LITOFÁCIES DA GLACIAÇÃO NEOPROTEROZOICA NAS PORÇÕES SUL DO CRÁTON DO SÃO FRANCISCO: EXEMPLOS DE JEQUITAI (MG) E CRISTALINA (GO)

NEVEN CUKROV¹, CARLOS J. S. DE ALVARENGA² & ALEXANDER UHLEIN³

Resumo A Formação Jequitai, relacionada à glaciação *Sturtian* ~ 750 Ma, está presente sobre o Cráton do São Francisco e na sua borda ocidental, ao longo da Faixa Brasília. Diamictitos maciços pobres em clastos dominam nesta formação, entretanto, são comuns intervalos de diamictitos, ricos em clastos e delgadas intercalações de arenitos, conglomerados e pelitos. A espessura da unidade é da ordem de 80 metros sobre o domínio cratônico na região de Jequitai, enquanto que no domínio da faixa dobrada, em Cristalina uma seção incompleta apresenta aproximadamente 150 metros de espessura, indicando aumento de espessura, que associado à presença de significativos intervalos de sedimentos finos, sugere um ambiente marinho de águas mais profundas. A presença de diamictitos, com muito poucos clastos sobre os pavimentos estriados sugerem que o registro geológico representa duas fases distintas do período glacial, as estrias glaciais representam uma abrasão pela geleira, provavelmente no continente, enquanto que os diamictitos refletem depósitos de fluxos gravitacionais devido ao recuo da geleira e o conseqüente aumento do nível do mar.

Palavras-chave: Glaciomarinho, Formação Jequitai, Faixa Brasília, Glaciação neoproterozoica, Esturtiano.

Abstract NEOPROTEROZOIC GLACIAL LITHOFACIES ON THE SOUTH PORTIONS OF THE SÃO FRANCISCO CRATON: EXAMPLE FROM JEQUITAI (MG) AND CRISTALINA (Go) The Jequitai Formation, probably *Sturtian*-Age (~ 750 Ma), occurs on the São Francisco Craton and along the Brasília Belt on the western border of this craton. Clast-poor diamictites dominate over these two regions, but intercalations of clast-rich diamictite, sandstone, conglomerate and fine-grained sediments are common. Jequitai region, on the cratonic domain has about 80 meters thick, and in Cristalina region, on the fold belt domain the partial section has about 150 meters thick. The most thickness and fine-grained sediments intercalated with diamictites suggests a deeper marine environment. Clast-poor diamictites overlying the striated pavement suggests two phases for the record of the glacial event. The first, probably on the continent, produced ice erosion (striated pavement) and the second, clast-poor diamictite, is deposited by gravity flows due the ice retreat and rise sea level.

Keywords: Glaciomarine, Jequitai Formation, Brasília Belt, Neoproterozoic glaciation, *Sturtian*

INTRODUÇÃO Rochas glaciogênicas são bem conhecidas em sucessões neoproterozóicas em vários continentes, evidenciando um evento climático global (Hambrey & Harland 1985, Hoffman *et al.* 1998, Kennedy *et al.* 1998). As glaciações globais propostas para o Neoproterozóico têm variado entre duas e quatro (Kaufman *et al.* 1997, Hoffman *et al.* 1998, Kennedy *et al.* 1998), distribuídas nos períodos glaciais do *Sturtian* (~760-700 Ma) e do *Marinoan* (~620-580 Ma). Estes dois eventos glaciais são identificados no Brasil-central e ambos estão recobertos por carbonatos (Alvarenga & Trompette 1992, Trompette 1994). A glaciação *Sturtian* cobre grandes áreas do Cráton do São Francisco e estende-se pelas faixas dobradas que circundam o cráton (faixas Rio Preto, Araçuaí, Ribeira e Brasília). As litologias dominantes destes depósitos glaciais incluem diamictitos associados a sedimentos pelíticos e arenosos, presentes nas formações Jequitai e Bebedouro e no Grupo Macaúbas (Hettich 1977, Dardenne 1978, Karfunkel & Hoppe 1988, Uhlein 1991, Guimarães 1996, Uhlein *et al.* 1998 1999). Idades entre 700 e 800 Ma têm sido sugeridas para esta glaciação (Santos *et al.* 2000, Babinski & Kaufman 2003). O evento mais jovem, de idade *Marinoan*, identificado na Faixa Paraguai, inclui diferentes litofácies glaciomarinhas e marinhas fortemente influenciadas pela glaciação (Alvarenga & Trompette 1992, Alvarenga *et al.* 2004).

Este trabalho individualiza e interpreta as litofácies que compõem os depósitos glaciais da Formação Jequitai na sua localidade de tipo (Jequitai, MG) e no Domo de Cristalina em Goiás.

GEOLOGIA REGIONAL Os depósitos relacionados à glaciação *sturtiana* ocorrem sobre o Cráton do São Francisco e nas zonas de transição entre o cráton e as faixas dobradas. A Orogênese Brasileira é responsável pelas deformações encontradas nas faixas dobradas, enquanto que nas coberturas cratônicas as rochas sedimentares sub-horizontais têm pouca influência direta dos efeitos compressivos da orogênese.

Duas grandes unidades estratigráficas de idades entre o Arqueano e o Mesoproterozóico compõem o Cráton do São Francisco (Teixeira & Figueiredo 1991, Uhlein *et al.* 1998). A unidade mais antiga inclui rochas arqueanas e Paleoproterozóicas formadas por granitos, gnaisses, xistos e migmatitos que assumem o papel de embasamento para a unidade superior, o Supergrupo Espinhaço. Este supergrupo é formado por uma sequência estimada em 3000 m de quartzitos, meta-conglomerados e metassiltitos depositados entre 1.75 e 1.2 Ga (Uhlein *et al.* 1998). Os depósitos basais são formados por quartzitos e metaconglomerados predominantemente fluviais que passam a metassiltitos marinhos rasos. Na porção meridional deste supergrupo, sobre os depósitos fluviais, ocorre uma espessa sequência de quartzitos de origem eólica que termina com a alternância de metassiltitos e quartzitos depositados em um sistema marinho raso (Pflug & Renger 1973, Schöhl & Fogaça 1979, Garcia & Uhlein 1987, Uhlein 1991, Martins Neto 2000).

O Cráton do São Francisco serviu de embasamento para a

1 - Instituto Rudjer Boskovic, Departamento de ciencias marinhas e environmental, Bijenicka 54, 10000 Zagreb, Croatia. e-mail: ncukrov@irb.hr

2 - Universidade de Brasília, Instituto de Geociências, Campus Universitário, Asa Norte, 70910-900, Brasília, DF, Brasil. e-mail: alva1@unb.br

3 - Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, Av. Antônio Carlos 6627, Campus Pampulha, 31270-901, Belo Horizonte, MG, Brasil. e-mail: uhlein@cielopec.lcc.ufmg.br

deposição dos sedimentos neoproterozóicos depositadas sob a influência de glaciação (Karfunkel & Hope 1988, Uhlein 1991, Uhlein *et al.* 1999). A Formação Jeiquitaí é a unidade glaciogênica depositada no domínio cratônico, com pouca ou quase total ausência dos efeitos da deformação Brasiliana, enquanto que o Grupo Macaúbas inclui uma espessa seqüência de depósitos glaciogênicos e gravitacionais de borda cratônica e que sofreu os efeitos da deformação Brasiliana, fazendo parte da Faixa Araçuaí (Fig. 1).

O Grupo Macaúbas foi definido por Moraes & Guimarães (1930) e aflora na margem oeste da Faixa Araçuaí recobrimdo estratigraficamente os metassedimentos do Supergrupo Espinhaço. As unidades do Grupo Macaúbas apresentam espessuras de alguns quilômetros, dispostas com significativas variações laterais de fácies interpretadas como fácies distais dos diamictitos da Formação Jeiquitaí (Uhlelin 1991, Uhlein *et al.* 1999). A correlação lateral entre a Formação Jeiquitaí e o Grupo Macaúbas é sugerida por vários autores (Karfunkel *et al.* 1984, Dardenne 1978, Uhlein *et al.* 1999).

A Formação Jeiquitaí aflora sobre o Supergrupo Espinhaço em discordância erosiva mostrando às vezes uma superfície basal com a presença de pavimentos estriados resultado da abrasão da base de geleira. Estes pavimentos foram descritos pela primeira vez por Isotta *et al.* (1969). A origem glacial da Formação Jeiquitaí foi reconhecida por Branner (1919) e depois por Moraes & Guimarães (1930), não sendo questionada desde então (Uhlelin *et al.* 1999). A Formação foi inicialmente interpretada como fácies glacio-continental com base nos pavimentos estriados da sua base (Isotta *et al.* 1969, Karfunkel & Hope 1988, Rocha Campos & Hasuí 1981). Trabalhos recentes interpretam a Formação Jeiquitaí como

originada de uma deposição glaciomarinha em plataforma rasa com parcial cobertura de gelo. Formas peculiares das estrias glaciais nos quartzitos do Supergrupo Espinhaço foram interpretadas como erosão glacial em sedimentos moles (Rocha Campos *et al.* 1996), fato que pode ser interpretado por um curto espaço de tempo entre as unidades do topo do Supergrupo Espinhaço e a glaciação. A Formação Jeiquitaí apresenta espessuras de até 100 metros.

Recobrimdo os diamictitos da Formação Jeiquitaí depositam-se os sedimentos pelito carbonatados do Grupo Bambuí. Esta unidade foi inicialmente individualizada por Branco & Costa (1961) e ligeiramente modificada por Dardenne (1978). As cinco formações que compõem o Grupo Bambuí incluem da base para o topo as formações Sete Lagoas, Serra de Santa Helena, Lagoa do Jacaré, Serra da Saudade e Três Marias, com espessuras da ordem de 2000 metros. A idade da Formação Sete Lagoas foi determinada pelo método Pb/Pb, como tendo 740 ± 22 Ma (Babinski & Kaufman 2003). As formações Sete Lagoas e Lagoa do Jacaré representam o conjunto predominantemente carbonático, enquanto que nas formações Serra de Santa Helena e Serra da Saudade são compostas principalmente por siltitos. A Formação Três Maria caracteriza-se por rochas silticas e arenitos finos de composição arcossiana.

DESCRIÇÃO DAS LITOFÁCIES Na descrição de sedimentos e rochas de origem glacial, o termos *till* (sedimento não litificado) e *tilito* (rocha litificada) são os que mais rapidamente surgem no nosso pensamento. Tratam-se de termos genéticos usados para descrever sedimentos e rochas sedimentares (correspondente litificado), depositados diretamente pela geleira (Dreimanis & Schlüchter 1985). Na descrição de rochas sedimentares a terminologia descritiva é a mais recomendada considerando a dificuldade em se reconhecer os verdadeiros tilitos de rochas de outra origem, que são petrograficamente semelhantes. O termo diamictito não é genético e será usado neste trabalho, de acordo com a classificação de Moncrieff (1989) e Raymond (1995), para descrever uma rocha sedimentar composta de matriz argilo-siltico-arenosa com clastos diversos, maiores que dois milímetros.

Na Formação Jeiquitaí quatro principais associações de fácies puderam ser distinguidas nas duas áreas estudadas (Jeiquitaí, MG e Cristalina, GO) (Fig. 1): (1) litofácies conglomeráticas, (2) associação de litofácies de diamictitos (3) associação de litofácies arenosas, (4) associação de litofácies pelíticas. As litofácies são individualizadas e descritas de acordo com a nomenclatura para sedimentos glaciais e ruditos mal selecionados, modificados de Eyles *et al.* (1983), Moncrieff (1989) e Raymond (1995). Considerando a grande distância entre as duas áreas estudadas a descrição das litofácies será compartimentada nas regiões de Jeiquitaí e Cristalina.

Região de Jeiquitaí, MG Na região de Jeiquitaí, diamictitos maciços com raras intercalações de arenitos e pelitos caracterizam a Formação Jeiquitaí que está limitada na base pelos quartzitos do Supergrupo Espinhaço e no topo pelas rochas pelito-carbonatadas do Grupo Bambuí (Figura 2, 3). As rochas da Formação Jeiquitaí, com espessuras médias em torno de 80 metros, ocorrem nas serras da Água Fria e das Porteiras e estão distribuídas nas bordas de uma anticlinal cujo núcleo é formado pelos quartzitos do Supergrupo Espinhaço (Figura 2). As litofácies descritas serão ilustradas por quatro seções verticais localizadas em diferentes pontos da região (Figura 3).

Figura 1 - O Cráton do São Francisco e suas faixas marginais com a localização da duas áreas estudadas, Jeiquitaí e Cristalina (modificado de Alkmin *et al.* 2003).

Figura 2 - Mapa Geológico da Região de Jequitai, MG. (modificado de Paiva Filho & Ponçano 1972).

LITOFÁCIES CONGLOMERÁTICAS (C) Litofácies formada por conglomerados (Cm) foram descritas na base da Formação Jequitai, no contato com os quartzitos do Supergrupo Espinhaço (Fig. 3-J3). A litofácies foi encontrada preenchendo depressões de até 20 cm de espessura em extensões não superiores a 2 metros de diâmetro, que interrompem extensas superfícies com pavimentos estriados (> 100 m de exposição em afloramentos contínuos) fortemente paralelos e orientados 110 de azimuth (Fig. 4, 5). As estrias não apresentam continuidade abaixo dos conglomerados e foram gravadas sobre os quartzitos do Supergrupo Espinhaço. Tratam-se de estrias com profundidades de até 5 centímetros, com larguras médias de 1 a 2 centímetros, podendo em alguns casos alcan-

çar larguras de até 20 centímetros. Os clastos são de quartzito (ortoquartzito), e apresentam tamanhos entre 3-4 cm, podendo atingir até 15 cm (Fig. 4-B). A matriz é formada por quartzitos ortoquartzitos semelhantes aos clastos. Esses conglomerados são brancos e de aspecto maciço.

ASSOCIAÇÃO DE LITOFÁCIES DE DIAMICTITOS (D) Os diamictitos estão bem expostos ao longo da área mapeada como Formação Jequitai (Fig. 2), sendo neste trabalho ilustrados por quatro seções verticais formadas em sua maioria por diamictitos. Essa rocha, com base em suas características texturais foi individualizada em diferentes litofácies. Diamictitos maciços pobres em

Figura 3 - Seções estratigráficas verticais da Formação Jequitai, na sua localidade tipo, Jequitai, MG.

Figura 4 – A: Pavimentos estriados marcados sobre os quartzitos do Supergrupo Espinhaço. A seta indica a localização dos conglomerados que cobrem depressões no pavimento estriado. B: Conglomerado com clastos de ortoquartzitos em matriz de mesma composição.

Figura 5 - Aspecto geral dos pavimentos estriados, mostrando o forte paralelismo entre as estrias.

seixos (Dpm) são distribuídos ao longo de toda as seções, enquanto que os intervalos de diamictitos maciços ricos em seixos (Drm) foram descritos apenas na metade superior da seção como intercalações de espessura variada, podendo variar de poucos centímetros quando se trata de uma maior concentração de clastos ou quando inclui um intervalo de até uma dezena de metros. Diamictitos estratificados sempre pobres em clastos (Dps) são raros e foram encontrados apenas na seção da Serra das Porteiras. A seguir serão detalhadas as principais características de cada uma dessas litofácies:

Dpm incluem predominantemente clastos de até 3 centímetros de quartzo, quartzitos e dolomitos suportados por uma matriz sílica com cimento carbonático. Os clastos perfazem aproximadamente 5-10% da rocha. A matriz deste diamictito pode atingir a granulometria areia fina em intervalos de até cinco centímetros (Dpm-a). Ocasionais seixos, blocos e matações podem ocorrer.

Dpm-a difere da litofácies (Dpm) por apresentar uma matriz areno-siltosa. Trata-se de uma litofácies com pouca exposição no campo, que às vezes representa um arenito com clastos esparsos.

Dps são os diamictitos pobres em clastos que tem a sua estratificação individualizada através de diferenças na concentração milimétrica (2-7 mm) dos seus clastos. Na matriz desses diamictitos predominam os componentes argilosos.

Drm inclui os diamictitos com concentrações entre 10-40 % de clastos na rocha suportada por matriz. Os clastos de tamanho médio entre 3-15 centímetros, podendo chegar a mais de dois metros, variam de arredondados a mal arredondados, sendo alguns deles estriados. A maioria dos clastos é de dolomito, calcário, quartzitos, quartzo e granito. Na parte superior da Formação Jequitai, Seção da Serra das Porteiras (J-1), os dolomitos e calcários constituem até 40% dos clastos encontrados. O contato basal desta litofácies é normalmente brusco enquanto que seu contato superior tende a ser gradacional com a litofácies Dpm.

ASSOCIAÇÃO DE LITOFÁCIES ARENOSAS (S) As litofácies arenosas são maciças ou estratificadas, e ocorrem como intercalações nos diamictitos (Fig. 3). O contato dessas litofácies arenosas com os diamictitos é feito de forma brusca.

Quartzitos maciços (Sm) incluem as rochas arenosas maciças que ocorrem como grandes lentes ou camadas com espessuras de até oito metros. A granulometria dominante é da areia média, sendo formada com o predomínio de grãos de quartzo e raros feldspatos, cimentados pelo intercrescimento de seus grãos. Algumas dessas lentes penetram os diamictitos. Não foi observado clastos nesses diamictitos.

Quartzitos com laminações cruzadas (Sc) afloram em camadas de até 3 metros de espessura e são formados por grãos de areia fina a média, de quartzo e feldspato. As melhores exposições podem ser encontradas na seção J2 (Fig. 3).

ASSOCIAÇÃO DE LITOFÁCIES PELÍTICAS (F) Esta litofácies é de ocorrência muito restrita formada por siltitos (Fl) é encontrada apenas como lâminas e estratos de até um metro intercalado nos diamictitos.

Região de Cristalina, GO Na região de Cristalina, com espessura aflorante da ordem de 150 metros, a Formação Jequitai deposita-se em discordância sobre metarritmitos ou quartzitos do Grupo Paranoá e está limitada, no topo, por falha de cavalgamento com os filitos do Grupo Canastra (Faria, 1985) (Fig. 6). A rocha dominante da Formação Jequitai, em Cristalina, é o diamictito com matriz sílico-arenosa. Entre os clastos presentes dominam os de quartzo, feldspato e carbonatos em tamanhos que variam de poucos centímetros a meio metro. Como em Jequitai (MG), a distribuição dos clastos é heterogenia, com algumas concentrações de seixos (Drm) e alguns locais onde praticamente temos apenas uma matriz (Dpm). A distribuição das litofácies presentes em Cristalina encontra-se ilustrada na Figura 6

LITOFÁCIES CONGLOMERÁTICAS (C) Esta litofácies é formada por conglomerados maciços (Cm) e foi localizada apenas numa das localidades (Córrego Lajinha) em camada de 50 centímetros limitada por contatos bruscos na base por quartzitos e no topo pelos diamictitos maciços pobres em seixo (Dpm).

ASSOCIAÇÃO DE LITOFÁCIES DE DIAMICTITOS (D) Os diamictitos presentes em Cristalina são maciços, onde uma estratificação grosseira, quando identificada, é obtida pela diferença na concentração dos seixos. São os diamictitos pobres (Dpm) em seixo (< 10%) que predominam com espessuras de até 15 metros interrompidas pela presença das litofácies de diamictitos mais ricos em seixos (Drm). Esta última litofácies pode incluir clastos que perfazem até 50 % da rocha. Entre os clastos presentes dominam os de quartzitos com formas arredondadas e angulosas. A matriz é predominantemente sílico-argilosa e muito raramente de arenito muito fino.

LITOFÁCIES ARENOSA (S) Essa litofácies é rara e quando presente está representada por camadas de 1 a 2 metros de quartzito fino maciço com seixos pingados (Smd), em contato brusco com outras litofácies da formação.

ASSOCIAÇÃO DE LITOFÁCIES PELÍTICAS (F) A associação de litofácies pelíticas, disposta em espessuras de até 20 metros, foi encontrada nas seções dos córregos Lajinha e Ribeirão Moreira localizados no extremo norte do Domo de Cristalina, Go. Esta associação de litofácies está representada por siltitos laminados a finamente laminados (Fl) dispostos por contato bruscos com os

Figura 6: Seções estratigráficas verticais da Formação Jeiquitaí, em Cristalina, GO. A legenda do código

quartzitos e por contatos bruscos ou gradativos com os diamictitos. Os siltitos laminados podem incluir esparsos (3 - 6 por metro quadrado da superfície da rocha) seixos de quartzito de tamanho entre 0.5 e 5 centímetros, que foram individualizados na litofácies Fld.

Discussão e interpretação das litofácies Associação de litofácies de diamictitos tem grande extensão sobre as coberturas do Cráton do São Francisco, atingindo também o domínio das faixas Brasília e Araçuaí. A Formação Jeiquitaí, nas duas áreas estudadas, caracteriza-se pelo domínio dos diamictitos em detrimento dos quartzitos e pelitos. A sedimentação das fácies que compõem a Formação Jeiquitaí têm sido atribuída a evento glacial do Neoproterozóico. Entretanto, existem interpretações que conduzem a depósitos em ambientes glaciocontinentais (Karfunkel & Hoppe 1988, Martins Neto *et al.* 1999, Dupont *et al.* 2000, Karfunkel *et al.* 2003), e outras que as relacionam a depósitos em ambientes glaciomarinhos (Cukrov 1999, Uhlein *et al.* 1999).

Os conglomerados (Cm) basais, encontrados nas irregularidades negativas, isto é, depressões que interrompem a continuidade da superfície representada pelo pavimento estriado, revelam que os depósitos típicos de base da geleira (till de natureza diamictítica) não foram preservados, pois os existentes, mesmo que com espessura reduzida (5-15 centímetros), evidenciam sedimentação de conglomerados formados exclusivamente por fragmentos de ortoquartzito em matriz de mesma composição, refletindo a composição dos quartzitos da unidade subjacente (Fig. 4). Estes conglomerados mostram a existência de transporte de corrente de fluxo, logo após a passagem da geleira e antes da deposição dos diamictitos pobre em clastos (Dpm) da base da Formação Jeiquitaí. A uniformidade na orientação das estrias e o seu paralelismo, obtidos neste trabalho (Fig. 5), concordantes com as direções regionais registradas por Karfunkel & Hoppe (1988) e Dominguez (1993), são um forte argumento de que o pavimento se fez sobre rochas consolidadas e litificadas, fato que contraria a interpretação de que essas estrias seriam gravadas em sedimentos arenosos moles (Rocha Campos *et al.* 1996). Marcas glaciais em sedimentos moles mostram a existência de diversidade na orientação do registro das estrias, inclusive formas semicirculares (Barnes *et al.* 1987, Zhang

1992).

As rochas da Formação Jeiquitaí, depositadas sobre a superfície do pavimento estriado, são formadas por diamictitos com baixo conteúdo de clastos (Dpm). A pouca quantidade de clastos, associada a grande extensão da litofácies (Dpm), a quase total ausência de outras litofácies que poderiam representar os depósitos de canais de lavagem, eskers e uma maior diversidade de tipos de diamictitos são aspectos que tornam insustentáveis à interpretação de tilitos para estas rochas. Estes argumentos acrescidos da sua grande espessura sugeriram Uhlein *et al.* (1999) a interpretar esses depósitos como de origem glaciomarinha. O fato dessa rocha (Dpm) estar depositada sobre superfícies de pavimentos estriados, não significa que o pavimento estriado e o diamictito que o recobre sejam da mesma idade. A existência de conglomerados (C) entre o diamictito e os quartzitos com pavimento estriado é outro elemento a favor de se separar no tempo, a formação do pavimento estriado do diamictito superposto. Camadas de diamictito com maior quantidade de seixos (Drm) apresentam contato brusco com (Dpm) evidenciando fluxos gravitacionais distintos e de grande extensão. A presença de intervalos de diamictito estratificado sugere a interpretação de depósitos formados por fluxos gravitacionais dos sedimentos. A maior espessuras dos diamictitos ricos em clastos, se posicionando no topo da seção da Formação Jeiquitaí, sugere se tratar dos eventos mais tardios do período glacial, responsável pelo derretimento dos depósitos continentais e o conseqüente enriquecimento, em detritos, dos mares e oceanos, acompanhados do transporte de várias massas flutuantes de gelo, que, pelo seu derretimento, gera chuva de partículas (rain out) contribuindo também para o aumento dos Drp. Ausência de orientação dos clastos dos diamictitos é outro argumento em favor de depósitos em ambiente glacio-marinho (Dowdeswell *et al.* 1985).

O quartzito maciço (Sm) de forma lenticular descrito nas proximidades de Jeiquitaí, MG, foi inicialmente interpretado como um paleo esker (Hettich & Karfunkel 1978), entretanto a extensão desta lente não pôde ser seguida para uma confirmação. Essas lentes de quartzitos maciços (Sm), sem clastos, podem ser interpretadas como produto de um rápido fluxo de massa transportado por túnel

subaquático (Cukrov, 1999). Quartzitos com laminação cruzada (Sc) encontrados em camadas de até três metros intercalados nos diamictitos indicam transporte por fluxos multidirecionais.

Os depósitos finos (F) representam momentos de pouco transporte de sedimentos, que podem estar relacionados aos períodos mais severos da glaciação que resultam em fraco transporte de sedimentos, sobrando apenas a fração fina em suspensão. Os depósitos finos também podem ter sido depositados em águas mais profundas, distantes da influência do gelo, entretanto nestes casos é comum a presença de clastos esparsos como os encontrados na litofácies Fld, indicando a influência de partículas desagregadas de massas de gelo flutuante (icebergs).

As duas áreas estudadas apresentam litofácies com forte semelhança, que foram interpretadas como pertencentes a uma mesma unidade estratigráfica (Formação Jequitai), que encontra-se geograficamente separada por aproximadamente 300 quilômetros de extensão (Fig. 1). Espessuras da ordem de 110-120 metros foram encontradas em Cristalina (Fig. 5), enquanto que em Jequitai não ultrapassam os 80 metros (Fig. 3). A maior espessura da unidade aliada aos significativos intervalos de sedimentos finos em Cristalina-Go sugere, para esta região, um ambiente marinho de águas mais profundas, quando comparados aos depósitos da mesma formação em Jequitai-MG.

CONCLUSÕES Seções estratigráficas com mais de 80 metros de espessura associada a litofácies homogêneas de diamictitos com poucos clastos são fortes argumentos em favor de depósitos glaciomarinheiros depositados em um mesmo evento glacial, durante o Neoproterozóico. As diferenças de espessura e de associação das litofácies indicam que as duas áreas estudadas refletem posições diferenciadas na bacia de sedimentação, sugerindo para a área de Cristalina a porção mais interna e profunda da bacia.

As estrias glaciais são indubitavelmente produto da erosão glacial, entretanto, a litofácies de diamictito pobre em seixo (Dpm) que a recobre, apresenta característica de depósito de fluxo gravitacional e não do diamictito rico em seixos com grande variedade na textura e composição de clastos, típicos de base de geleira. A orientação das estrias apresenta um forte paralelismo entre elas, em diferentes localidades, reforçando a necessidade de um

substrato rígido e bem consolidado (quartzitos do Supergrupo Espinhaço) para que a geleira pudesse registrar tão constante orientação de estrias. Estes argumentos, aliados à presença de esparsos conglomerados (Cg), depositados apenas em depressões que interrompem as superfícies formadas por estrias glaciais, revelam que os primeiros diamictitos sedimentados sobre as estrias não são o produto do mesmo evento responsável pela formação das estrias. Numa primeira fase, foi feita a abrasão pela geleira sobre os quartzitos, provavelmente no continente, posteriormente, com a retirada do gelo, e aumento dos níveis dos mares depositam-se os diamictitos que recobrem esta superfície, refletindo depósitos de fluxos gravitacionais depositados em momento mais tardio do período glacial.

O contato brusco entre as fácies indica rápida mudança no regime de fluxo, comuns em frentes de geleiras marinhas. A concentração de clastos no topo da formação mostra uma época de descongelamento, fases finais do período glacial em ambiente marinho. O aumento na quantidade de clastos de carbonatos no topo da formação sugere a erosão de uma fonte carbonática. Esses fragmentos de carbonatos, geralmente de dolomito apresentam valores de $\delta^{13}\text{C}$ sempre negativos, comuns em ambientes ainda sob influência da glaciação, sugerindo a possibilidade de haver intervalos interglaciais quentes com deposição de carbonatos durante o período glacial, erodidos por uma nova fase glacial (Cukrov 1999).

As fácies finas (Fl e Fld) foram depositadas com menor influência do gelo, provavelmente no mar, onde a influência da glaciação se restringia as ocasionais massas de gelo flutuante (icebergs), responsáveis pelos seixos pingados (dropstones).

A glaciação neoproterozóica que recobre o Cráton do São Francisco está relacionada ao evento *Sturtian* (~760-700 Ma), com base nos valores de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ e Pb/Pb em carbonato capeador pós-glacial (Santos et al. 2000, Babinski & Kaufman 2003).

Agradecimentos Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de mestrado ao primeiro autor e bolsa de Produtividade em Pesquisa aos co-autores. Aos relatores da RBG pelas sugestões ao manuscrito.

Referências

- Alkmin F.F., Neves B.B.B., Alves J.A.C. 1993. Arcabouço tectônico do Cráton do São Francisco. Uma Revisão. In: J.M.L. Dominguez & A. Misi (eds.) *O Cráton do São Francisco*, Salvador, SBG-Núcleo Bahia/Sergipe, pp.: 45-62.
- Alvarenga C.J.S.de & Trompette R. 1992. Glacially influenced sedimentation in the Later Proterozoic of the Paraguay belt (Mato Grosso, Brazil). *Palaogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, **92**: 85-105.
- Alvarenga C.J.S.de, Santos R.V., Dantas E.L. 2004. C-O-Sr isotopic stratigraphy of cap carbonates overlying Marinoan-age glacial diamictites in the Paraguay Belt, Brazil. *Prec. Res.*, **131**: 1-21.
- Babinski M. & Kaufman A.J. 2003. First direct dating of a neoproterozoic post-glacial cap carbonate. In: South American Symposium on Isotope Geology, 4, Salvador, *Short Papers*, **1**: 321-323.
- Barnes P.W., Asbury J.L., Rearic D.M., Ross R.C. 1987. Ice erosion of a sea-floor knickpoint at the inner edge of the Stamukhi zone, Beaufort Sea, Alaska. *Mar. Geol.*, **76**: 207-222.
- Branco J.J.R. & Costa da M.T. 1961. Roteiro da Excursão Belo Horizonte – Brasília. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 14, Belo Horizonte, *Inst. Pesq. Radioat. UFMG*, **15**: 9-25.
- Branner J.C. 1919. Outlines of the geology of Brazil to accompany the geological map of Brazil. *Geol. Soc. Am., Bull.*, **30**: 189-338.
- Cukrov N. 1999. *A glaciação neoproterozóica na porção sul do Cráton do São Francisco e suas litofácies nas regiões de Jequitai-MG e Cristalina-GO*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 104p.
- Dardenne M.A. 1978. Síntese sobre a estratigrafia do Grupo Bambuí no Brasil Central. In: Congr. Bras. Geol., 30, Recife, *Anais*, p. 597-610.
- Dominguez J.M.L. 1993. As coberturas do Cráton do São Francisco: uma abordagem do ponto de vista da análise de bacias. In: J.M.L. Dominguez & A. Misi (eds.) *O Cráton São Francisco*, Salvador SBG-SGM-CNPQ, pp.: 137-159.
- Dowdeswell J.A., Hambrey M.J., Wu R. 1985. A comparasion of clast fabric and shape in Late Precambrian and modern

- glaciogenic sediments. *J. Sediment. Petrol.*, **55**: 691-704.
- Dreimanis A. & Schlüchter C. 1985. Field criteria for the recognition of till or tillite. *Palaogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, **51**: 7-14.
- Dupont H.J.B., Espinoza J., Karfunkel J., Noce C.M. 2000 – Glacial deposits of the Neoproterozoic glaciation in the Serra do Cabral and vicinities (Minas Gerais, Brazil): facies distribution and genesis. In: Intern. Geological Congress, Rio de Janeiro, 31, Abstracts, CD-Room.
- Eyles N., Eyles C.H., Miall A.D. 1983. Lithofacies types and vertical profile models: an alternative approach to the description and environmental interpretation of glacial diamictite sequences. *Sedimentol.*, **30**: 393-410.
- Faria A. 1985. Geologia do Domo de Cristalina, Goiás. *Rev. Bras. Geoc.*, **15**: 231-240.
- Garcia A.J.V. & Uhlein A. 1987. Sistemas deposicionais do Supergrupo Espinhaço na região de Diamantina, MG. In: Simpósio Sistemas Depositionais no Pré-Cambriano, Ouro Preto, Núcleo Minas Gerais, *Boletim*, **6**: 113-136.
- Guimarães J.T. 1996. *A Formação Bebedouro no Estado da Bahia: Faciologia, estratigrafia e ambientes de sedimentação*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, 146p.
- Hambrey M.J. & Harland W.B. 1985. The Late Proterozoic Glacial Era. *Palaogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, **51**: 255-272.
- Harland W.B., Herod K.N., Krinsley D.H. 1966. The definition and identification of tills and tillites. *Earth-Sci. Rev.*, **2**: 225-256.
- Hettich M. 1977. A glaciação proterozóica no centro-norte de Minas Gerais. *Rev. Bras. Geoc.*, **7**: 87-101.
- Hoffman P.F., Kaufman A.J., Halverson G.P., Schrag D.P. 1998. A Neoproterozoic snowball earth. *Science*, **281**: 1342-1346.
- Hoffman P.F., Schrag D.P. 2002. The snowball Earth Hypothesis: testing the limits of global change. *Terra Nova*, **14**: 129-155.
- Isotta C.A.L., Rocha-Campos A.C., Yoshida R. 1969. Striated pavement of the Upper-Precambrian glaciation in Brazil. *Nature*, **222**: 466-468.
- Karfunkel J. & Hoppe A. 1988. Late proterozoic glaciation in central-eastern Brazil: synthesis and model. *Palaogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, **65**: 1-21.
- Karfunkel J., Hoppe A., Noce C.M. 2003. Serra da Água Fria e vizinhanças, MG – Vestígio da glaciação neoproterozóica. In: C. Schobbenhaus, D.A. Campos, E.T. Queiroz, M. Wingne, M.L.C. Berbert-Born (eds.) *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*, Brasília, MME-DNPM-CPRM-SIGEP, pp.: 165-174.
- Karfunkel J., Moreira P.C.H., Ribeiro M.C., Franco A.L.C. 1984. Aspectos genéticos e deposicionais do Grupo Macaúbas na região da barragem do Paraúna e sua importância na contribuição para um modelo paleogeográfico e geotectônico. In: SBG, Congr. Bras. Geol., 33, Rio de Janeiro, *Anais*, **7**: 3091-3103.
- Kaufman A.J., Knoll A.H., Narbonne G.M. 1997. Isotopes, ice ages, and terminal Proterozoic earth history. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **94**: 6600-6605.
- Kennedy M.J., Runnegar B., Prave A. R., Hoffmann K.-H., Arthur M. A. 1998. Two or four Neoproterozoic glaciations? *Geology*, **26**: 1059-1063.
- Link P.K., Miller J.M.G., Christie-Blick N. 1994. Glacial-marine facies in a continental rift environment: neoproterozoic rocks of western United States Cordillera. *World and regional Geology-Earth's Glacial Records*, **5**: 29-46.
- Martins-Neto M.A. 1998. O Supergrupo Espinhaço em Minas Gerais: Registro de uma bacia rifte-sag do paleo-mesoproterozoico. *Rev. Bras. Geoc.*, **28**: 151-168.
- Martins-Neto M.A. 2000. Tectonics and sedimentation in a paleo/Mesoproterozoic rift-sag basin (Espinhaço basin, southeastern Brazil). *Prec. Res.*, **103**: 147-173.
- Martins Neto M.A., Gomes N.S., Hercos C.M., Reis L.A. 1999 – Fácies glaciocontinentais (outwash plain) na megassequência Macaúbas, norte da Serra da Água Fria (MG). *Rev. Bras. Geoc.*, **29**: 281-292.
- Meert J.G. & van der Voo R. 1994. The Neoproterozoic (1000-540 Ma) glacial intervals: No more snowball earth? *Earth Planet. Sci. Lett.*, **123**: 1-13.
- Moraes de L.J. & Guimarães D. 1930. Geologia da região diamantífera do norte de Minas Gerais. *An. Acad. Ciênc.*, **2**: 153-186.
- Moncrieff A.M.C. 1989. Classification of poorly-sorted sedimentary rock. *Sed. Geol.*, **65**: 191-194.
- Paiva Neto A. & Ponçano W.L. 1972. Mapa geológico preliminar da região de Jequitaiá, Estado de Minas Gerais. In: Congr. Bras. Geol., 26, Belém, *Anais*, **1**: 95-102.
- Pflug R. & Renger F. 1973. Estratigrafia e evolução da margem nordeste do Cráton Sanfranciscano. In: Congr. Bras. Geol., 27, Aracajú, *Anais*, **2**: 5-19.
- Raymond L.A. 1995. *The study of Igneous, Sedimentary, and Metamorphic rocks*. Wm.C.Brown Communications, Inc., Dubuque, IA, USA, 742p.
- Rocha-Campos A.C. & Hasuí Y. 1981. Tillites of the Macaúbas Group (Proterozoic) in central Minas Gerais and Southern Bahia, Brazil. In: M.J.Hambrey & W.B.Harland (eds.). *Earth's Pre-Pleistocene Glacial Record*, Cambridge Univ. Press, Cambridge, pp.: 924-927.
- Rocha-Campos A.C., Young G.M., Santos P.R. 1996. Re-examination of a striated pavement near Jequitaiá, MG: Implications for Proterozoic stratigraphy and glacial geology. *An. Acad. Ciênc.*, **68**: 593.
- Schöll W.U. & Fogaça A.C.C. 1979. Estratigrafia da Serra do Espinhaço. In: Simpósio de Geologia de Minas Gerais, 1, Diamantina, Núcleo Minas Gerais, *Boletim* **1**: 55-73.
- Santos R.V., Alvarenga C.J.S. de, 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. *Prec. Res.*, **104**: 107-122.
- Teixeira W. & Figueiredo H.M.C. 1991. An outline of Early Proterozoic crustal evolution in the São Francisco Cráton, Brazil: a review. *Prec. Res.*, **53**: 1-22.
- Trompette R. 1994. *Geology of Western Gondwana (2000-500 Ma). Pan-African - Brasileiro aggregation of South America and Africa*. Balkema, Rotterdam, 350 pp.
- Uhlein A. 1991. *Transição cráton-faixa dobrada: exemplo do Cráton do São Francisco e da Faixa Araçuaí (Ciclo Brasileiro) no Estado de Minas Gerais. Aspectos estratigráficos e estruturais*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 295p.
- Uhlein A., Trompette R., Egydio-Silva M. 1998. Proterozoic rifting and closure, SE border of the São Francisco Cráton, Brazil. *J. South Am. Earth Sci.*, **11**: 191-203.
- Uhlein A., Trompette R., Alvarenga C.J.S. de 1999. Neoproterozoic glacial and gravitational sedimentation on a continental rifted margin: The Jequitaiá – Macaúbas sequence (Minas Gerais, Brazil). *J. South Am. Earth Sci.*, **12**: 435-451.
- Zhang, Q.R. 1992. Geological models of ice keel scours, with an early Sinian example. *Prec. Res.*, **59**: 315-323.

Manuscrito A 1484

Recebido em 17 de fevereiro de 2004

Revisão dos autores em 25 de novembro de 2004

Revisão aceita em 5 de dezembro de 2004