

SULCOS DE ORIGEM GLACIAL EM ARENITOS NEOCARBONÍFEROS DO PARQUE ESTADUAL DE VILA VELHA, SUDESTE DO PARANÁ

Fernando Farias VESELY

Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná / UFPR, Centro Politécnico. Jardim das Américas,
Caixa Postal 19001. CEP 81531-990. Curitiba, PR. Endereço eletrônico: vesely@ufpr.br

Introdução
Estratigrafia
Sulcos Glaciais
Associação de Fácies
Interpretação Paleoambiental
Discussão
Conclusões
Agradecimentos
Referências Bibliográficas

RESUMO – Este trabalho relata a descoberta de uma superfície de erosão glacial intraformacional em arenitos neocarboníferos na região do Parque Estadual de Vila Velha, borda sudeste da Bacia do Paraná. Os arenitos constituem-se de duas fácies principais: 1) arenitos grossos com estratificação cruzada e 2) conglomerados com gradação normal, clastos acima da média dispersos e feições de corte e preenchimento. A superfície glacial contém estrias, sulcos e cristas lineares e paralelos, com largura de até 20 cm e relevo máximo de 10 cm. Seixos ocorrem imersos no arenito, permitindo inferir o sentido de seu alojamento e consequentemente fluxo glacial de sudoeste para nordeste. Mediante comparação com exemplos do registro pleistocênico, a associação de fácies pode ser interpretada como leque proglacial subaquoso desenvolvido na frente de uma geleira marinha em retração. As feições erosivas foram geradas por gelo em movimento sobre um leito inconsolidado. A ausência de deformação glácio-tectônica e a natureza subaquosa das fácies são sugestivas de erosão por *icebergs*. Modelo similar é considerado para interpretar a gênese de outras ocorrências de superfícies estriadas intraformacionais no sudeste do Paraná, tendo em vista que as características diagnósticas e o padrão de orientação das lineações são compatíveis com feições de arrasto de *icebergs* quaternárias descritas na literatura.

Palavras-chave: Grupo Itararé, Carbonífero, superfícies estriadas, arrasto de *icebergs*.

ABSTRACT – F.F. Vesely - *Glacial grooves on Late Carboniferous sandstones at the Vila Velha State Park, Paraná, Brazil*. This paper describes a glacially grooved surface developed on Late Carboniferous sandstones that crop out in the Vila Velha State Park, southeastern border of the Paraná Basin, southern Brazil. The sandstones that host the glacial surface comprise two main lithofacies: 1. crossbedded coarse grained sandstones and 2. normally graded conglomerates with oversized clasts and cut and fill features. The grooved surface exhibit linear and parallel striations, grooves and ridges up to 20 cm wide and with a maximum relief of about 10 cm. Pebbles take place embedded on the surface, which allow determining its emplacement and consequently ice flow from southwest to northeast. By comparisons with recent case studies from the Pleistocene glacial record the facies association can be interpreted as a subaqueous proglacial fan system developed in front of a retreating temperate marine glacier. The erosive features were generated by ice motion on a non-lithified sandy substratum. The absence of glaciotectionic deformation and the subaqueous nature of the facies association strongly suggest scouring by icebergs as the main process. Similar origin is considered for other occurrences of intraformational glacial surfaces present in Paraná State, since diagnostic features and orientation patterns are in conformity with Quaternary iceberg scours reported in the literature.

Keywords: Itararé Group, Carboniferous, soft-sediment striated surfaces, iceberg scouring.

INTRODUÇÃO

Arenitos que afloram no Parque Estadual de Vila Velha e imediações, no sudeste paranaense, pertencem à unidade estratigráfica denominada de Grupo Itararé, na qual ocorrem importantes registros de sedimentação glacial em toda a Bacia do Paraná (e.g. Rocha-Campos, 1967). Todavia, a única evidência da ação de geleiras descrita até o momento na sucessão sedimentar de Vila Velha são clastos caídos em ritmitos associados às fácies arenosas (França et al., 1996; Vesely, 2006).

Quem primeiro considerou os arenitos de Vila Velha dentro da sucessão glacial neopaleozóica da Bacia do Paraná foi Maack (1946), que lhe atribuiu gênese fluvial sob influência de geleiras (fluvio-glacial). Meio século mais tarde, França et al. (1996) formularam modelo alternativo, considerando os arenitos fruto de fluxos gravitacionais em ambiente marinho influenciado por geleiras.

O presente trabalho relata a ocorrência inédita de

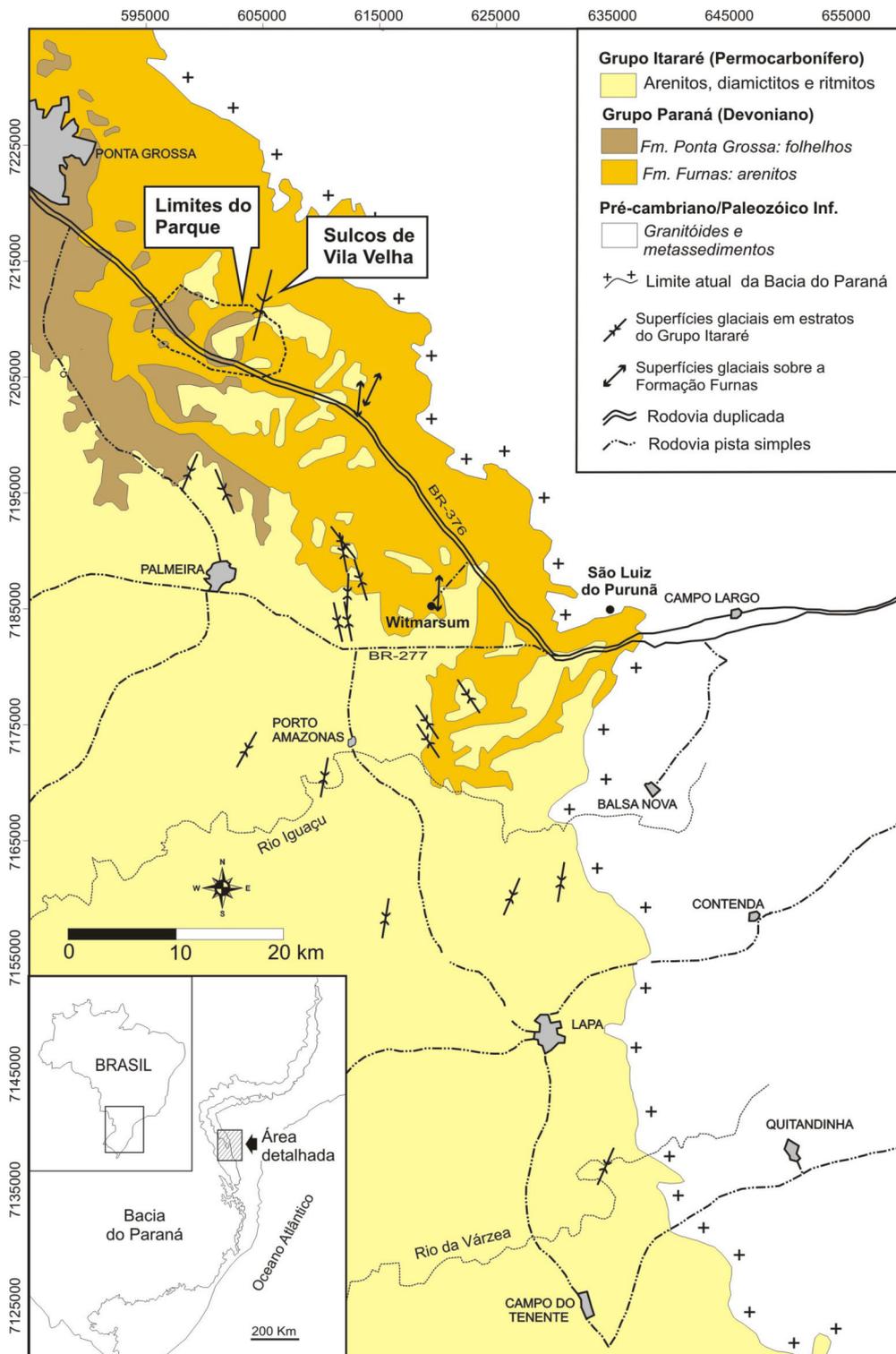


FIGURA 1. Esboço geológico da borda da Bacia do Paraná no sudeste Paranaense, com indicação das superfícies glaciais estudadas por Bigarella et al. (1967) e da ocorrência inédita discutida neste trabalho.

uma superfície contendo sulcos glaciais nos arenitos de Vila Velha, corroborando a influência do gelo na sedimentação. Os sulcos ocorrem entre camadas do próprio arenito, indicando que foram gerados por erosão glacial sobre um leito ainda inconsolidado, diferentemente de outras ocorrências conhecidas, onde estrias e sulcos ocorrem em substrato rígido do embasamento ou de unidades mais antigas da bacia (Almeida, 1948; Bigarella et al., 1967).

São objetivos do presente trabalho documentar, caracterizar e interpretar a superfície sulcada e a associação de fácies presente, bem como discutir implicações para a geologia glacial permocarbonífera da Bacia do Paraná. O afloramento analisado situa-se

na localidade denominada de Fortaleza, próximo do limite norte do parque estadual (Figura 1). Embora situado fora da unidade de conservação, a localidade é de grande relevância geoturística, sendo recomendada sua inserção nos roteiros de visitação do parque.

Superfícies glaciais intraformacionais, ou seja, penecontemporâneas à sedimentação, são de grande importância geológica porque fornecem informações sobre a gênese das fácies que ocorrem associadas (Woodworth-Lynas & Downeswell, 1994). Apesar de comuns ao longo da faixa de afloramentos do Grupo Itararé (vide sínteses em Gesicki et al., 2002 e Vesely & Assine, 2002), o significado paleoambiental dessas feições encontra-se pouco explorado na literatura.

ESTRATIGRAFIA

O Grupo Itararé alcança espessura máxima de 1300 m, conforme detectado em perfis de poços no sul do estado de São Paulo por França & Potter (1988). Na faixa de afloramentos do leste paranaense a unidade apresenta espessuras da ordem de 600 a 850 m (Vesely, 2006; Mineropar, 2006).

Na área de estudo o Grupo Itararé assenta em discordância angular ($\sim 7^\circ$) sobre rochas devonianas do Grupo Paraná, o que representa um hiato de dezenas de milhões de anos. Devido à compartimentação estrutural do substrato por influência de uma tectônica pré-Itararé, os estratos carboníferos podem estar em contato ora com a Formação Furnas ora com a Formação Ponta Grossa (Trzaskos et al., 2006).

A sucessão estratigráfica de Vila Velha corresponde à porção inferior do Grupo Itararé, que, na área estudada, atinge cerca de 120 m de espessura (Figura 2). O intervalo é posicionado no neocarbonífero (300 a 310 Ma) de acordo com palinomorfos encontrados nos pelitos que se intercalam aos arenitos (França et al., 1996). Ambiente salobro transicional a marinho é sugerido pela presença de *tasmanites*.

Maack (1946) dividiu o Grupo Itararé na área de Vila Velha em 4 unidades litoestratigráficas, incluindo arenitos e lamitos. Embora o autor tenha restringido a denominação “arenito Vila Velha” apenas para os últimos 65 m de arenitos avermelhados com decomposição ruíniforme, destacou um intervalo arenoso basal cuja espessura pode alcançar até 30 m (Figura 2). Esse intervalo, aqui designado informalmente de “arenitos basais”, é o hospedeiro dos sulcos glaciais descritos no presente trabalho.

Os dois intervalos arenosos estão separados por uma sucessão pelítica com ocorrências de clastos caídos de gelo flutuante. Segundo França et al. (1996), a base dos arenitos avermelhados constitui um limite de seqüência deposicional, cuja gênese é associada

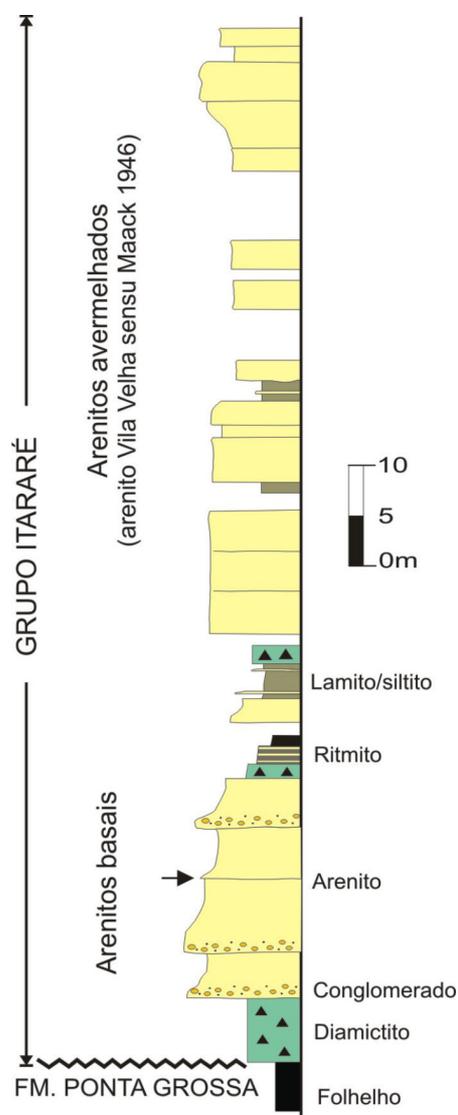


FIGURA 2. Perfil esquemático representando o empilhamento estratigráfico do Grupo Itararé na região de Vila Velha (modificado de Trzaskos et al., 2006). Setas indica a posição da superfície sulcada.

pelos autores a um evento de queda relativa do nível do mar. Devido à baixa resolução bioestratigráfica, o hiato envolvido nesse limite de seqüência não pode ser quantificado.

Os arenitos basais podem ser considerados neocarboníferos, já que os pelitos portadores de palinóforos dessa idade os sucedem em contato concordante (França et al. 1996; Vesely, 2006). Levantamentos

regionais demonstram que apesar de significativas variações laterais de espessura, os arenitos basais possuem ocorrência ampla na região sudeste do Paraná, sendo rastreáveis desde pelo menos Campo do Tenente até Ponta Grossa (Vesely, 2006). São muitas vezes confundidos com a Formação Furnas devido à sua coloração esbranquiçada e a onipresença de estratificação cruzada.

SULCOS GLACIAIS

A localidade denominada de Fortaleza constitui um platô de 1060 m de altitude situado no extremo norte do Parque Estadual de Vila Velha. Embora sustentado essencialmente pelos arenitos avermelhados ruiformes, na encosta setentrional do platô ocorrem também extensas exposições da Formação Furnas e dos arenitos basais do Grupo Itararé (Figura 3).

Os sulcos glaciais ocorrem sobre uma superfície que limita camadas de arenito. A superfície é ligeiramente côncava em perfil transversal e cobre uma área de cerca de 30 m² (dimensão transversal = 8 m). Parte foi destruída devido ao desabamento natural da parede rochosa, mas resquícios dos sulcos podem ainda ser vistos nos blocos rolados (Figura 4). Considerando os fragmentos desabados, estima-se uma área original mínima de 400 m² para a superfície sulcada.

Ocorrem sulcos e cristas lineares e retilíneas, localmente curvos, com forte paralelismo e perfil trans-

versal semicircular ou em “v”. Possuem relevo de no máximo 10 cm e largura de até 20 cm (Figura 4).

Seixos e grânulos subarredondados a angulosos ocorrem localmente alojados na superfície, causando deformação plástica no substrato arenoso (Figura 5A). Essas feições são evidência conclusiva de que a superfície foi produzida por erosão glacial e não por deslizamentos intraestratais. Também indicam que o substrato era mole no momento em que foi submetido ao arrasto do gelo.

Uma feição do tipo cabeça de prego (*nailhead striation*) foi identificada. Trata-se de um sulco em cuja extremidade encontra-se um clasto alojado ou o molde deixado por um clasto (Miller, 1996). Pode-se, portanto, determinar que os clastos foram arrastados no fundo de sudoeste para nordeste, indicando paleofluxo glacial segundo o azimute médio 10 (Figura 5B).

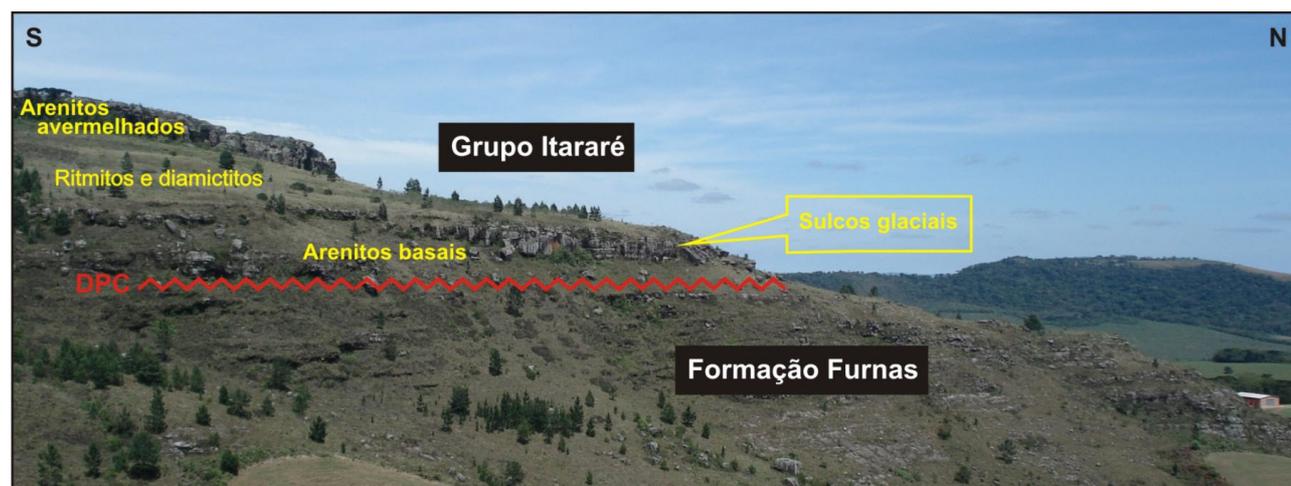


FIGURA 3. Vista panorâmica da encosta norte do platô da Fortaleza ilustrando as unidades estratigráficas presentes e a posição dos sulcos glaciais. DPC = discordância pré-Carbonífero.

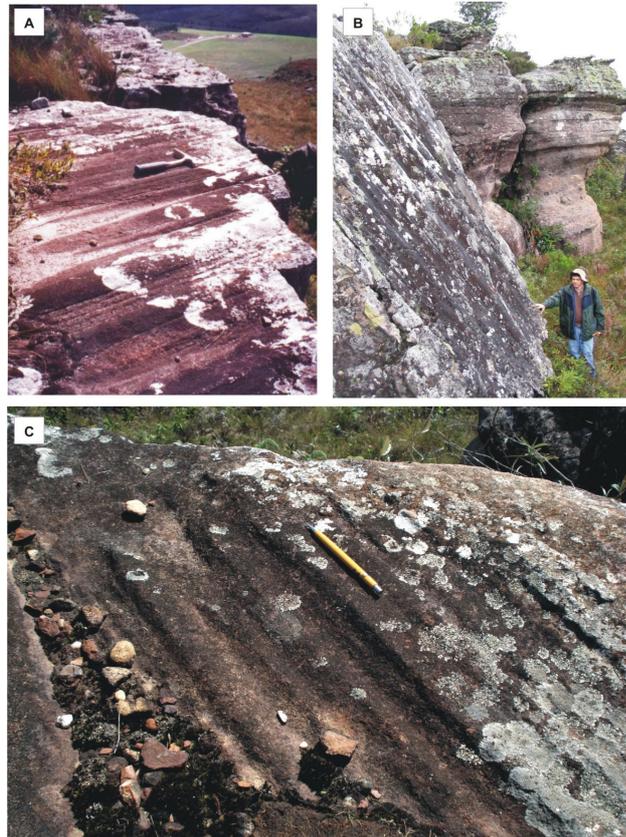


FIGURA 4. Superfície sulcada. A) Vista geral da superfície. B) Bloco desabado contendo sulcos. C) Detalhe dos sulcos e cristas retilíneas e paralelos (ponta da lapiseira indicando sentido de movimento do gelo).

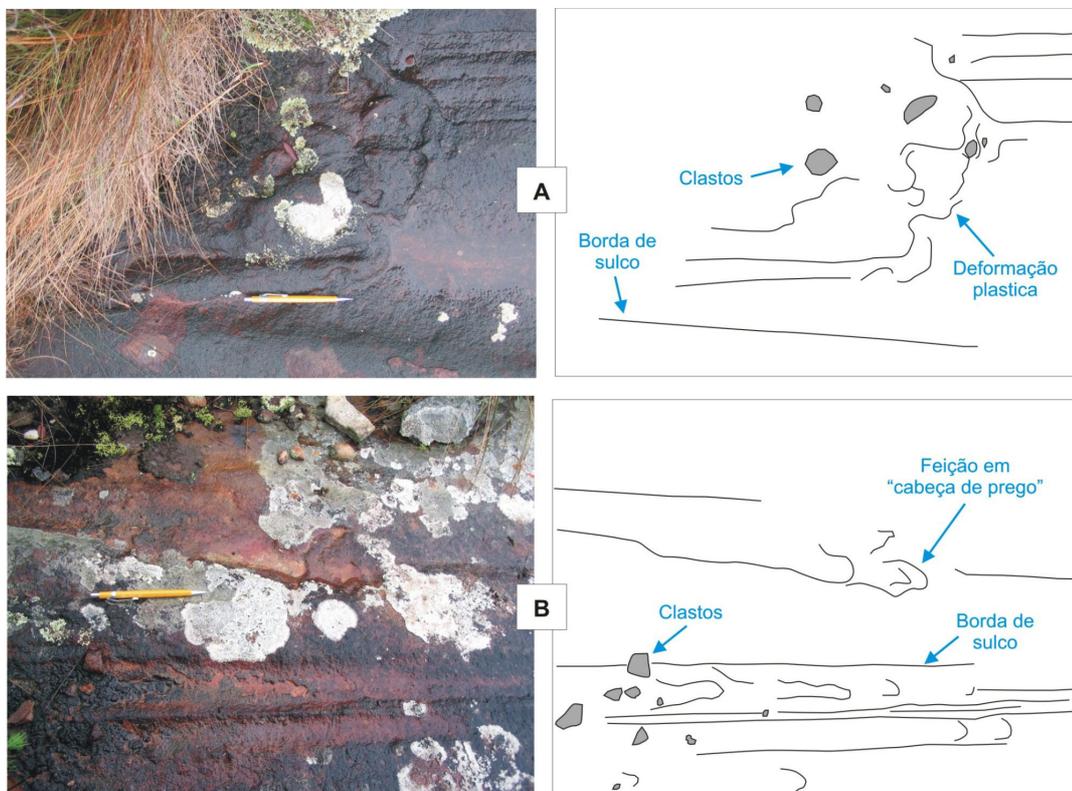


FIGURA 5. Evidências do sentido de movimento do gelo na superfície sulcada (fluxo da esquerda para a direita em ambas as fotos). A) Sulcos em “cabeça de prego” indicando arrasto de seixos no leito inconsolidado. B) Agregado de clastos alojados no substrato arenoso e causando deformação plástica.

ASSOCIAÇÃO DE FÁCIES

A superfície sulcada ocorre próximo ao topo de uma sucessão arenosa com cerca de 10 m de espessura que, no caso específico dessa localidade, assenta-se diretamente sobre arenitos da Formação Furnas. Predominam arenitos médios a grossos pobremente selecionados, aos quais se associam níveis conglomeráticos. Embora vários ciclos de variação granulométrica vertical possam ser identificados, o padrão

geral da sucessão é de afinamento para o topo. Os corpos possuem forma lenticular, limites erosivos e frequentes transições laterais de fácies (Figura 6).

A associação de fácies presente pode ser discriminada em pelo menos duas fácies principais: 1) arenito com estratificação cruzada planar/acanalada de médio a grande porte; 2) arenito conglomerático/conglomerado polimítico com gradação normal (Figura 7).

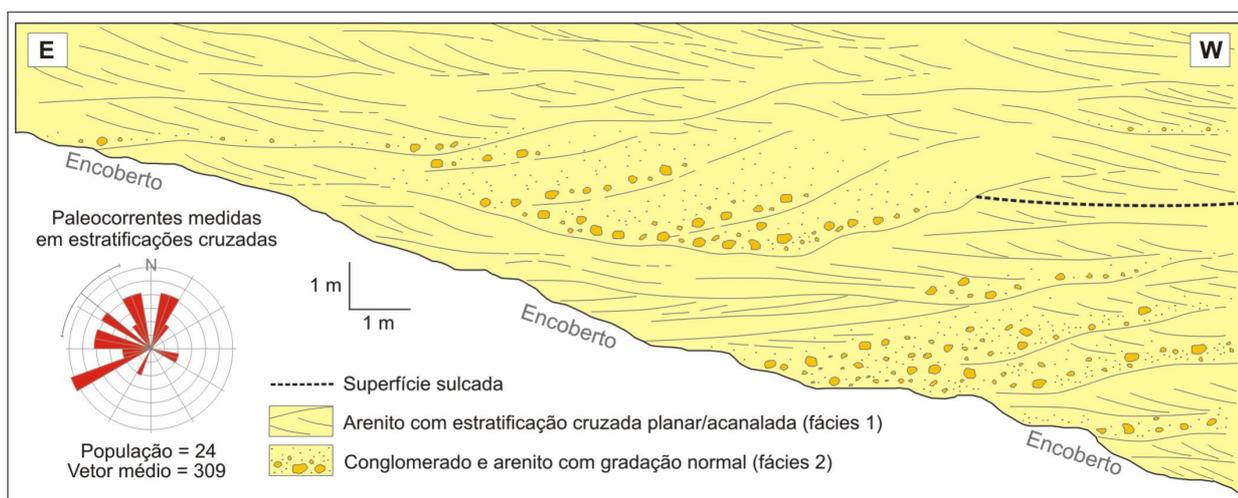


FIGURA 6. Esboço do afloramento descrito, ilustrando as fácies, geometrias estratigráficas e a posição da superfície sulcada.



Os arenitos da fácies 1 são produto de correntes dominadas por carga de fundo em regime de fluxo inferior, mediante migração de formas de leito de crista reta ou sinuosa. Em algumas camadas as formas de leito têm sua superfície de *stoss side* também preservada, indicando forte contribuição de deposição por suspensão.

Paleocorrentes medidas na fácies 1 indicam fluxo para noroeste (azimute médio 309), conforme ilustrado na Figura 6. Apesar de um desvio de 61 graus em relação ao vetor médio dos sulcos glaciais, esses dados sugerem correntes aquosas e movimento do gelo grosso modo de sul para norte. Dados levantados por França et al. (1996) no intervalo correspondente aos arenitos basais também indicam fluxo para noroeste (vide Figura 1 do artigo citado).

FIGURA 7. Fácies sedimentares associadas aos sulcos glaciais de Vila Velha.

- A) Arenito com estratificação cruzada planar exibindo preservação do *stoss-side* das formas de leito.
- B) Camadas inclinadas de arenito conglomerático com gradação normal. Notar feição de corte e preenchimento basal e clastos acima da média dispersos.

A fácies 2 consiste de camadas inclinadas de arenitos conglomeráticos e conglomerados com gradação normal, muitas vezes gradando no topo para arenitos muito grossos com estratificação incipiente. Os contatos basais dos eventos são erosivos e frequentemente com relevo irregular indicando feição de corte e preenchimento (Figura 7B). Clastos acima da média (entre 10 e 30 cm de dimensão) aparecem dispersos, principalmente próximo da base das camadas. Esses clastos podem estar imbricados ou com seus eixos maiores alinhados na horizontal.

O aspecto predominantemente não estratificado, a má seleção e a presença de gradação normal sugerem que a fácies 2 foi gerada por fluxos densos episódicos, provavelmente correntes de turbidez de alta densidade (conforme Lowe, 1982), sustentadas pelo efeito conjunto da turbulência do fluido e choque entre os grãos. Feições erosivas na base dos eventos evidenciam o caráter turbulento dos fluxos. A presença eventual de laminação no topo das camadas é indicativa de tração na parte superior e mais diluída do fluxo, retrabalhando a porção basal mais concentrada (fluxos bipartidos).

INTERPRETAÇÃO PALEOAMBIENTAL

A existência de superfície contendo sulcos e cristas glaciais dentro da sucessão estratigráfica é evidência da passagem de gelo sobre sedimentos não-consolidados. Isso indica que durante a sedimentação dos arenitos massas de gelo estavam próximas ou em contato com o sítio deposicional, o que caracteriza um ambiente proglacial segundo a nomenclatura clássica para ambientes glaciais (Miller, 1996; Assine & Vesely, 2008).

A associação de fácies em que os sulcos ocorrem é indicativa de sedimentação subaquosa, tendo em vista a presença de depósitos de fluxos densos (fácies 2) em associação com formas de leito unidirecionais geradas por tração mais suspensão (fácies 1). O porte das estratificações cruzadas e o caráter altamente concentrado dos fluxos, capazes de transportar clastos acima da média em suspensão, apontam para eventos de altíssima energia. A ausência de lama entre os eventos indica intensa erosão basal e/ou *bypass* dos finos fluxo abaixo.

Sucessões glácio-marinhas e glácio-lacustres do Pleistoceno contêm espessos depósitos arenocascalhosos formados da desembocadura submersa de túneis glaciais. Esses sistemas constituem os chamados leques proglaciais ou leques de contato glacial (*ice-contact fans*), em que a sedimentação é dominada por jatos de água de degelo que fluem através dos túneis e entram diretamente no corpo d'água (Cheel & Rust, 1986; Russell & Arnott, 2003; Hornung et al. 2007).

As fácies descritas nos arenitos basais de Vila Velha guardam várias semelhanças com aquelas documentadas por Hornung et al. (2007) em depósitos de um leque proglacial lacustre no noroeste da Alemanha. Dentre as principais similaridades estão: 1) camadas inclinadas de conglomerados com gradação normal; 2) feições de corte e preenchimento; 3) amalgamação dos corpos; 4) lenticularidade das camadas e conjuntos de camadas; 5) estruturas indicativas de tração mais suspensão; 6) clastos acima da média

dispersos em matriz arenosa ou cascalhosa; 7) estratificação cruzada de grande porte e, 8) perfil com granodecrescência ascendente. Com relação ao último item, cabe mencionar que esse padrão de empilhamento é típico dos leques proglaciais subaquosos, pois a sedimentação ocorre acompanhando o recuo do gelo, havendo conseqüentemente retrogradação dos sistemas deposicionais (Cheel & Rust, 1986).

Nesse contexto de sedimentação proglacial subaquosa, três hipóteses principais podem ser adotadas para explicar a origem da superfície sulcada: 1) erosão subglacial; 2) erosão na zona de aterramento de uma geleira marinha e, 3) erosão por arrasto de blocos de gelo livremente flutuantes (*icebergs* ou fragmentos de gelo marinho).

Deformações não foram observadas nos arenitos abaixo da superfície sulcada, o que constitui evidência fortemente contrária à primeira hipótese. Sedimentos inconsolidados são altamente susceptíveis a deformação glácio-tectônica, fenômeno causado pela ação cisalhante do gelo em deslocamento sobre o substrato (Dreimanis, 1993). Exemplos do Pleistoceno mostram vários tipos de estruturas associadas e esse processo, tais como dobras recumbentes, falhas reversas, superfícies de cisalhamento subhorizontais, e outras feições indicativas de deformação em regime compressivo (Hart & Roberts, 1994). A ausência dessas estruturas no afloramento estudado indica que os sulcos não foram desenvolvidos na zona subglacial de uma geleira em movimento.

Modelo teórico de erosão pelo arrasto de irregularidades na base do gelo próximo da zona de aterramento tem sido proposto para interpretar ocorrências de superfícies sulcadas e estriadas em arenitos permocarboníferos (e.g. O'Brien & Christie-Blick, 1992; Vesely & Assine, 2002). Entretanto, o processo ainda não foi documentado em ambientes glaciais do Quaternário (Woodworth-Lynas, comunicação pessoal 2008). Ao atingir um corpo d'água, uma geleira pode avançar

aterrada no fundo ou apresentar margem flutuante, o que depende de vários aspectos tais como espessura do gelo, profundidade da lâmina d'água, velocidade do fluxo glacial e regime térmico da geleira. A zona (ou linha) de aterramento constitui o ponto em que a margem da geleira deixa de exercer contato com o fundo, passando a flutuar. Todavia, conforme argumentado por Trosdorf et al. (2005), geleiras de margem flutuante são comuns em regiões de regime glacial polar, onde constituem plataformas de gelo como as da Antártica. Geleiras temperadas (ou de base úmida) apresentam filmes de água envolvendo os cristais de gelo, o que facilita a fragmentação frontal e a produção de *icebergs*. Tal característica física faz com que o gelo seja frágil demais para sustentar-se como uma plataforma flutuante.

Modelos paleogeográficos regionais (Santos et al., 1996) sugerem que as massas de gelo que adentraram a Bacia do Paraná no Permocarbonífero apresentavam regime térmico temperado. A abundância de feições indicativas de fluxo glacial por deslizamento basal e o grande volume de areia que preencheu a bacia durante

a glaciação suportam essa interpretação, pois testemunham intensa atividade de água de degelo no ambiente sedimentar. Dessa forma, geleiras de margem flutuante provavelmente não existiram na Bacia do Paraná durante o Permocarbonífero, tornando improvável a hipótese de erosão glacial em zona de aterramento para a origem das superfícies estriadas/sulcadas.

Com base no discutido acima, conclui-se que a hipótese de arrasto de quilhas de *icebergs* e/ou fragmentos de gelo marinho é a que melhor se aplica aos sulcos de Vila Velha (Figura 8), bem como a ocorrências similares descritas anteriormente no sudeste do Paraná (Bigarella et al. 1967; Vesely & Assine, 2002; Vesely, 2006). Considerando a presença de clastos alojados pelo gelo, assume-se que *icebergs* (blocos de gelo glacial desprendidos da margem de uma geleira) foram os agentes principais. Os elementos favoráveis a essa hipótese são: 1) natureza subaquosa da associação de fácies; 2) ausência de tilitos ou outras feições indicativas de deposição subglacial e, 3) ausência de deformações glácio-tectônicas nos arenitos subjacentes.

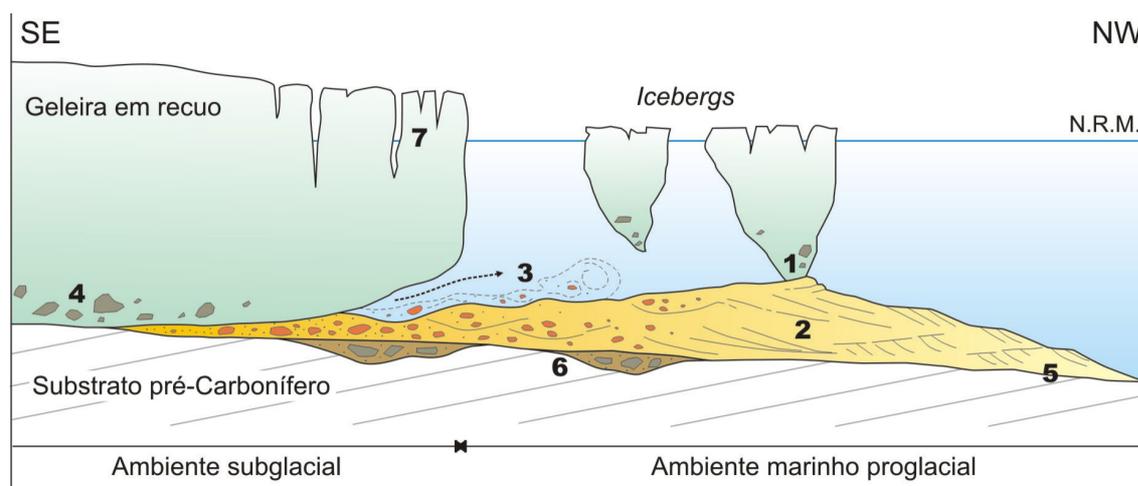


FIGURA 8. Modelo proposto para a formação de superfícies estriadas/sulcadas intraformacionais a partir do arrasto de quilha de *iceberg* sobre sedimentos arenosos inconsolidados (baseado em Hart & Roberts, 1994 e Miller, 1996): 1 – quilha de *iceberg* em contato com o fundo; 2 – leque proglacial subaquoso; 3 – fluxos turbulentos de água de degelo; 4 – detritos subglaciais; 5 – discordância pré-Carbonífero; 6 – tilitos subglaciais depositados em fase anterior de avanço da geleira; 7 – fragmentação da margem da geleira (*calving*) produzindo *icebergs*.

DISCUSSÃO

No trabalho de Vesely & Assine (2002) superfícies similares em arenitos foram estudadas na região de Palmeira, cerca de 20 km a sul de Vila Velha. Correlações regionais indicam que os arenitos de Palmeira correspondem grosso modo ao mesmo nível estratigráfico dos arenitos basais de Vila Velha. Segundo o modelo genético postulado por aqueles autores, as

superfícies estriadas foram originadas em ambiente subaquoso, provavelmente por abrasão de quilhas de gelo na zona de aterramento de uma geleira de margem flutuante. Gênese por arrasto de *icebergs* foi aventada, porém a aparente consistência na direção das lineações nas diferentes superfícies foi considerada um ponto contrário a essa hipótese (Vesely & Assine, 2002).

Visando reavaliar a questão, dados azimutais de marcas de arrasto de *icebergs* descritas por Woodworth-Lynas & Guigné (1990) na região de Winnipeg, Canadá, foram obtidas aleatoriamente partir de imagens aéreas de alta resolução disponíveis no Google Earth (Figuras 9 e 10). As feições, expostas numa área de milhares de quilômetros quadrados englobando partes dos estados de Manitoba (Canadá), Dakota do Norte e Minnessota (EUA), foram esculpidas em sedimentos quaternários do fundo do paleolago Agassiz (Woodworth-Lynas & Guigné, 1990).

Os diagramas da Figura 10 comparam a direção das várias superfícies estriadas/sulcadas do sudeste do Paraná (documentadas por Bigarella et al., 1967, Vesely & Assine, 2002 e Vesely, 2006) com as feições do paleolago Agassiz. Ambos os diagramas mostram baixo índice de dispersão dos dados e sugerem que a distribuição dos azimutes das estrias e sulcos no Grupo Itararé é compatível com o padrão de deslocamento de *icebergs*.

Interpretação semelhante foi empregada por Santos et al. (1992) para explicar a gênese de sulcos presentes em ritmitos do Grupo Itararé na região de Trombudo Central, leste catarinense. No caso descrito por aqueles autores, entretanto, ocorrem depressões rasas e levemente sinuosas, com dezenas de centímetros de largura e sem a presença de sulcos e cristas no seu interior. A presença de abundante material caído de gelo flutuante é evidência da presença de *icebergs* no ambiente sedimentar (Santos et al., 1992). O azimute médio das feições, 295°, segue o padrão observado nas superfícies glaciais ao longo de toda a faixa de afloramentos oriental do Grupo Itararé, indicando uma tendência consistente de movimentação de *icebergs*.

Icebergs são importantes agentes geológicos em lagos, fiordes, plataformas e mares epicontinentais adjacentes a massas de gelo (Weber, 1958; Pereira et al. 1988; Woodworth-Lynas & Guigné, 1990; Dowdeswell et al., 1993; Dowdeswell & Bamber,



FIGURA 9. Imagem aérea de uma localidade ao sul de Winnipeg, Canadá, ilustrando marcas de arrasto de *icebergs* (largura máxima = 120 m) entalhadas em sedimentos de fundo do paleolago Agassiz. Notar a linearidade das feições e a orientação consistente segundo a direção NW - SE (imagem obtida do Google Earth em 16/12/2010).



FIGURA 10. Diagramas em rosetas das direções de estrias no sudeste do Paraná e comparação com marcas de arraste de *icebergs* quaternárias no paleolago Agassiz. Notar a baixa dispersão dos dados em ambos os casos.

2007). Estudos realizados por Dowdeswell et al. (1993) no oeste da Groenlândia mostram que *icebergs* podem interagir com o leito marinho em profundidades superiores a 500 m. O arrasto das quilhas produz calhas lineares a curvilineares nos sedimentos de fundo, que podem atingir 100 m de largura, 10 m de profundidade e vários quilômetros de comprimento (Belderson et al., 1973). Internamente às calhas, sulcos e cristas paralelos podem ou não estar presentes.

Em síntese, Woodworth-Lynas & Dowdeswell

(1994) enumeram algumas características diagnósticas que permitem interpretar superfícies glaciais como marcas produzidas por arraste de quilhas de gelo flutuante, a saber: 1) sulcos e cristas lineares e paralelos; 2) bermas marginais; 3) superfícies sulcadas restritas à área entre as bermas; 4) natureza subaquosa dos depósitos associados. Muitas dessas características são observadas nas superfícies estriadas do Grupo Itararé (Vesely & Assine, 2002; Vesely, 2006), sugerindo a aplicabilidade do modelo.

CONCLUSÕES

A descoberta de uma superfície contendo sulcos glaciais em arenitos neocarboníferos do Grupo Itararé na região de Vila Velha corrobora a influência glacial na sedimentação. A ocorrência é similar e insere-se no mesmo nível estratigráfico de outras tantas documentadas no sudeste do Paraná em trabalhos anteriores. Os arenitos que contem a superfície sulcada representam depósitos de leques proglaciais subaquosos, construídos na desembocadura de jatos de água de degelo carregados em areia e cascalho.

A ausência de deformações sinsedimentares abaixo da superfície sulcada e o regime térmico temperado assumido para as geleiras neopaleozóicas da Bacia do Paraná são argumentos que desfavorecem a gênese das feições por erosão subglacial ou na zona de aterramento de uma geleira de margem flutuante.

Interpreta-se que a superfície foi desenvolvida pelo arrasto de quilhas de *icebergs* que eventualmente

tocavam o fundo arenoso. Aventa-se ainda gênese similar para as ocorrências vizinhas, já que tanto as feições erosivas quanto as fácies sedimentares são semelhantes e pertencentes ao mesmo trato deposicional subaquoso.

Os resultados deste trabalho sugerem que muitas ocorrências de superfícies estriadas intraformacionais da Bacia do Paraná, bem como de sucessões correlatas nas bacias gondwânicas, podem ter sido produzidas pelo arrasto de blocos de gelo livremente flutuantes em ambiente marinho ou lacustre. Essa conclusão diverge da maioria dos trabalhos anteriores, que interpretam as superfícies como sendo subglaciais, ou seja, desenvolvidas sob uma geleira. Confirmada a hipótese aqui apresentada, será pertinente uma reavaliação do papel do gelo na sedimentação permocarbonífera e das reconstruções paleogeográficas regionais.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho insere-se no projeto de pesquisa intitulado “Estratigrafia e paleogeografia da seqüência Permocarbonífera da Bacia do Paraná” (registro UFPR 2010024890). O autor agradece à administração do Parque Estadual de Vila Velha por permitir acesso aos afloramentos. Mario Luis Assine, Ary Gustavo Candido, Ronaldo Paulo Kraft e Ricardo Letenski colaboraram nos trabalhos de campo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.F.M. A “Roche Moutonnée” de Salto, Estado de São Paulo. **Boletim Geologia e Metalurgia**, v. 5, p. 112-118, 1948.
- ASSINE, M.L. & VESELY, F.F. Ambientes glaciais. In: SILVA, A.J.C.L.P.; ARAGÃO, M.A.N.F.; MAGALHÃES, A.J.C. (Coords.), **Ambientes de Sedimentação Siliciclástica do Brasil**. São Paulo: Editora Beca, p. 25-51, 2008.
- BELDERSON, R.H.; KENYON, N.H.; WILSON, J.B. Iceberg plough marks in the northeast Atlantic. **Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology**, v. 13, p. 215-224, 1973.
- BIGARELLA, J.J.; SALAMUNI, R.; FUCK, R.A. Striated surfaces and related features developed by Gondwana ice sheets (State of Paraná, Brazil). **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 3, p. 265-276, 1967.
- CHEEL, R.J. & RUST, B.R. A sequence of soft-sediment deformation (dewatering) structures in Late Quaternary subaqueous outwash near Ottawa, Canada. **Sedimentary Geology**, v. 47, p. 77-93, 1986.
- DOWDESWELL, J.A. & BAMBER, J.L. Keel depths of modern Antarctic icebergs and implications for sea-floor scouring in the geological record. **Marine Geology**, v. 242, p. 120-131, 2007.
- DOWDESWELL, J.A.; VILLINGER, H.; WHITTINGTON, R.J.; MARIENFELD, P. Iceberg scouring in Scoresby Sund and on the East Greenland continental shelf. **Marine Geology**, v. 111, p. 37-53, 1993.
- DREIMANIS, A. Small to medium-sized glaciotectionic structures in till and its substratum and their comparison with mass movement structures. **Quaternary International**, v. 18, p. 69-79, 1993.
- FRANÇA, A.B. & POTTER, P.E. Estratigrafia, ambiente deposicional e análise de reservatório do Grupo Itararé (Permocarbonífero), Bacia do Paraná (parte 1). **Boletim de Geociências da Petrobrás**, v. 2, p. 147-191, 1988.
- FRANÇA, A.B.; WINTER, W.R.; ASSINE, M.L. Arenitos Lapa-Vila Velha: Um modelo de trato de sistemas subaquosos canal-lobos sob influência glacial, Grupo Itararé (C-P), Bacia do Paraná. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 26, p. 43-56, 1996.
- GESICKI, A.L.D.; RICCOMINI, C.; BOGGIANI, P.C. Ice flow direction during Late Paleozoic glaciation in western Paraná Basin, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 14, p. 933-939, 2002.
- HART, J.K. & ROBERTS, D.H. Criteria to distinguish between subglacial glaciotectionic and glaciomarine sedimentation, I. Deformation styles and sedimentology. **Sedimentary Geology**, v. 91, p. 191-213, 1994.
- HORNUNG, J.J.; ASPRION, U.; WINSEMANN, J. Jet-efflux deposits of a subaqueous ice-contact fan, glacial Lake Rinteln, northwestern Germany. **Sedimentary Geology**, v. 193, p. 167-192, 2007.
- LOWE, D.R. Sediment gravity flows: II. depositional models with special reference to the deposits of high-density turbidity currents. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 52, p. 279-297, 1982.
- MAACK, R.A. Geologia e geografia da região de Vila Velha (Paraná) e considerações sobre a glaciação carbonífera no Brasil. **Arquivos do Museu Paranaense**, v. 5, p. 1-305, 1946.
- MILLER, J.M.G. Glacial Sediments. In: H.G. READING (Coord.), **Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy**. Oxford: Blackwell Science, p. 454-484, 1996.
- MINEROPAR – MINERAIS DO PARANÁ S.A. **Mapa Geológico da Folha de Ponta Grossa, Escala 1:100.000**. Curitiba, 2006.
- O'BRIEN, P.E. & CHRISTIE-BLICK, N. Glacially grooved surfaces in the Grant Group, Grant Range, Canning Basin and the extent of Late Palaeozoic Pilbara ice sheets. **Journal of Australian Geology and Geophysics**, v. 13, p. 87-92, 1992.
- PEREIRA, C.P.G.; WOODWORTH-LYNAS, C.M.T.; BARRIE, J.B. Iceberg scour investigations and sedimentology of the Southeast Baffin Island Continental Shelf. **Arctic**, v. 41, p. 221-230, 1988.
- ROCHA-CAMPOS, A.C. The Tubarão Group in the Brazilian portion of the Paraná Basin. In: BIGARELLA, J.J., BECKER, R.D., PINTO, I.D. (Coords.), **Problems in Brazilian Gondwana Geology**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, p. 27-102, 1967.
- RUSSELL, H.A.J. & ARNOTT, R.W.C. Hydraulic-jump and hyperconcentrated-flow deposits of a glacial subaqueous fan: Oak Ridges moraine, Southern Ontario, Canada. **Journal of Sedimentary Research**, v. 73, p. 887-905, 2003.
- SANTOS, P.R.; ROCHA-CAMPOS, A.C.; CANUTO, J.R. Estruturas de arrasto de icebergs em ritmo do Subgrupo Itararé (Neopaleozóico), Trombudo Central, SC. **Boletim IG-USP (Série Científica)**, v. 23, p. 1-18, 1992.
- SANTOS, P.R.; ROCHA-CAMPOS, A.C.; CANUTO, J.R. Patterns of Late Palaeozoic deglaciation in the Paraná Basin, Brazil. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 125, p. 165-184, 1996.
- TROSDTORF JR., I.; ROCHA-CAMPOS, A.C.; SANTOS, P.R.; TOMIO, A. Origin of Late Paleozoic, multiple, glacially striated surfaces in northern Paraná Basin (Brazil): Some implications for the dynamics of the Parana glacial lobe. **Sedimentary Geology**, v. 181, p. 59-71, 2005.
- TRZASKOS, B.; VESELY, F.F.; ROSTIROLLA, S.P. Eventos tectônicos recorrentes impressos no arcabouço estratigráfico do Grupo Itararé na região de Vila Velha, Estado do Paraná. **Boletim Paranaense de Geociências**, v. 58, p. 89-104, 2006.
- VESELY, F.F. **Dinâmica sedimentar e arquitetura estratigráfica do Grupo Itararé (Carbonífero – Permiano) no centro-leste da Bacia do Paraná**. Curitiba, 2006. 224 p. Tese (Doutorado em Geologia) – Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná.
- VESELY, F.F. & ASSINE, M.L. Superfícies estriadas em arenitos do Grupo Itararé produzidas por gelo flutuante, sudeste do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 32, p. 587-594, 2002.
- WEBER, J.N. Recent grooving in lake bottom sediments at Great Slave Lake, Northwest Territories. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 28, p. 333-341, 1958.
- WOODWORTH-LYNAS, C.M.T. & DOWDESWELL, J.D. Soft-sediment striated surfaces and massive diamiction facies produced by floating ice. In: DEYNOUX, M. et al. (Coords.), **Earth's Glacial Record**. Cambridge: Cambridge University Press, p. 241-259, 1994.
- WOODWORTH-LYNAS, C.M.T. & GUIGNÉ, J.Y. Iceberg scours in the geological record: examples from glacial lake Agassiz. In: DOWDESWELL, J.A. & SCOURSE, J.D. (Coords.), **Glacimarine Environments: processes and sediments**. London: Geological Society, p. 217-223, 1990.

Manuscrito Recebido em: 1 de março de 2011
Revisado e Aceito em: 4 de julho de 2011