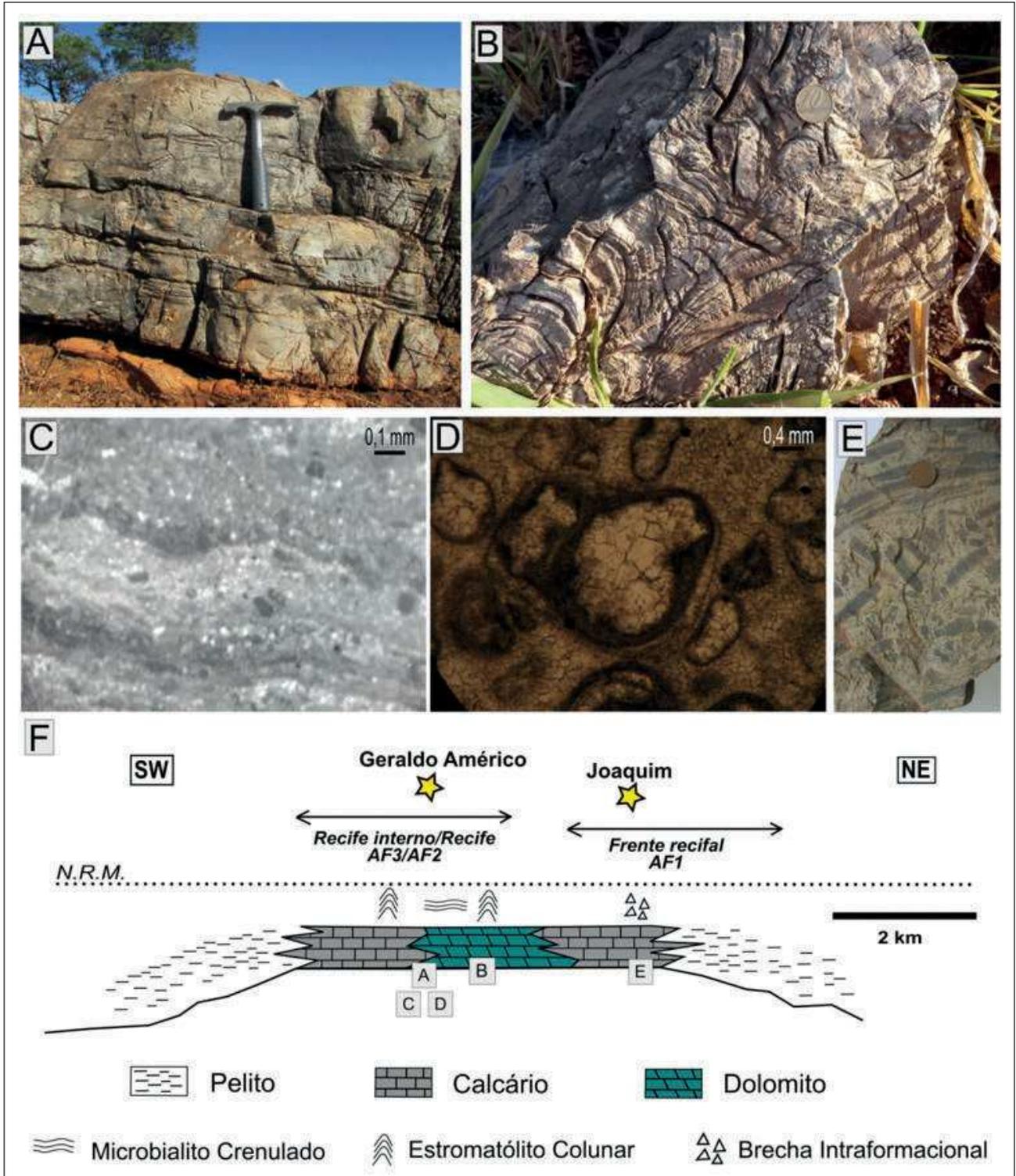


Figura 3 Litofácies do Membro Sumidouro: A) Microbialito crenulado, Fazenda Sumaré, recife interno AF3; B) Estromatólito colunar, Fazenda Sumaré, recife AF2; C) Fotomicrografia do microbialito crenulado, Fazenda Sumaré, recife interno AF3, 40x nicóis paralelos; D) Fotomicrografia do doloarenito oncolítico (AF3) onde os núcleos foram substituídos por cristais de carbonato em um cimento micrítico, 10x nicóis paralelos; E) Brecha intraformacional, frente recifal AF1; F) Reconstrução paleoambiental da plataforma carbonática (com barreira) do Membro Sumidouro e localização aproximada das seções amostradas.

e ramificados, interpretados como biohermas, em contexto marinho raso (zona fótica). Dardenne *et al.* (2005) descreveram estromatólitos tipo *Conophyton Metula Kirichenko*, no Córrego Carrapato (Figura 3B). Próximo deste córrego, na Fazenda Sumaré, Favoreto (2011) classificou sete tipos morfológicos de estromatólitos: subvertical, cumulus estratiforme, colunar coniforme, cilíndrico a subcilíndrico, turbinado, complexo ramificado dicotômico e ramificado. A Associação de Fácies (AF3) é composta por microbialitos crenulados (Figura 3A e C), dolarenitos oncolíticos (Figura 3D) e siltitos. O desenvolvimento dessas esteiras e oncoides são favorecidos pelo ambiente raso e de baixa energia, com alta salinidade no interior do recife, protegido pela barreira do recife (bioherma). Estes oncoides também foram descritos como aglomerados de carbonato oncoidal microbiano polinucleados (Favoreto, 2011).

As associações de fácies carbonáticas relacionam-se com um complexo recifal, onde é possível definir e separar subambientes em relação à barreira recifal conforme Tucker & Wright (1990) e James & Bourque (1992). Na frente do bioherma, a frente recifal é representada pela AF1, no bioherma do recife pela AF2 e atrás do bioherma o recife interno é representado pela AF3 (Figura 3F).

Um exemplo de uma estrutura recifal bem preservada em rochas mesoproterozoicas é a Formação Victor Bay (Canadá), onde um recife estromatolítico apresenta quatro tipos de recifes distintos, refletindo diferentes fatores dinâmicos paleoambientais e do nível do mar (Narbonne & James, 1996). Outro exemplo regional é o Grupo Paranoá, onde Campos *et al.* (2012) descrevem plataforma mista carbonato-siliciclástica durante um ciclo regressivo/transgressivo. Santos *et al.* (2000) argumentam que os carbonatos deste grupo foram depositados em uma plataforma aberta totalmente conectada ao oceano.

No Grupo Vazante, Oliveira (2013) descreve a evolução de duas bacias na Formação Serra do Poço Verde, onde a bacia inferior foi desenvolvida em uma rampa e bacia superior em uma plataforma protegida. A Formação Lagamar (Membro Sumidouro) exhibe evidências sedimentológicas que suportam uma deposição ao redor de uma estrutura recifal, semelhante à parte superior da Formação Serra do Poço Verde.

6 Litoquímica

As análises geoquímicas mostram teores baixos de TiO_2 e Al_2O_3 , porém o SiO_2 (0,6 a 8,7%) é alto. Quanto aos elementos traço, a maioria das amostras são ricas em Ba (24 a 288 ppm), exceto C28 e CA1. O Sr na seção Geraldo tem valores entre 25 e 224 ppm, enquanto que na seção Joaquim, apresenta entre 703 e 2630 ppm. As concentrações dos elementos Rb, Th e Zr são baixas a moderadas, com o Zr mostrando mais de 44 ppm (Tabela 2).

Em ambas as seções, os elementos terras raras e ítrio ($\Sigma ETR+Y$), são entre 15,52 e 47,00 ppm e a razão Y/Ho varia de 28,05 a 39,00. O padrão de distribuição dos ETR+Y, padronizado pelo PAAS, mostra um gráfico com um padrão plano sem anomalias significativas, exceto a anomalia de La (Figura 4). A maior e mais importante anomalia é positiva com La/La^* variando de 1,33 a 6,33. Quase todas as anomalias de Eu são negativas, variando entre 0,75-0,98, com apenas uma ligeiramente positiva (amostra CA10). Por sua vez, as anomalias de Ce são positivas, variando de 1,00 a 1,25, exceto para a amostra C22 negativa ($Ce/Ce^* = 0.87$). Por fim, as anomalias de Pr são na maioria negativas, variando entre 0,86 e 1,00, com apenas uma delas positiva (amostra C22, $Pr/Pr^* = 1,07$).

7 Isótopos Estáveis de Carbono, Oxigênio e Estrôncio

Nestas amostras, as quantidades de Sr são mais de 200 ppm, chegando até 2630 ppm (amostra C18). Todas as amostras analisadas para química apresentam razões Mn/Sr baixas (< 7.0 , mas maioria é < 1.0). Devido à dolomitização, as razões Mg/Ca são mais elevadas na seção Geraldo Américo (>0.97) do que na seção Joaquim (>0.1). Os resultados de isótopos estáveis foram plotados ao longo da coluna (Figura 5, Tabela 3). No perfil Geraldo Américo, o $\delta^{13}C$ variam de -0.14 a 0.91 ‰ e o $\delta^{18}O$ de -6.89 a -3.18 ‰. A curva do carbono acompanha a mudança litológica, onde os valores ficam ligeiramente menores nas porções dolomíticas. No perfil Joaquim, os valores de carbono são de grosso modo constantes,

**Associação de Fácies, Litoquímica e Geologia Isotópica da Formação Lagamar
(Grupo Vazante, Minas Gerais): uma Plataforma Carbonática no Mesoproterozoico**

Carla Sofia de Sousa Marques; Alexandre Uhlein; Gabriel Jubé Uhlein; Gustavo Diniz Oliveira; Alcides Nóbrega Sial & Carlos José Souza de Alvarenga

Amostras	Joaquim						Geraldo Américo			
	C1	C6	C10	C17	C22	C28	CA1	CA3	CA7	CA10
SiO ₂ (Wt%)	8,95	7,08	8,76	6,83	7,63	0,53	0,61	7,34	5,17	2,57
Al ₂ O ₃	2,03	1,88	1,99	1,73	1,37	-	-	1,79	1,11	0,42
Fe ₂ O ₃	1,12	0,73	0,84	0,88	0,83	0,14	0,25	0,98	0,51	0,64
CaO	45,8	46,4	45,2	49,2	49,1	55,6	31,3	38,7	28,8	30,1
MgO	2,63	2,92	3,17	0,91	0,72	0,16	21,7	9,34	20,1	20,6
TiO ₂	0,13	0,16	0,18	0,16	0,13	0,02	0,01	0,11	0,06	0,03
P ₂ O ₅	0,019	0,021	0,023	0,02	0,016	-	-	0,015	0,013	-
Na ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K ₂ O	0,79	0,82	0,86	0,84	0,66	0,05	0,05	0,94	0,56	0,24
MnO	0,02	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,02	-	0,02
Cr ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LOI	38,05	38,84	38,06	38,32	38,33	43,35	46,13	39,66	43,57	45,17
Total	99,54	98,86	99,08	98,89	98,79	99,85	100,06	98,9	99,89	99,79
Rb (ppm)	19	19,2	21	17,1	14	1,5	16	17,4	11,9	4,5
Sr	1119	802	1026	923	913	703	25	224	132	40
Ba	120	122	127	151	109	25	24	203	288	203
Th	0,5	0,2	-	1,1	0,5	-	-	-	-	0,7
U	1,11	1,8	2,01	1,29	1,52	0,47	0,78	1,82	0,31	0,5
Zr	32	44	41	33	28	13	19	24	20	13
Hf	0,85	1,08	0,72	0,87	0,52	-	0,22	0,22	0,08	0,66
Nb	5,94	1,96	0,37	-	-	-	-	-	-	-
Ta	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
V	41	28	39	17	21	45	8	-	-	-
Co	3,2	2,5	2,8	3	2,6	1	0,8	3	1,7	1,1
Ni	19	12	12	14	14	13	7	12	11	9
La (ppm)	11,9	10,6	9,9	5,2	6,9	6,8	9,9	8	8	4,2
Ce	15,4	15,2	13,6	7,1	9,4	3,9	4,8	10,6	9,9	6,9
Pr	1,69	1,65	1,42	0,77	1,2	0,38	0,43	1,17	1,11	0,71
Nd	6,7	6,4	5,7	3,2	4,6	1,5	1,8	4,7	4,3	3,1
Sm	1,2	1,3	1,1	0,6	0,7	0,2	0,2	0,9	0,8	0,6
Eu	0,23	0,19	0,2	0,11	0,13	-	-	0,15	0,14	0,12
Gd	1,13	1,19	1,15	0,63	0,85	0,29	0,4	0,84	0,66	0,55
Tb	0,17	0,18	0,17	0,09	0,09	-	0,05	0,11	0,1	0,08
Dy	1,08	1,09	1,03	0,64	0,64	0,3	0,35	0,78	0,58	0,51
Y	6,1	6,17	5,85	3,86	3,69	1,95	2,52	4,55	3,27	2,97
Ho	0,18	0,22	0,19	0,12	0,11	0,05	0,07	0,14	0,1	0,1
Er	0,6	0,7	0,67	0,42	0,36	0,15	0,23	0,49	0,31	0,3
Tm	0,06	0,08	0,08	0,05	-	-	-	0,05	-	-
Yb	0,5	0,6	0,5	0,4	0,3	-	0,1	0,4	0,3	0,3
Lu	0,06	0,08	0,08	-	-	-	-	0,05	-	-
ΣETR+Y	47	45,65	41,64	23,19	28,97	15,52	20,85	32,93	29,57	20,44
Y/Ho	33,89	28,05	30,79	32,17	33,55	39	36	32,5	32,7	29,7
Eu/Eu*	0,98	0,75	0,9	0,92	0,98	-	-	0,89	0,93	1,04
Ce/Ce*	1,04	1,03	1,11	1,11	0,87	1,17	1,36	1,05	1	1,25
Pr/Pr*	0,98	0,98	0,95	0,95	1,07	0,92	0,86	0,97	1	0,9
La/La*	1,74	1,52	1,76	1,83	1,33	4,37	6,33	1,73	1,7	1,77
Y/Ho _{SN}	1,24	1,03	1,13	1,18	1,23	1,43	1,32	1,19	1,2	1,09
Nd/Yb _{SN}	1,11	0,89	0,95	0,67	1,28	-	1,5	0,98	1,19	0,86

Tabela 2 Elementos químicos das rochas carbonáticas analisadas „SN = Shale Normalized pelo PAAS (Taylor & McLennan, 1985) e anomalias dos ETR de acordo com Bau & Dulski (1996).

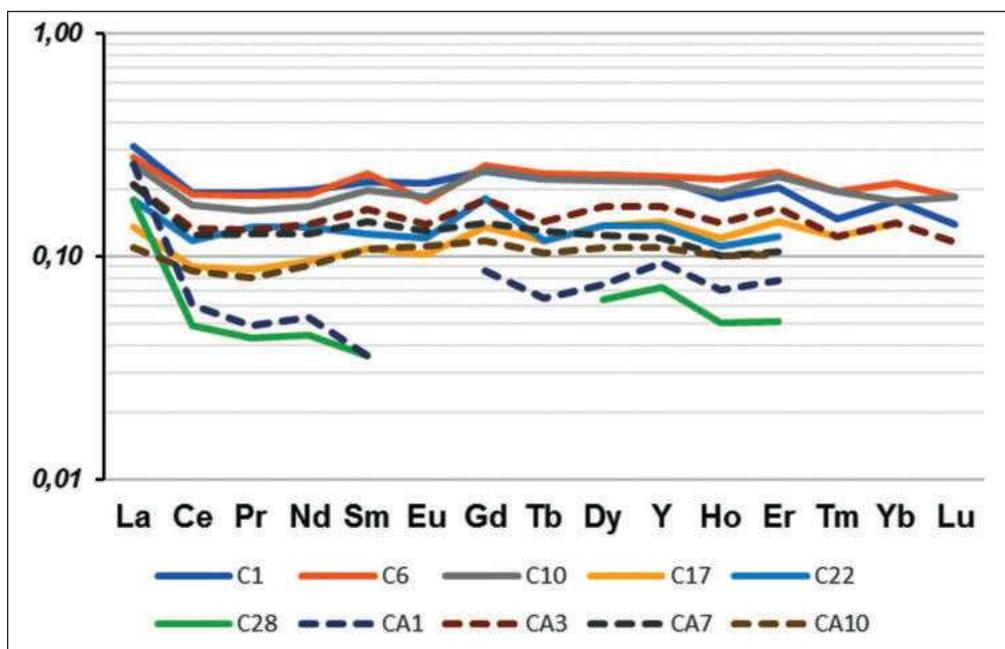


Figura 4 Distribuição dos Elementos Terras Raras + Ítrio (ETR+Y), normalizado pelo PAAS (Post-Archean Australian Shale) de Taylor & McLennan (1985).

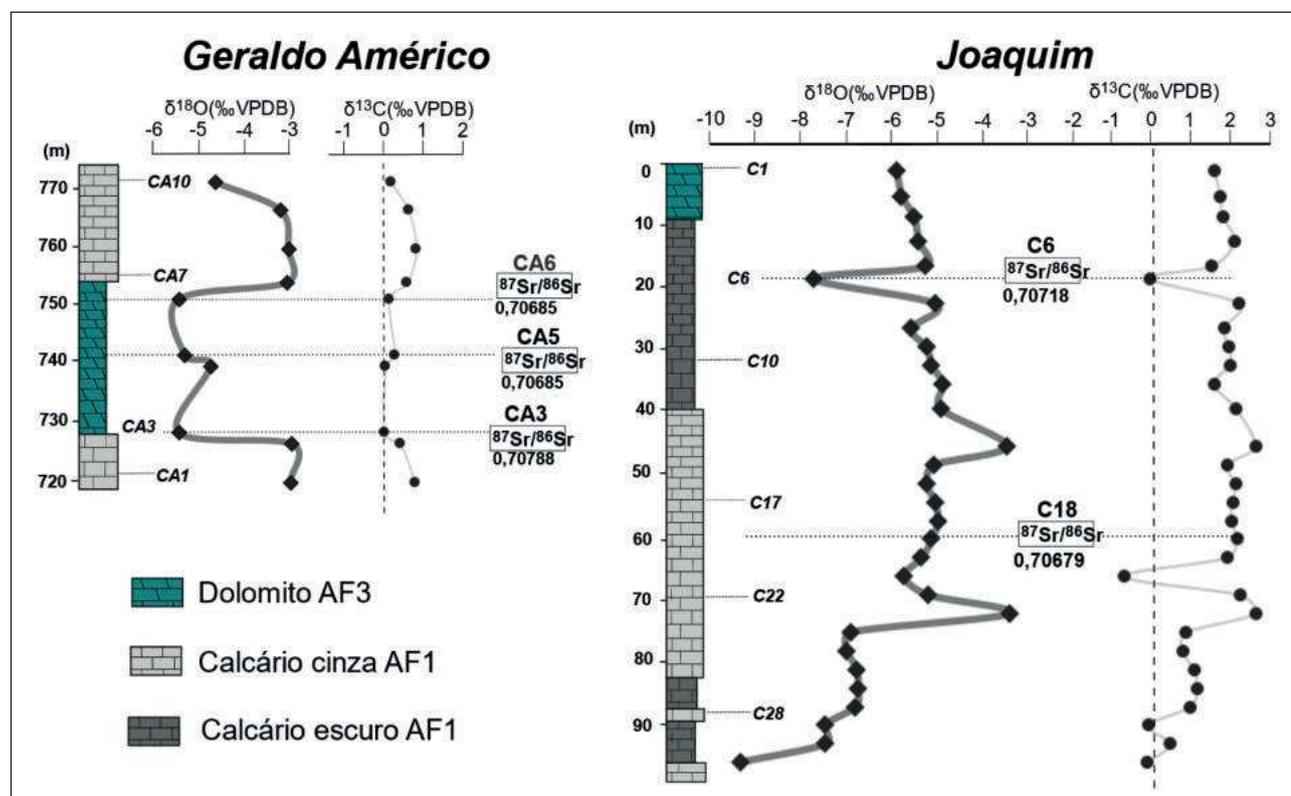


Figura 5 Perfis isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$ e resultados de razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ao longo das seções estudadas.

variando entre -0.86 e 2.2‰ e os de oxigênio mais sensíveis a processos de diagênese e dolomitização (Jaffrés *et al.*, 2007), variando mais os seus valores, entre -9.82 e -3.54 ‰. As amostras de ambas seções apresentam moderada a alta covariância entre $\delta^{13}\text{C}$ e

$\delta^{18}\text{O}$ ($R^2 = 0.77$; 0.68). As razões de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ variam de 0.7068 a 0.7078, e covariam positivamente com Mg/Ca ($R^2 = 0.92$) e Mn/Sr ($R^2 = 0.96$) enquanto covariam negativamente com a abundância de Sr.

Associação de Fácies, Litoquímica e Geologia Isotópica da Formação Lagamar
(Grupo Vazante, Minas Gerais): uma Plataforma Carbonática no Mesoproterozoico

Carla Sofia de Sousa Marques; Alexandre Uhlein; Gabriel Jubé Uhlein; Gustavo Diniz Oliveira; Alcides Nóbrega Sial & Carlos José Souza de Alvarenga

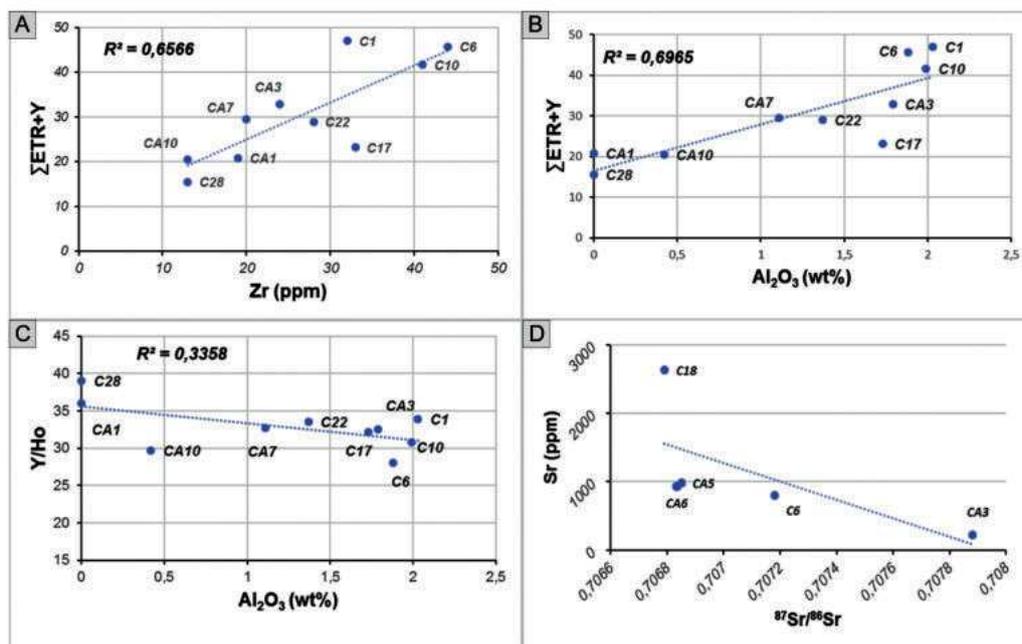


Figura 6 A) Correlações de Somatório de Elementos Terras Raras e Ítrio ($\Sigma\text{ETR}+\text{Y}$) com Zr (ppm); B) $\Sigma\text{ETR}+\text{Y}$ com Al_2O_3 (wt%); C) Y/Ho com Al_2O_3 (wt%); e D) Correlação entre Sr (ppm) e razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$.

	Amostra	(m)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰ _{VPDB})	$\delta^{18}\text{O}$ (‰ _{VPDB})	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Mn (ppm)	Sr (ppm)	Mn/Sr	Mg (ppm)	Ca (ppm)	Mg/Ca
Geraldo Américo	CA10	773	0.07	-5.69	-	281,93	40	7,05	510912	536733	0,95
	CA9	768	0.65	-3.55	-	-	-	-	-	-	-
	CA8	761	0.91	-3.29	-	-	-	-	-	-	-
	CA7	755	0.61	-3.33	-	140,96	132	1,07	498511	513552	0,97
	CA6	752	0.01	-6.89	0,70685 +/-1	2,82	980	0,003	1348	14345	0,09
	CA5	742	0.19	-6.69	0,70685 +/-1	8,74	980	0,009	1228	15001	0,08
	CA4	740	-0.11	-5.85	-	-	-	-	-	-	-
	CA3	728	-0.14	-6.89	0,70788 +/-1	281,93	224	1,26	231646	690085	0,34
	CA2	726	0.38	-3.18	-	-	-	-	-	-	-
	CA1	719	0.88	-3.23	-	140,96	25	5,64	538194	558131	0,96
Joaquim	C1	0,5	1.25	-6.17	-	281,93	1119	0,25	65228	816690	0,08
	C2	4,7	1.39	-6.05	-	-	-	-	-	-	-
	C3	8	1.45	-5.76	-	-	-	-	-	-	-
	C4	12	1.72	-5.66	-	-	-	-	-	-	-
	C5	16	1.19	-5.50	-	-	-	-	-	-	-
	C6	18	-0.27	-8.09	0,70718 +/-1	140,96	802	0,18	72420	827389	0,09
	C7	22	1.82	-5.27	-	-	-	-	-	-	-
	C8	26	1.46	-5.84	-	-	-	-	-	-	-
	C9	29	1.59	-5.48	-	-	-	-	-	-	-
	C10	32	1.62	-5.35	-	140,96	1026	0,14	78621,03	805991,44	0,1
	C11	35	1.23	-5.09	-	-	-	-	-	-	-
	C12	39	1.76	-5.14	-	-	-	-	-	-	-
	C14	45	2.20	-3.61	-	-	-	-	-	-	-
	C15	48	1.55	-5.30	-	-	-	-	-	-	-
	C16	51	1.74	-5.47	-	-	-	-	-	-	-
	C17	54	1.68	-5.28	-	140,96	923	0,15	22569	877318	0,03
	C18	57	1.64	-5.21	0,70679 +/-1	2,54	2630	0,001	305	14486	0,02
	C19	60	1.79	-5.35	-	-	-	-	-	-	-
	C20	63	1.53	-5.59	-	-	-	-	-	-	-
	C21	66	-0.86	-6.00	-	-	-	-	-	-	-
	C22	69	1.85	-5.44	-	140,96	913	0,15	17857	875534	0,02
	C23	72	2.20	-3.54	-	-	-	-	-	-	-
C24	75	0.59	-7.25	-	-	-	-	-	-	-	
C25	78	0.51	-7.34	-	-	-	-	-	-	-	
C26	81	0.76	-7.10	-	-	-	-	-	-	-	
C27	84	0.85	-7.08	-	-	-	-	-	-	-	
C28	87	0.68	-7.13	-	140,96	703	0,2	3968	991440	0	
C29	90	-0.29	-7.84	-	-	-	-	-	-	-	
C30	93	0.22	-7.82	-	-	-	-	-	-	-	
C31	96	-0.34	-9.82	-	-	-	-	-	-	-	

Tabela 3 Composição dos $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$ das seções amostradas com alguns elementos químicos. Dados isotópicos carbono e oxigênio em VPDB, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ e relações Mg/Ca Mn/Sr.

8 Discussões

Os carbonatos do Membro Sumidouro apresentam altos valores de Zr (13-44 ppm), Rb (1,5-19,2 ppm), SiO₂ (0,53-8,95 wt%), e Al₂O₃ (0,42-2,03 wt%), sugerindo contaminação detrítica. Quanto à razão de Y/Ho, os valores ficam entre 29 e 39. Nos oceanos modernos, esta razão é tipicamente >50, mas dependendo fortemente da salinidade (Nozaki *et al.*, 1997), enquanto que pelitos têm razões entre 27-29. Carbonatos com baixas taxas Y/Ho, como os deste trabalho, indicam calcários impuros ou precipitados em águas com baixa salinidade (Frimmel, 2009). Os diagramas da Figura 6 (A, B e C) mostram que a quantidade de Σ ETR+Y aumenta e que a razão Y/Ho diminui quanto mais abundante são quantidades de Al₂O₃ e Zr.

Os dados dos ETR dos carbonatos da Formação Lagamar não seguem o padrão típico ETR/PAAS (*e.g.* Alibo & Nozaki, 1999), devido a contaminantes detríticos mascarando o sinal original. No entanto, existe uma pequena variabilidade dos padrões de distribuição dos ETR, pois algumas amostras apresentam enriquecimentos de terras raras leves (ETRL), representadas por Nd/Yb_{SN} altas (>1,5). Porém, a ausência de anomalias de Eu afastam a hipótese de alteração provocada por hidrotermalismo (Douville *et al.*, 1999). A mais provável fonte de enriquecimento em ETRL é a interação entre contribuição de siliciclásticos e fluidos de baixa temperatura, provenientes da circulação de águas subterrâneas cársicas (*e.g.*, Frimmel & Lane, 2005).

Durante a Era Mesoproterozoica, o $\delta^{13}\text{C}$ varia dentro dos limites de 0-3,5 ‰ entre 1850 e 1250 Ma, registrando uma estabilidade nos valores próximos de 3,5 ‰ após 1300-1250 Ma. A Era Mesoproterozoica foi um período de quiescência tectônica, em contraste com rifteamentos e orogêneses que ocorreram no início e no fim (Anbar & Knoll, 2002). Kah *et al.* (2012) estudaram o Grupo Atar (Mauritânia) e, pelos valores de $\delta^{13}\text{C}$, o consideraram correlato ao Grupo Vazante, como já sugerido por Azmy *et al.* (2009), com dados das formações Serra do Poço Verde e Morro do Calcário. Os dados isotópicos de carbono dos carbonatos Lagamar parecem relacio-

nados ao Mesoproterozoico, como, por exemplo, a Formação Cliff Society do Canadá (Kah *et al.*, 2001) ou o Grupo Bangemall da Austrália (Buick *et al.*, 1995). Além disso, esses valores de oxigênio muito negativos e baixos valores de carbono positivo são semelhantes aos perfis do Grupo Paranoá (Alvarenga *et al.*, 2014) e do Supergrupo Espinhaço (Santos *et al.*, 2004), ambos ambos os grupos com idades do Mesoproterozoico.

Os dados isotópicos ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr abaixo de 0,7060, são comuns em todo o Mesoproterozoico (Bartley *et al.*, 2001; Kah *et al.*, 2001). Segundo Bartley *et al.* (2001), os dados isotópicos ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr podem ser interpretados no contexto do regime tectônico evolutivo do Mesoproterozoico, apresentando valores mais homogêneos do que no Neoproterozoico. As três amostras com valores ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr mais baixos, de cerca de 0,7068 na Formação Lagamar (Figura 6D), são mais semelhantes aos valores registrados no Neoproterozoico (Toniano-Criogeniano) (Halverson *et al.*, 2005), do que os valores <0,7065, típicos do final do Mesoproterozoico (Kah *et al.*, 2001). No entanto, devido à escassez de amostras com sinais isotópicos preservados, mais dados são necessários para melhor compreender a idade deposicional da Formação Lagamar e do Grupo Vazante.

9 Conclusões

O Membro Sumidouro da Formação Lagamar é uma sucessão carbonática depositada em um alto estrutural, constituindo um complexo recifal, depositado durante um período distensivo da bacia. Este complexo recifal constitui sub-ambiente em relação à barreira recifal, compreendendo 3 associações de fácies: frente recifal (AF1), recife (AF2) e recife interno (AF3).

Os altos valores de Zr (13-44 ppm), Rb (1,5-19,2 ppm), SiO₂ (0,53-8,95 wt%), e Al₂O₃ (0,42-2,03 wt%), sugerem contaminação detrítica (siliciclástica) neste ambiente marinho. Devido às covariâncias entre $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{18}\text{O}$ e à variabilidade litológica, sugere-se que o sinal paleoambiental primário foi alterado devido a alterações pós-diagenéticas, como dolomitização e/ou interações fluido-rocha. Quanto aos resultados de ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr, são provavelmente valores com

sinais isotópicos alterados, devido à covariância positiva entre as razões Mg/Ca e Mn/Sr e, a covariação negativa com a abundância de Sr. As amostras com baixas razões isotópicas de Sr, ou seja, as que têm valores em torno de 0,7068, são aquelas que podem ter preservado o sinal Sr primário da água do oceano.

As condições desta plataforma com barreira, isto é, baixa salinidade e contribuição detrítica, afetaram o registro químico e isotópico, à semelhança de outras plataformas correlatas no Grupo Vazante no mesmo contexto de margem passiva durante o Meso-Neoproterozoico. Posteriormente, os eventos geotectônicos regionais também influenciaram outras alterações pós-diagenéticas.

10 Agradecimentos

À empresa Calcários de Lagamar por prover facilidades para amostragem; à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela bolsa de doutorado da primeira autora. A pesquisa teve apoio financeiro dos projetos CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico nº 447449/2014-1 e FAPEMIG – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais, processo nº: CRA – APQ01711-14.

11 Referências

- Alibo, D.S. & Nozaki, Y. 1999. Rare earth elements in seawater: particle association, shale normalization, and Ce oxidation. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 63: 363–372.
- Alvarenga, C.J.S.; Santos, R.V.; Vieira, L.C.; Lima, B.A.F. & Mancini, L.H. 2014. Meso-Neoproterozoic isotope stratigraphy on carbonates platforms in the Brasília Belt of Brazil. *Precambrian Research*, 251: 164-180.
- Alvarenga, C.J.S.; Giustina, M.E.S.D.; Silva, N.G.C.; Santos, R.V.; Gioia, S.M.C.L.; Guimarães, E.M.; Dardenne, M.A.; Sial, A.N. & Ferreira, V.P. 2007. Variações dos isótopos de C e Sr em carbonatos pré e pós-glaciação Jequitai (Esturtiano) na região de Bezerra-Formosa, Goiás. *Revista Brasileira de Geociências*, 37(4): 147-155.
- Anbar, A.D. & Knoll, A.H. 2002. Proterozoic ocean chemistry and evolution: a bioinorganic bridge? *Science*, 29: 1137–1142.
- Azmy, K.; Sylvester, P. & Oliveira, T.F. 2009. Oceanic redox conditions in the Late Mesoproterozoic recorded in the upper Vazante Group carbonates of São Francisco Basin, Brazil: Evidence from stable isotopes and REEs. *Precambrian Research*, 168: 259–270.
- Azmy, K.; Kaufman, A.J.; Misi, A. & Oliveira, T.F. 2006. Isotope stratigraphy of the Lapa Formation, São Francisco Basin, Brazil: Implications for Late Neoproterozoic glacial events in South America. *Precambrian Research*, 149: 231-248.
- Azmy, K.; Veizer, J.; Misi, A.; Oliveira, T.F. de; Sanches, A.L. & Dardenne, M.A. 2001. Dolomitizations an isotope stratigraphy of the Vazante Formation, São Francisco Basin, Brazil. *Precambrian Research*, 112: 303-329.
- Bartley, J.K.; Semikhatov, M.A.; Kaufman, A.J.; Knoll, A.H.; Pope, M.C. & Jacobsen, S.B. 2001. Global events across the Mesoproterozoic–Neoproterozoic boundary: C and Sr isotopic evidence from Siberia. *Precambrian Research*, 111: 165–202.
- Bau, M. & Dulski, P. 1996. Distribution of yttrium and rare-earth elements in the Penge and Kuruman iron-formations, Transvaal Supergroup, South Africa. *Precambrian Research*, 79: 37–55.
- Buick, R.; Des Marais, D.J. & Knoll, A.H. 1995. Stable isotopic compositions of carbonates from the Mesoproterozoic Bangemall Group, northwestern Australia. *Chemical Geology*, 123: 153–171.
- Campos, J.E.G.; Bogossian, J. & Carvalho, R.M. 2012. Sedimentology of the Psammo-pelitic-carbonate Unit, Paranoá Group, and Sete Lagoas Formation, Bambuí Group: examples of mixed carbonate siliciclastic sedimentation in the Proterozoic of the Brasília Fold Belt. *Revista Brasileira de Geociências*, 42(3): 513-522.
- Caxito, F.A.; Halverson, G.P.; Uhlein, A.; Stevensson, R.; Dias, T.G. & Uhlein, G.J. 2012. Marinoan glaciation in east Central Brazil. *Precambrian Research*, 200–203: 38–58.
- Coelho, J.C.C.; Martins-Neto, M.A. & Marinho, M.S. 2008. Estilos estruturais e evolução tectônica da porção mineira da bacia proterozóica do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, 38(2): 149-165.
- Dardenne, M.A.; Campos, J.E.G. & Campos Neto, M.C. 2005. Estromatólitos colunares no Sumidouro do Córrego Carrapato, Lagamar (MG) - Registro de construções dolomíticas cilindro-cônicas por ciano-bactérias no Proterozoico do Brasil. In: WINGE, M.; SCHOBENHAUS, C.; BERBERT-BORN, M.; QUEIROZ, E.T.; CAMPOS, D.A. & SOUZA, C.R.G. (Edit.) *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*, Volume II, p.311-320.
- Dardenne, M.A. 2001. Lithostratigraphic sedimentary sequences of the Vazante Group. In: A. MISI, A. & TEIXEIRA, J.B.G. (eds.) *Proterozoic Base Metal Deposits of Africa and South America*, IGCP 450 1st Field Workshop, Belo Horizonte and Paracatu, Brazil: p.48-50.
- Dardenne, M.A. 2000. The Brasília fold belt. In: CORDANI, U.G.; MILANI, E.J.; THOMAZ FILHO, A. & CAMPO, D.A. (Eds.) *Tectonic Evolution of South América*, p.231-264.
- Dardenne, M.A.; Freitas-Silva, F.H.; Souza, J.C.F. & Campos, J.E.G. 1998. *Evolução tectono sedimentar do Grupo Vazante no contexto da Faixa de Dobramentos Brasília*. SBG, XXXX Congresso Brasileiro de Geologia, Belo Horizonte, Resumos, p. 26.
- Dalrymple, R.W. 2010. Interpreting sedimentary successions: facies analysis and facies models. In: JAMES N.P. & DALYMPLE R.W. (Editors) *Facies Models 4*. Geological Association of Canada. Geotext 6. p.3-18.
- Douville, E.; Bienvenu, F.; Charlou, J.L.; Donval, J.P.; Fouquet,

- Y.; Apriou, P. & Gamo, T. 1999. Yttrium and rare earth elements in fluids from various deep-sea hydrothermal systems. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 63(5): 627–643.
- Favoreto, J. 2011. *Sucessão estratigráfica e paleoambientes dos microbialitos proterozóicos do Membro Sumidouro, Formação Lagamar, Grupo Vazante, na fazenda Sumaré, em Lagamar MG*. Trabalho de Graduação, Unesp, Rio Claro, 57p.
- Folk, R.L. 1959. Practical petrographic classification of limestones. *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*, 4 (1): 1-38.
- Frimmel, H.E. 2009. Trace element distribution in Neoproterozoic carbonates as palaeoenvironmental indicator. *Chemical Geology*, 258: 338–353.
- Frimmel, H.E. & Lane, K. 2005. Geochemistry of carbonate beds in the Neoproterozoic Rosh Pinah Formation, Namibia: implications on depositional setting and hydrothermal ore formation. *South African Journal of Geology*, 108: 5–18.
- Fuck, R.A.; Jardim De Sá, E.F.; Pimentel, M.M.; Dardenne, M.A. & Pedrosa-Soares, A.C. 1993. As faixas de dobramentos marginais do Cráton do São Francisco In: DOMINGUEZ, J.M.L. & MISI, A. (eds) *O Cráton do São Francisco*. Salvador, SBG/SGM/CNPq, pp.161-185.
- Geboy, N.J.; Kaufman, A.J.; Walker, R.J.; Misi, A.; Oliveira, T.F.; Miller, K.E.; Azmy K.; Kendal, B. & Poulon, S.W. 2013. Re–Os age constraints and new observations of Proterozoic glacial deposits in the Vazante Group, Brazil. *Precambrian Research*, 238: 199–213.
- Halverson, G.P.; Hoffman, P.F.; Schrag, D.P. & Maloof, A.C. 2005. Toward a Neoproterozoic composite carbon-isotope record. *Geological Society of America*, 117(9): 1181-1207.
- Jaffrés, J.B.D.; Shields, G.A. & Wallman, K. 2007 The oxygen isotope evolution of seawater. A critical review of a long-standing controversy and an improved geological water cycle model for the past 3.4 billion years. *Earth Science Review*, 83: 83-122.
- James, N.P. & Bourque, P.A. 1992. Reefs and Mounds. In: WALKER, R.G. & JAMES, N.P. *Facies Models: Response to sea level change*. Geological Association of Canada. p.323-347.
- Kah, L.C.; Bartley, J.K. & Teal, D.A. 2012. Chemostratigraphy of the Late Mesoproterozoic Atar Group, Taoudeni Basin, Mauritania: muted isotopic variability, facies correlations, and global isotopic trends. *Precambrian Research*, 200–203: 82–103.
- Kah, L.C.; Lyons, T.W. & Chesley, J.T. 2001. Geochemistry of a 1.2 Ga carbonate– evaporite succession, northern Baffin and Bylot Islands: implications for Mesoproterozoic marine evolution. *Precambrian Research*, 111: 203–234.
- Kuchenbecker, M.; Babinski, M.; Pedrosa-Soares, A.C.; Lopes-Silva, L. & Pimenta, F. 2016. Chemostratigraphy of the lower Bambuí Group, southwestern São Francisco craton, Brazil: insights on Gondwana paleoenvironments. *Brazilian Journal of Geology*, 46 (1): 145–162.
- Marques, C.S.S. 2015. *Geologia e quimioestratigrafia do Grupo Vazante em Lagamar, MG*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 134p.
- Marques, C.S.S.; Uhlein, A.; Uhlein, G.J.; Oliveira, G.D.; Sial, A.N. & Alvarenga, C.J.S. 2015. Geologia e quimioestratigrafia isotópica do Grupo Vazante em Lagamar (MG). *Geonomos*, 23(1): 26-41.
- 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.
- 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. *Geological Society, London, Memoirs*, 36: 509-522.
- Narbonne, G.M. & James, N.P. 1996. Mesoproterozoic deep-water reefs from Borden Peninsula, Arctic Canada. *Sedimentology*, 43: 827-848.
- Nozaki, Y.; Zhang, J. & Amakawa, H. 1997. The fractionation between Y and Ho in the marine environment. *Earth and Planetary Science Letters*, 148: 329–340.
- Oliveira, G.D. 2013. *Reconstrução Paleambiental e Quimioestratigrafia dos Carbonatos Hospedeiros do depósito de Zinco Silicatado de Vazante, MG*. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília, 86p.
- Paula-Santos, G.M.; Caetano-Filho, S.; Babinski, M.; Trindade, R.I. & Guacaneme, C. 2017. Tracking connection and restriction of West Gondwana São Francisco Basin through isotope chemostratigraphy. *Gondwana Research*, 42: 280–305.
- Rodrigues, J.B.; Pimentel, M.M.; Buhn, B.; Matteini, M.; Dardenne, M.A.; Alvarenga, C.J.S. & Armstrong, R.A. 2012. Provenance of the Vazante Group: New U–Pb, Sm–Nd, Lu–Hf isotopic data and implications for the tectonic evolution of the Neoproterozoic Brasília Belt. *Gondwana Research*, 21: 439–450.
- Santos, R.V.; Alvarenga, C.J.S.; Babinski, M.; Ramos, M.L.S.; Cukrov, N.; Fonseca, M.A.; Sial A.N.; Dardenne M.A. & Noce, C.M. 2004. Carbon isotopes of Mesoproterozoic–Neoproterozoic sequences from Southern São Francisco craton and Araçuaí Belt, Brazil: Paleographic implications. *Journal of South American Earth Sciences*, 18: 27–39.
- Santos, R.V.; Alvarenga, C.J.S.; Dardenne, M.A.; Sial, A.N. & Ferreira, V.P. 2000. Carbon and oxygen isotope profiles across Meso–Neoproterozoic limestones from central Brazil: Bambuí and Paranoá Groups. *Precambrian Research*, 104: 107–122.
- Taylor, S.R. & McLennan, S.M. 1985. *The Continental Crust. Its Composition and Evolution*. Blackwell, Oxford.
- Tucker, M.E. & Wright, V.P. 1990. *Carbonate Sedimentology*. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Valeriano, C.M.; Pimentel, M.M.; Heilbron, M.; Almeida, J.C.H. & Trouw, R.A.J. 2008. Tectonic evolution of the Brasília Belt, Central Brazil, and early assembly of Gondwana. *Geological Society of London*, 284: 197-210.
- Valeriano, C.M.; Dardenne, M.A.; Fonseca, M.A.; Simões, L.S.A. & Seer, H.J. 2004. A Evolução Tectônica da Faixa Brasília. In: MANTESSO NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C.D.R. & BRITO-NEVES, B.B. (eds) *Geologia do Continente Sul-Americano: evolução e obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. Beca, São Paulo, p.575–593.