

Divisão litoestratigráfica do Grupo Itararé no estado do Paraná

FERNANDO FARIAS VESELY¹, DANIELE DELGADO²,
ANDRÉ LUÍS SPISILA³ & MARIANE BRUMATTI⁴

¹ Departamento Geologia UFPR, Brasil, vesely@ufpr.br

² Departamento Geologia UFPR, Brasil, daniele.delgado@ufpr.br

³ Serviço Geológico do Brasil - CPRM, Brasil, andre.spisila@cprm.gov.br

⁴ Serviço Geológico do Brasil - CPRM, Brasil, mariane.brumatti@cprm.gov.br

Resumo

O Grupo Itararé consiste em um espesso conjunto de rochas permocarboníferas aflorantes por uma área de cerca de 15 mil km² no Segundo Planalto Paranaense. A unidade foi objeto de subdivisão estratigráfica em subsuperfície e na faixa aflorante do estado de Santa Catarina. Contudo, na faixa de afloramentos do estado do Paraná a unidade é tratada como indivisa apesar da sua grande heterogeneidade litológica. Visando preencher essa lacuna de conhecimento, o presente trabalho apresenta a subdivisão do Grupo Itararé e sua cartografia na escala 1:600.000 em toda a faixa de afloramentos no estado do Paraná. Quatro formações, três membros e cinco unidades informais foram individualizadas e mapeadas. A Formação Lagoa Azul é a mais antiga, constitui-se de depósitos glaciais continentais e repousa sobre o substrato pré-Itararé, onde são comuns formas erosivas produzidas pelo gelo. Acima da anterior repousa a Formação Campo do Tenente, que inclui o arenito Vila Velha e fácies de folhelho, ritmito e diamictito formadas em ambiente aquático de água salobra com influência glacial. A Formação Campo Mourão repousa em discordância sobre as unidades subjacentes, é predominantemente arenosa e inclui unidades areníticas informais tais como os arenitos Lapa, Pedra Alta e Barreiro. A influência glacial nessa formação é sutil e sua deposição ocorreu em ambientes desde fluviais até marinhos. A Formação Taciba, unidade mais jovem, é composta pelos membros Rio Segredo, Chapéu do Sol e Rio do Sul que, respectivamente, são caracterizados pelo predomínio de arenito, diamictito e fácies heterolíticas. A sedimentação dessa unidade registra ambientes glacio-marinhos rasos e profundos. As relações estratigráficas observadas em campo aliadas a dados bioestratigráficos e geocronológicos de trabalhos anteriores permitem posicionar o Grupo Itararé entre o Viseano e o Sakmariano, totalizando amplitude temporal de 43 Ma.

Palavras-chave: Carbonífero, Permiano, ambientes glaciais, Bacia do Paraná

Abstract

The Itararé Group is a thick permocarboniferous unit cropping out over an area about 15 thousand km² in the second plateau of Paraná state, Southern Brazil. The unit has been subdivided elsewhere in the Paraná Basin but in the outcrop belt of Paraná state it is treated as undivided despite its great lithological heterogeneity. In order to fill this knowledge gap, the present work presents the first subdivision of the Itararé Group and its cartography at a 1: 600.000 scale in the whole outcrop belt in Paraná state. Four formations, three members and five informal units were individualized and mapped. The Lagoa Azul Formation is the oldest and consists of continental glacial deposits resting on the pre-Itararé substrate, where erosive landforms produced by glacial ice are common. The Campo do Tenente Formation lies above the previous one and includes the Vila Velha sandstone and shale, rhythmite and diamictite facies formed in brackish aquatic environments under glacial influence. The Campo Mourão Formation lies unconformably over the underlying units, is predominantly sandy and includes informal sandstone units such as Lapa, Pedra Alta and Barreiro sandstones. The glacial influence in this formation is subtle and its deposition occurred in environments ranging from fluvial to marine. The Taciba Formation, the youngest unit, includes the Rio Segredo, Chapéu do Sol and Rio do Sul members, which, respectively, are characterized by the predominance of sandstones, diamictites and heterolithics. The sedimentation of this unit records shallow and deep glacial-marine environments. The stratigraphic relationships observed in the field, combined with biostratigraphic and geochronological data from previous works, allow the Itararé Group to be placed between the Visean and the Sakmarian, covering a time span of 43 Ma.

Keywords: Carboniferous, Permian, glacial environments, Paraná Basin

1. Introdução

O Grupo Itararé se estende por toda a Bacia do Paraná (Fig. 1) e sua faixa de afloramentos cobre cerca de 15.000 km² do Segundo Planalto Paranaense. Sobre esse substrato geológico situa-se intensa atividade agrícola e industrial, mais de mil processos minerários ativos e uma população de aproximadamente 750 mil pessoas em cidades tais como Ponta Grossa, Telêmaco Borba, Lapa, Rio Negro e Palmeira. Importantes destinos geoturísticos e unidades de conservação também se beneficiam das exposições de rochas do Grupo Itararé, como, por exemplo, o pavimento estriado de Witmarsum (Palmeira; Fig. 2A), o monumento da Pedra Caída (Rio Negro; Fig. 2B), o Parque Estadual de Vila Velha (Ponta Grossa; Fig. 2C) e o Salto Santa Rosa (Tibagi; Fig. 2D) dentre outros. Além disso, o Grupo Itararé é um dos principais sistemas aquíferos no estado e hospeda as únicas ocorrências comerciais de petróleo (gás natural) já descobertas na Bacia do Paraná.

Apesar do imenso volume de rochas e da grande relevância ambiental, social e econômica, o Grupo Itararé tem sido retratado como unidade litoestratigraficamente indivisa no estado do Paraná, mesmo apresentando grande heterogeneidade litológica. A litoestratigrafia é o primeiro passo rumo à compreensão do arcabouço geológico, pois possibilita que os litotipos sejam organizados espacialmente. Além disso, é através da nomenclatura litoestratigráfica que geocientistas se comunicam, avançam em direção ao senso comum e estabelecem as bases para estudos mais específicos. Nesse sentido, compreendemos que o mapeamento geológico sistemático é uma ferramenta essencial nesse processo.

Neste trabalho apresentamos a subdivisão litoestratigráfica do Grupo Itararé na sua faixa de afloramentos no estado do Paraná (leste da Bacia do Paraná), uma contribuição ao novo mapa geológico do Paraná elaborado pelo Serviço Geológico do Brasil - CPRM, em parceria com a UFPR e o IAT (CPRM, 2021). O resultado foi possível graças a um extenso trabalho de compilação de pesquisas realizadas nos últimos 20 anos, incluindo artigos acadêmicos e dissertações/teses não publicadas que melhoraram a compreensão do arcabouço lito-bio-cronoestratigráfico, assim como o entendimento da sedimentação. Esse resultado proporciona uma evolução significativa na estratigrafia e cartografia geológica do Paleozoico paranaense e preenche uma lacuna no arcabouço estratigráfico regional dos depósitos permocarboníferos da Bacia do Paraná.

2. Materiais e métodos

O projeto envolveu a compilação de afloramentos descritos em trabalhos acadêmicos realizados na UFPR entre 2004 e 2021, assim como oriundos do projeto de mapeamento da folha de Ponta Grossa realizado mediante convênio entre a UFPR e a extinta Mineropar (Mineropar, 2007). Essa compilação resultou em cerca de 900 afloramentos (Fig. 3), de distribuição heterogênea ao longo do estado, e que foram catalogados e classificados segundo o litotipo dominante. Mapas geológicos produzidos em teses, dissertações e artigos também foram incorporados na base de dados (Fig. 3) e verificação de

campo foi feita em áreas com maior carência de informações. Os contatos geológicos foram mapeados com o apoio da base geológica integrada e modelo digital do relevo da base SRTM 30. A interpretação do relevo considerou aspectos da textura e rede de drenagem, assim como mudanças abruptas de declividade observáveis na escala 1:250.000.

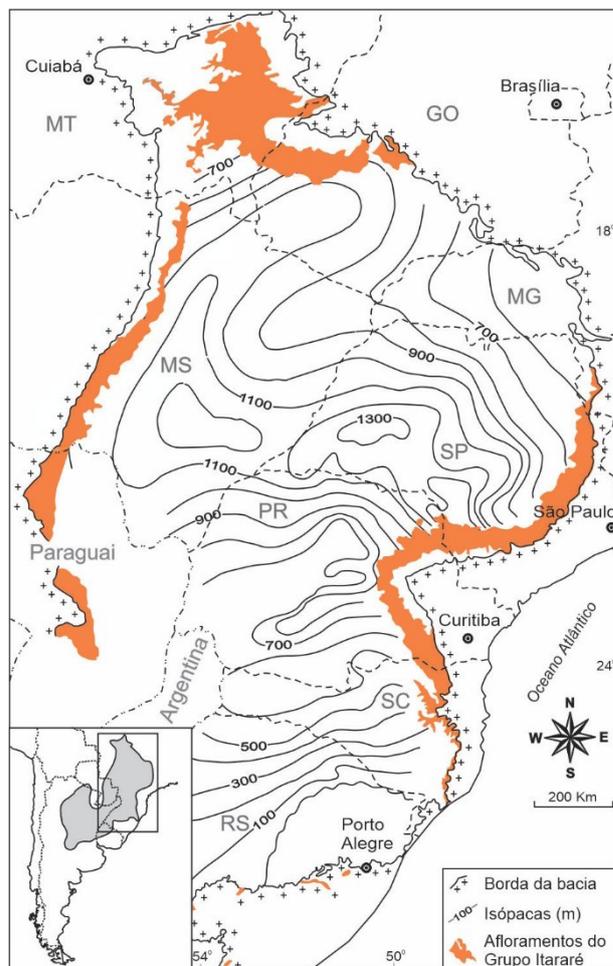


Figura 1 – Distribuição das rochas do Grupo Itararé e unidades correlatas na Bacia do Paraná. Isópacas compiladas de França e Potter (1988).

3. Breve histórico sobre a litoestratigrafia do Grupo Itararé no Paraná

O termo “Série Itararé” foi cunhado por Oliveira (1916, 1927) para englobar “sedimentos conglomeráticos, arenosos e argilosos característicos de depósitos glaciais” aflorantes no vale do rio Itararé, que faz a divisa PR/SP (Fig. 4A). O autor estimou, na época, uma espessura em torno de 350 a 500 m. Antes disso, referências aos estratos com indícios de glaciação “permiana” em diferentes localidades no Paraná haviam sido apresentadas por Derby (1878) e Woodworth (1912), sendo que o último autor foi quem reconheceu a primeira evidência conclusiva de glaciação, na forma de

clastos estriados em diamictito (Fig. 4B). A elevação do conjunto Itararé à categoria de grupo foi proposta mais tarde por Gordon Jr. (1947).

Reinhard Maack foi um importante estudioso do Carbonífero paranaense e da glaciação gondwânica no sul do Brasil (Maack, 1946; 1947). Seus trabalhos também contribuíram para a primeira proposta formal de divisão litoestratigráfica do Grupo Itararé, materializada no mapa geológico do estado do Paraná produzido pelo mesmo autor (Maack, 1953). Nesse notável mapa (Fig. 4C), o Grupo Itararé foi dividido, da base para o topo, nas formações Palmira e Taió, além de uma unidade informal denominada de “camadas de *drift* glacial” presente apenas no norte do estado e muitas vezes acima de camadas de carvão. Na concepção de Maack, a Formação Palmira englobaria os depósitos considerados de origem continental e glacial, ao passo que a Formação Taió seria essencialmente glácio-marinha, englobando, dentre outros litotipos, o folhelho marinho Passinho (e.g., Oliveira, 1927).

Infelizmente, a proposta de Maack (1953) não teve continuidade nos mapas geológicos subsequentes, fazendo com que o Grupo Itararé tornasse a ser cartogra-

fado como unidade indivisa. Porém, trabalhos posteriores confirmaram várias das observações de Maack. Por exemplo, a Formação Rio do Sul, proposta mais tarde por Schneider et al. (1974), tem sua distribuição geográfica no sul do Paraná coincidente com a da Formação Taió no mapa de Maack (1953). Além disso, os diamictitos da unidade de “*drift* glacial”, presentes no topo do Grupo Itararé, constituem o que foi denominado posteriormente de Membro Chapéu do Sol por França e Potter (1988), tratando-se de um conspicuo complexo diamictítico com clastos exóticos de grandes dimensões, muitas vezes facetados e estriados. Por fim, idade carbonífera (ao invés de eopermiana) para a quase totalidade dos sedimentos Itararé, atualmente defendida por vários autores e comprovada por dados geocronológicos e bioestratigráficos (e.g., Souza, 2006; Cagliari et al. 2016), já era admitida por Maack na década de 1940 com base em correlações com outras unidades neopaleozoicas.

Dois projetos subsequentes de mapeamento geológico sistemático permitiram detalhar o Grupo Itararé no sul do Paraná. O primeiro foi executado pela Comissão da Carta Geológica do Paraná e produziu mapas nas escalas 1:50.000 e 1:70.000 de parte da faixa de afloramentos



Figura 2 – Exemplos de destinos geoturísticos em exposições de rochas do Grupo Itararé no Paraná. A) Pavimento estriado de Witmarsum (Palmeira). B) monumento da Pedra Caída (Rio Negro). C) Parque Estadual de Vila Velha (Ponta Grossa), tendo ônibus como escala (círculo amarelo). D) Salto Santa Rosa (Tibagi).

das rochas permocarboníferas. Merece destaque o mapa da quadricula Quero-Quero (município de Palmeira), elaborado por Fuck et al. (1966), em que a parte inferior do Grupo Itararé foi subdividida em quatro unidades informais (associações de fácies). Nesse trabalho também foi descoberto o clássico pavimento estriado de Witmarsum, onde diamictitos subglaciais repousam sobre estrias e sulcos escavados nos arenitos da Formação Furnas.

O segundo projeto, na escala 1:100.000, foi conduzido pela Petrobras em toda a faixa de afloramentos da Bacia do Paraná. A síntese dos resultados foi publicada numa revisão da estratigrafia da bacia, apresentada por Schneider et al. (1974) no Congresso Brasileiro de Geologia daquele ano. Uma das contribuições foi a subdivisão do Grupo Itararé em três unidades (Fig. 5), em ordem ascendente, formações Campo do Tenente (lamosa), Mafra (arenosa)

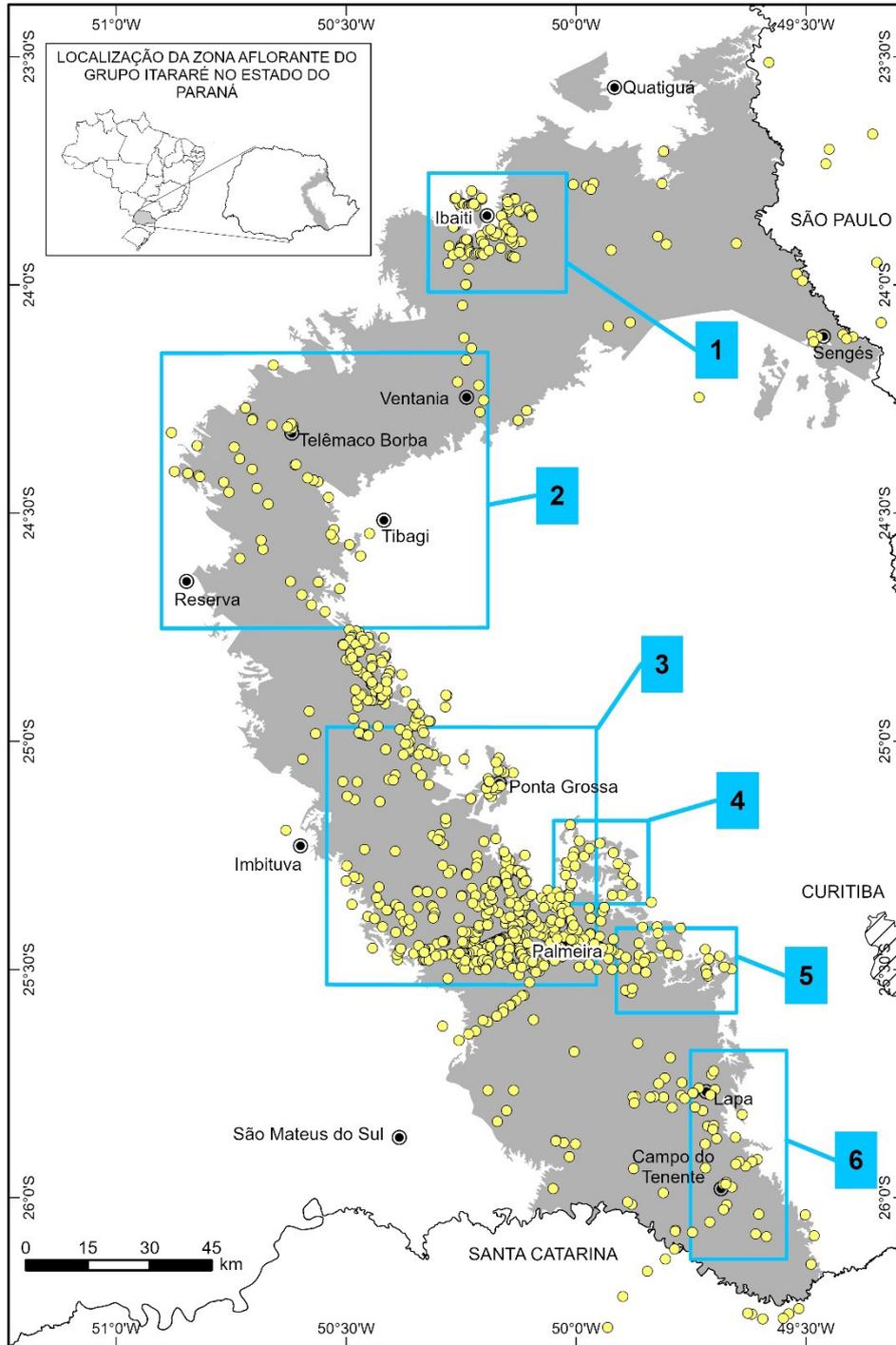


Figura 3 – Base de dados utilizada no mapeamento litoestratigráfico do Grupo Itararé no Paraná. Faixa em cinza indica zona aflorante estudada e os círculos em amarelo representam afloramentos. Polígonos numerados situam mapas compilados dos seguintes estudos anteriores: 1) Mottin (2017), 2) Figueira (2004), 3) Mineropar (2007), 4) Trzaskos et al. (2006), 5) Rosa (2018), 6) Vesely et al. (2021).

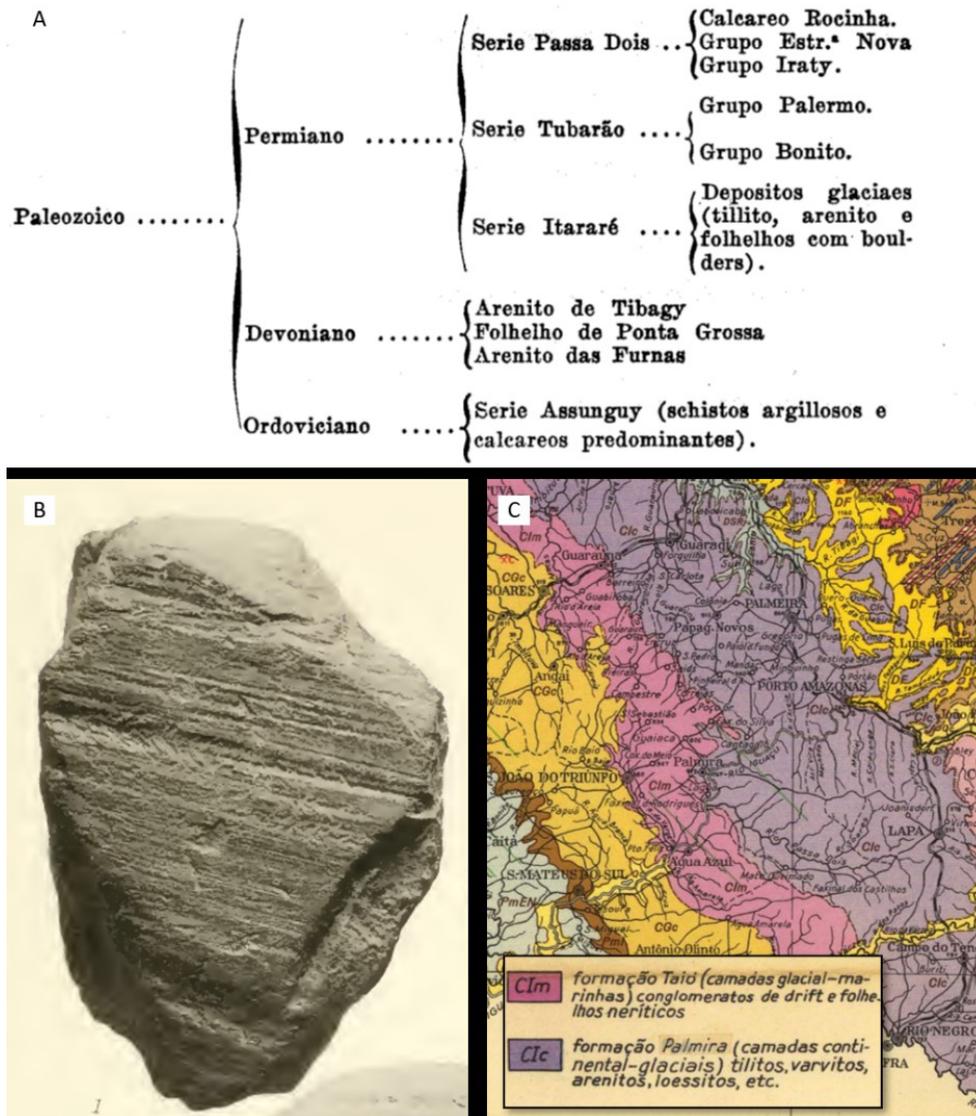


Figura 4 – Registros históricos da estratigrafia do Grupo Itararé no Paraná. A) Subdivisão do Paleozoico paranaense de acordo com Oliveira (1927), incluindo a “Série Itararé” definida pelo autor. B) Ilustração do primeiro clasto estriado identificado na Bacia do Paraná, proveniente do rio Jaguaricatu, município de Sengés (extraído de Woodworth, 1912). C) Recorte do mapa geológico de Maack (1953), em que o Grupo Itararé aparece dividido nas formações Palmira e Taio.

e Rio do Sul (lamosa), em todo o estado de Santa Catarina e extremo sul do Paraná (Tommasi e Roncarati, 1970 *apud* Schneider et al., 1974). Foi destacada na base da Formação Rio do Sul a unidade informal “folhelho Lontras”, cuja distintiva cor preta e presença de concreções carbonáticas permitiam sua distinção dos demais litotipos daquela formação. Documentou-se ainda que as unidades sofrem *onlap* para sul, de forma que apenas a Formação Rio do Sul está presente no centro-sul catarinense. Uma releitura dos mapas da Petrobras foi publicada na década de 1980 pela CPRM no projeto “Borda Leste da Bacia do Paraná” (Aboarrage e Lopes, 1986).

Até a segunda metade dos anos 1980 o Grupo Itararé era formalmente dividido apenas na faixa de afloramentos de Santa Catarina e sul do Paraná. Além disso, havia uma enorme lacuna de conhecimento sobre seu arcabouço estratigráfico em subsuperfície, embora campanhas

de exploração de petróleo conduzidas pela Petrobras e Paulipetro já tivessem executado dezenas de sondagens (29 no Paraná) que atravessavam a unidade por completo. França e Potter (1988) examinaram os perfis geofísicos e testemunhos desses poços e verificaram que o Grupo Itararé compreendia três “ciclos” com argiloidade crescente para cima, apresentando base arenítica que passava gradualmente para intervalo diamictítico e lamítico no topo (Fig. 5). Nomes litoestratigráficos foram então atribuídos aos ciclos e suas divisões, usando como referência o nome do poço mais representativo. O ciclo basal foi denominado de Formação Lagoa Azul, incluindo o Membro Cuiabá Paulista (arenítico) na base e o Membro Tarabai (diamictítico/lamítico) no topo, sendo que o último continha ainda intervalo de folhelho anormalmente radioativo denominado de Camada Roncador. O ciclo superior foi denominado de Formação

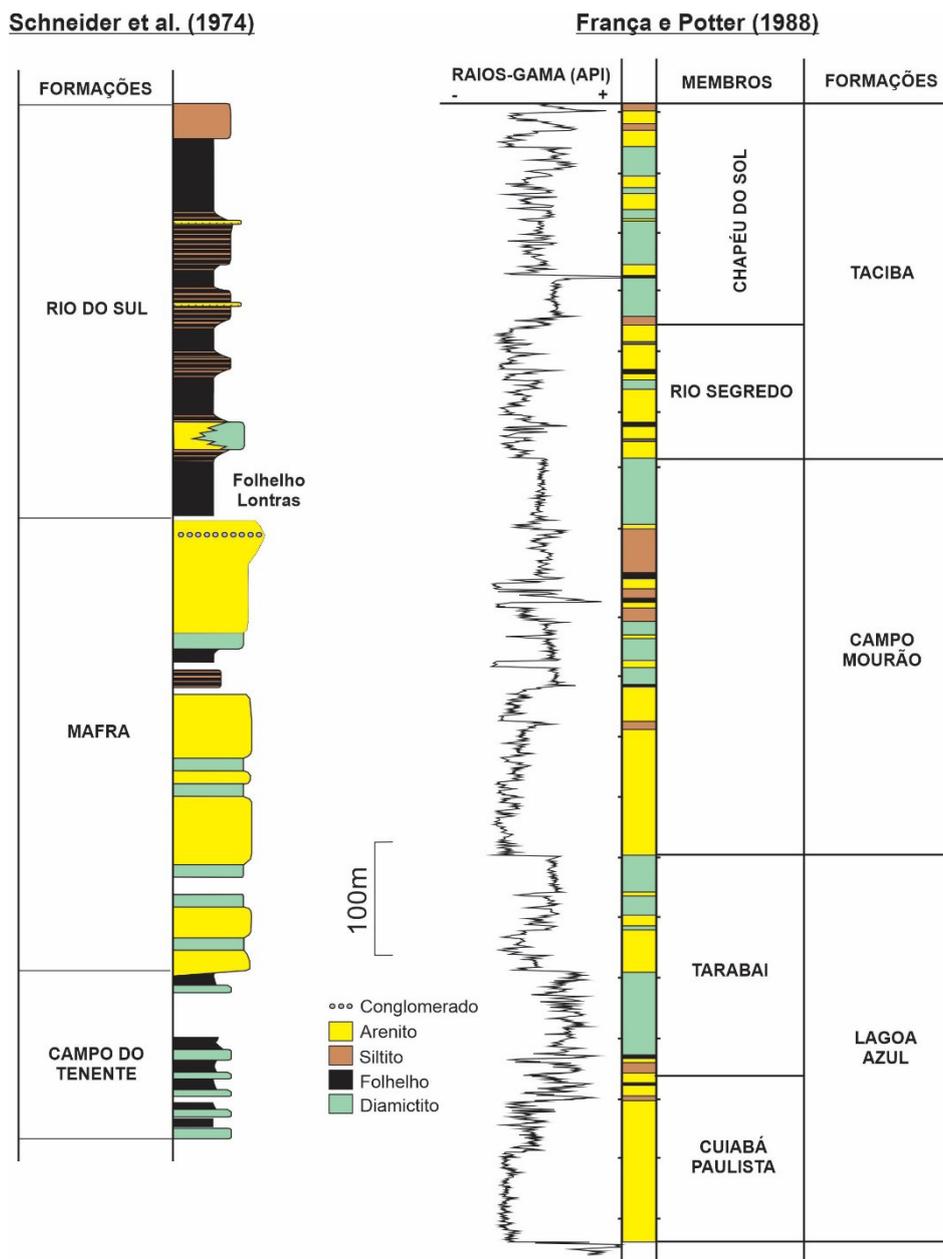


Figura 5 – Propostas anteriores de subdivisão litoestratigráfica para o Grupo Itararé. A coluna da esquerda mostra perfil composto com as 3 unidades definidas por Schneider et al. (1974) no estado de Santa Catarina e sul do Paraná. A coluna da direita é o perfil do poço Rio Ivaí (2-RI-1-PR), no noroeste do Paraná (dado fornecido pela ANP), em que são delimitados os quatro “ciclos” ou formações e seus respectivos membros conforme classificação de França e Potter (1988).

Taciba e incorporava os membros Rio Segredo (arenítico) e Chapéu do Sol (diamictítico). O ciclo médio, mais arenoso que os demais, foi denominado de Formação Campo Mourão. Os autores propuseram ainda redefinição de algumas das unidades de Schneider et al. (1974) mediante correlação entre poços e seções de afloramento na parte sul da bacia. Assim, consideraram o topo argiloso da Formação Campo Mourão correspondente ao folhelho Lontras e o elevaram à categoria de membro (Membro Lontras). A Formação Rio do Sul foi redefinida como Membro Rio do Sul e incluída na Formação Taciba, sendo interpretada como variação lateral de fácies do Membro Chapéu do Sol.

Nos últimos 30 anos pouco se avançou no detalhamento litoestratigráfico do Grupo Itararé. Ao invés disso, predominaram estudos objetivando fatiar o arcabouço estratigráfico em seqüências deposicionais e avaliar as relações dessas seqüências com os avanços e recuos da glaciação. No Paraná, alguns mapas geológicos foram gerados como subprodutos de trabalhos acadêmicos, como, por exemplo, Figueira (2004), que cartografou as formações Lagoa Azul, Campo Mourão e Taciba em ampla região na zona de charneira do arco de Ponta Grossa. Mesma abordagem foi adotada no projeto “Mapeamento Geológico da Folha de Ponta Grossa”, desenvolvido pela extinta Mineropar em parceria com a UFPR (Mineropar,

2007), que resultou numa carta geológica 1:100.000 com a subdivisão do Grupo Itararé nas mesmas três formações definidas originalmente em poços. Esses trabalhos reforçaram a ideia de que a estratigrafia observada em subsuperfície é correlacionável àquela da faixa de afloramentos, fato apontado em estudos anteriores como França et al. (1996) e Vesely e Assine (2004).

4. Resultados e discussão

4.1. Relações de contato

Na área mapeada o Grupo Itararé apresenta espessura entre 600 e 1100 metros, com nítido espessamento de sul para norte. O limite basal configura discordância angular desenvolvida sobre substrato heterogêneo composto por rochas ígneas/metamórficas do embasamento precambriano, bem como unidades sedimentares pré-carboníferas da Bacia do Paraná (Fig. 6). Aparentemente, a compartimentação litológica do substrato foi controlada por basculamentos e movimentações ao longo de falhas durante o intervalo Neodevoniano – Mississipiano (Assine, 1996; Trzaskos et al., 2006), em eventos que apresentam relação temporal com soerguimentos impostos pela orogenia Chânica ou Eo-Herciniana, ocorrida na margem oeste da placa sul-americana (López-Gamundi e Rosselo, 1993).

As fácies do Grupo Itararé depositadas diretamente sobre a superfície discordante compreendem diamictitos, conglomerados, arenitos ou folhelhos/ritmitos. Em alguns casos, ocorrem evidências de abrasão glacial nessa superfície, com a presença de estrias, sulcos e outras feições típicas de pavimentos glaciais (Fig. 2A).

O limite superior do Grupo Itararé estabelece-se, em termos litoestratigráficos, no contato das fácies marinhas do seu topo com as associações flúvio-deltaicas da base da Formação Rio Bonito. Na porção norte do Paraná, o contato Itararé/Rio Bonito representa discordância erosiva (discordância eopermiana) desenvolvida por erosão subaérea no topo do Grupo Itararé (e.g. Zacharias, 2004), em que fácies fluviais ou estuarinas da Formação Rio Bonito repousam sobre diamictitos, muitas vezes configurando vales incisos (Zacharias, 2004). Em alguns casos, carvão repousa diretamente sobre os diamictitos glácio-marinhos, como ocorre na região de Carvãozinho, a oeste de Ibaiti. A coloração avermelhada dos diamictitos logo abaixo dessa discordância constitui indício de exposição subaérea, uma vez que pode ser constatada tanto em afloramentos quanto em testemunhos (Vesely, 2006) e que pode estar associada à formação de paleossolos (Mottin et al., 2018).

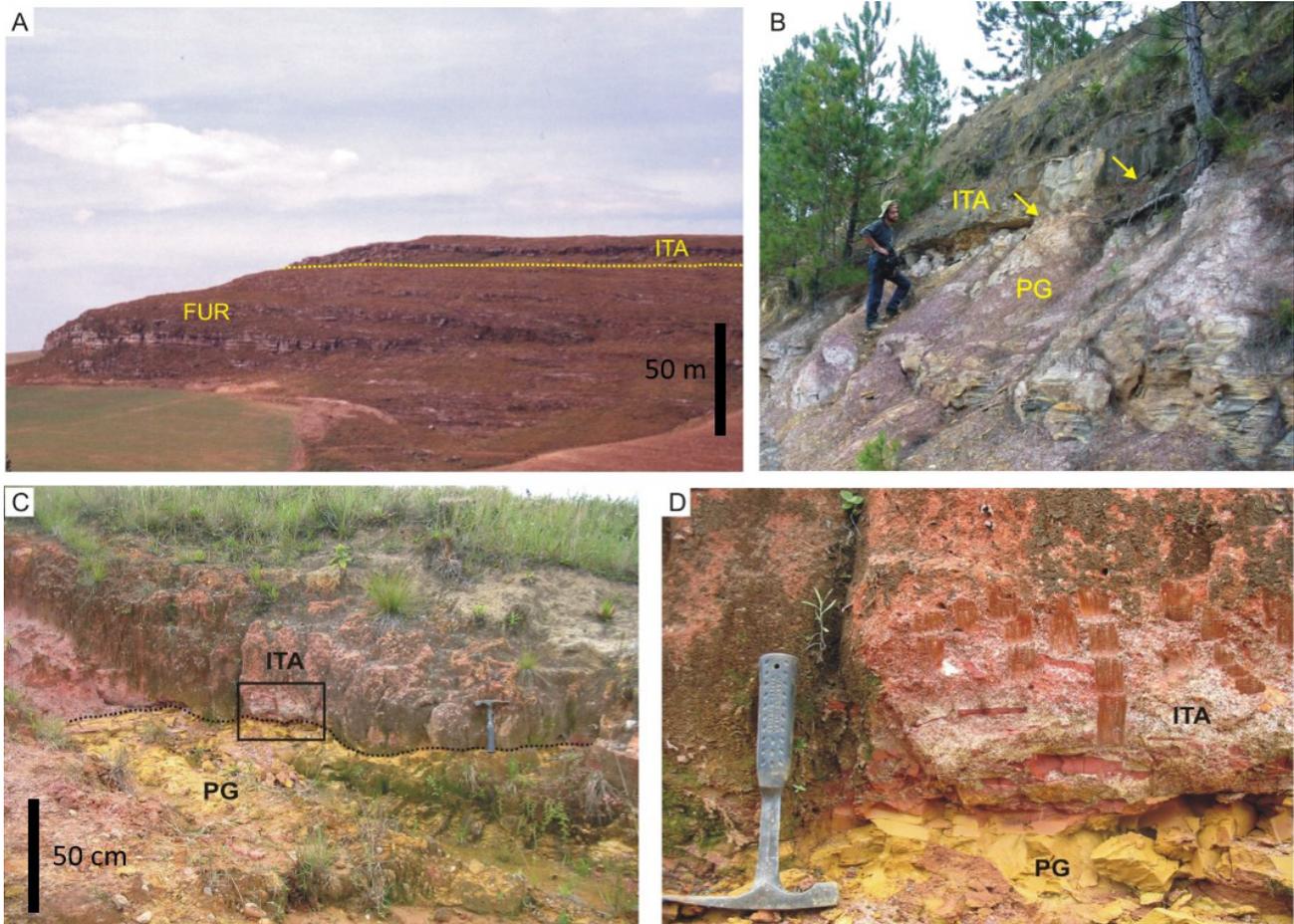


Figura 6 – Aspectos do contato basal do Grupo Itararé no Paraná (Vesely, 2006). A) Contato direto do Grupo Itararé (ITA) com a Formação Furnas (FUR) no limite norte do Parque Estadual de Vila Velha. B, C e D) Contato com a Formação Ponta Grossa (PG) em Jaguariaíva (B) e Palmeira (C e D). A foto D é detalhe da foto C.

Na região sul do estado, os diamictitos da parte superior do Grupo Itararé são superpostos de forma gradual por sucessão de heterolitos e arenitos com padrão progradacional de empilhamento. Nessa sucessão não há mais indícios de glaciação e a presença de ondulações simétricas e estratificação *hummocky* sugerem ambiente influenciado por ondas. Porém, mais acima, há desconformidade subaérea marcada pela ocorrência de fácies supostamente fluviais (arenitos grossos a muito grossos, imaturos, mal selecionados e com estratificação cruzada de porte métrico) assentadas em contato erosivo sobre os depósitos marinhos rasos. Nessa situação, o limite litoestratigráfico Itararé - Rio Bonito poderia ser indicado 1) na discordância subaérea, sendo assim coincidente com limite de sequência deposicional, ou 2) no contato concordante entre o último diamictito e o primeiro arenito, sendo assim um simples limite de fácies. Neste trabalho, escolhemos a opção 2 como a mais operacional nessa área, uma vez que os heterolitos arenosos abaixo da discordância possuem expressão marcante no relevo, facilitando o mapeamento desse contato. Sabemos ainda que mais para sul, já no estado de Santa Catarina, a associação de heterolitos e arenitos acima do último diamictito é bem mais espessa. Nessa área, a mudança de declividade é ainda mais evidente, razão pela qual nos mapas geológicos daquela região o contato Itararé-Rio Bonito é tido como concordante (e.g., Castro, 1991; Schemiko, 2018). Em síntese, o contato Itararé-Rio Bonito no Paraná é uma desconformidade que passa para uma conformidade correlata no sentido norte-sul.

4.2. Unidades mapeadas

Adotamos versão adaptada da nomenclatura de França e Potter (1988). As três formações definidas pelos autores e alguns membros foram mapeados ao longo da faixa de exposição do Grupo Itararé (Fig. 7). Foi também mapeada a Formação Campo do Tenente, definida por Schneider et al. (1974), que, devido à sua composição bastante característica, decidimos incorporá-la ao arcabouço aqui proposto. Desse modo, o Grupo Itararé no Paraná é dividido em quatro formações, ordenadas da base para o topo como: Formação Lagoa Azul, Formação Campo do Tenente, Formação Campo Mourão e Formação Taciba. A Formação Taciba, unidade de topo, pôde ainda ser subdividida nos seus três membros conforme França e Potter (1988): Rio Segredo, Chapéu do Sol e Rio do Sul. Por último, unidades areníticas informais e de expressão mais local foram também mapeadas e posicionadas estratigraficamente. A figura 8 mostra a representação das unidades em perfis estratigráficos verticais levantados por Vesely (2006), ao passo que a figura 9 é uma proposta de carta cronoestratigráfica para o Grupo Itararé no Paraná.

4.2.2. Formação Lagoa Azul

A Formação Lagoa Azul tal como definida por França e Potter (1988) apresenta dois conjuntos com granodescrescência ascendente bem definidos (Figs. 5 e 8). Esses conjuntos são limitados por discordância (Suss et al., 2014) e seus respectivos intervalos argilosos apresentam associações palinofossilíferas distintas (Kipper et al., 2017),

sugerindo tratar-se de duas sequências deposicionais. Levantamentos de campo no sul do Paraná demonstram que a sequência superior possui boa correlação com a Formação Campo do Tenente, conforme será detalhado no item seguinte. Portanto, propomos aqui restringir a denominação Lagoa Azul à sequência inferior e indicamos como seção de referência em afloramento a região entre Balsa Nova e Porto Amazonas descrita por Rosa et al. (2019).

A Formação Lagoa Azul tem espessura máxima da ordem de 100 metros em afloramento. Tem extensão lateral descontínua, estando ausente na zona de charneira do arco de Ponta Grossa. A formação possui parte basal areno-cascalhosa e parte superior lamítica e diamictítica. A base contém fortes indicações da ação do gelo na sedimentação (Trosdorf et al., 2005; Vesely et al., 2015; Rosa et al., 2019; Garcia et al., 2021; neste volume), incluindo superfícies sulcadas intraformacionais de origem subglacial, diamictitos arenosos e areno-lamosos com clastos polimíticos angulosos e deformações glaciotectônicas (Fig. 10A). Nessa seção basal ocorrem também arenitos esbranquiçados com estratificação cruzada de médio a grande porte (30 a 120 cm de espessura; Fig. 10B). Esses últimos são facilmente confundíveis com a Formação Furnas, porém ocorrem sempre acima de delgado intervalo conglomerático-diamictítico. Diferentemente da unidade devoniana, esses arenitos da Formação Lagoa Azul apresentam ainda decomposição ruiforme, o que permite distingui-los na paisagem. A parte superior da Formação Lagoa Azul contém ritmitos e folhelhos de cor castanha ou esverdeada (Fig. 10C), ricos em clastos caídos de gelo flutuante, assim como diamictitos areno-lamosos resultantes de escorregamentos subaquáticos. Essa última associação é também reconhecida em testemunhos de poços (França e Potter, 1988) e correlaciona-se com o Membro Tarabai.

A idade da Formação Lagoa Azul é estimada mediante datação relativa com base em palinomorfos, uma vez que até o momento não há registro de níveis vulcânicos datáveis. Fácies heterolíticas de coloração cinzenta aflorantes na área de Balsa Nova contêm palinomorfos compatíveis com biozonas do Mississippiano (Rosa et al., 2019), permitindo posicionar o início da deposição dessa unidade no Viseano (~ 340 Ma). Esses dados permitem caracterizar a parte inferior da Formação Lagoa Azul em Balsa Nova como o registro neopaleozoico mais antigo já descrito na Bacia do Paraná e confirmam glaciação mississippiana na bacia, que até então era desconhecida. O intervalo lamítico superior foi amostrado em Porto Amazonas por Kipper et al. (2017) e apresenta associação palinoflorística correlata à zona *Ahrensia* *cristatus* de Souza (2006). Podemos, portanto, atribuir idade não mais jovem do que o Eopensilvaniano (~ 318 Ma) para o topo da Formação Lagoa Azul.

Não há fósseis diagnósticos para atestar o paleoambiente de deposição da base da Formação Lagoa Azul. Porém, suas fácies registram sistemas desde subglaciais até glácio-marginais. Já nos lamitos do intervalo superior há relatos de palinomorfos indicativos de água salobra (França et al., 1996), sugerindo ambientes costeiros ou marinhos marginais possivelmente associados à transgressão que teria sucedido o recuo do gelo.

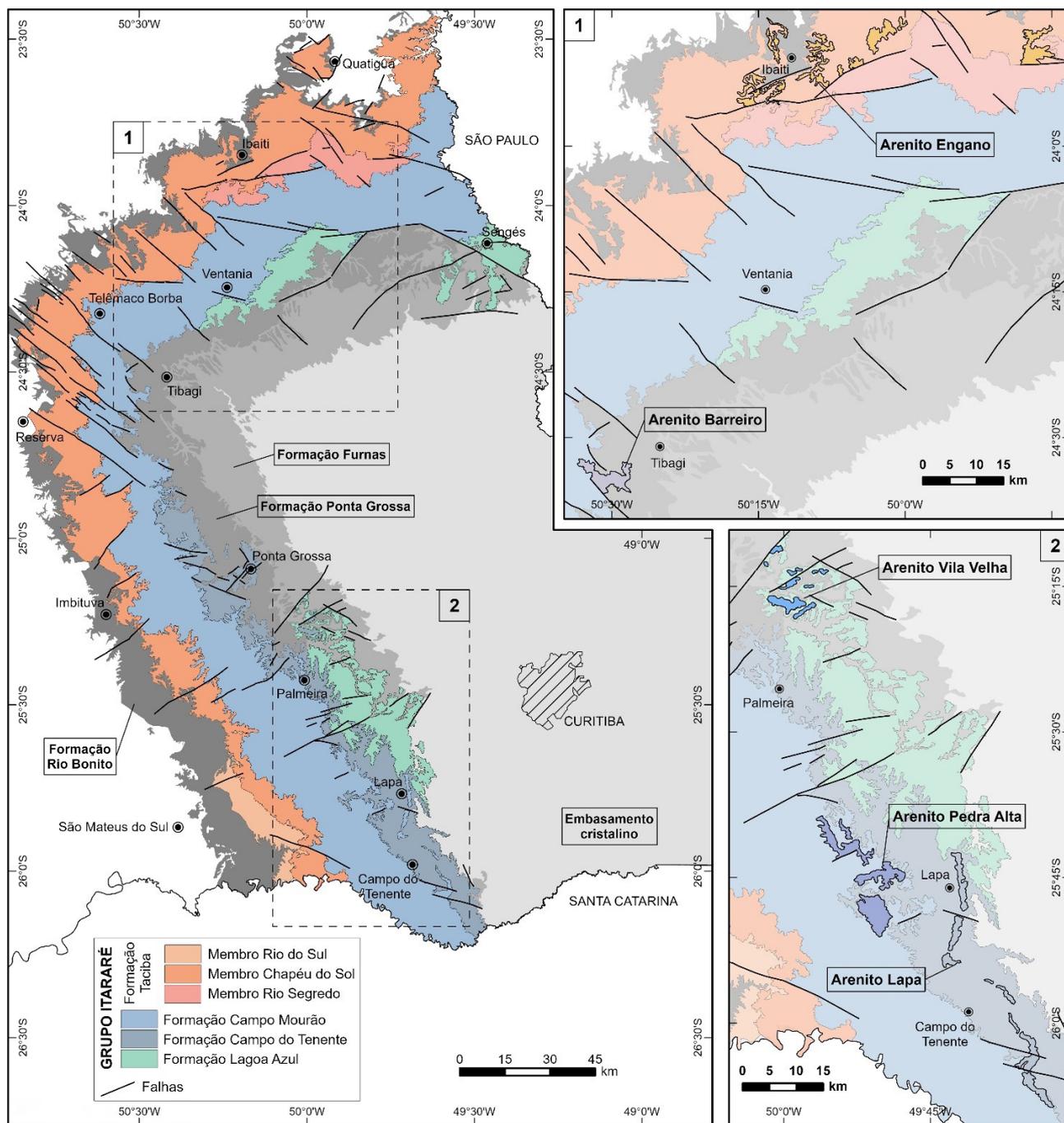


Figura 7 – Subdivisão litoestratigráfica do Grupo Itararé no estado do Paraná (adaptado de Bresser et al., 2021). Os detalhes 1 e 2 ilustram a distribuição das unidades areníticas informais.

O sentido de movimento do gelo tem sido interpretado a partir de diferentes indicadores, incluindo estrias e sulcos esculpidos no substrato e em sedimentos basais da própria Formação Lagoa Azul e deformações impostas pela ação cisalhante das geleiras sobre o sedimento ainda em estado inconsolidado. Tanto o pavimento glacial de Witmarsum quanto a superfície glacial intraformacional de São Luiz do Purunã indicam paleofluxo do gelo para norte durante a primeira glaciação mississipiana registrada na Formação Lagoa Azul (Bigarella et al., 1967; Trosdorf et al., 2005; Vesely et al., 2015; Rosa et al., 2019).

Já em estratos situados alguns metros acima, dobras e superfícies de cisalhamento de natureza glacioteclônica indicam avanços glaciais para oeste, com variação entre os quadrantes SW e NW (Rosa et al., 2019). Direções variando entre sudoeste e noroeste também são obtidas para sentidos de paleocorrentes em arenitos da Formação Lagoa Azul (e.g., Rosa et al., 2019) (Fig. 11).

4.2.2. Formação Campo do Tenente

Consideramos a Formação Campo do Tenente tal como definida por Schneider et al. (1974). A formação

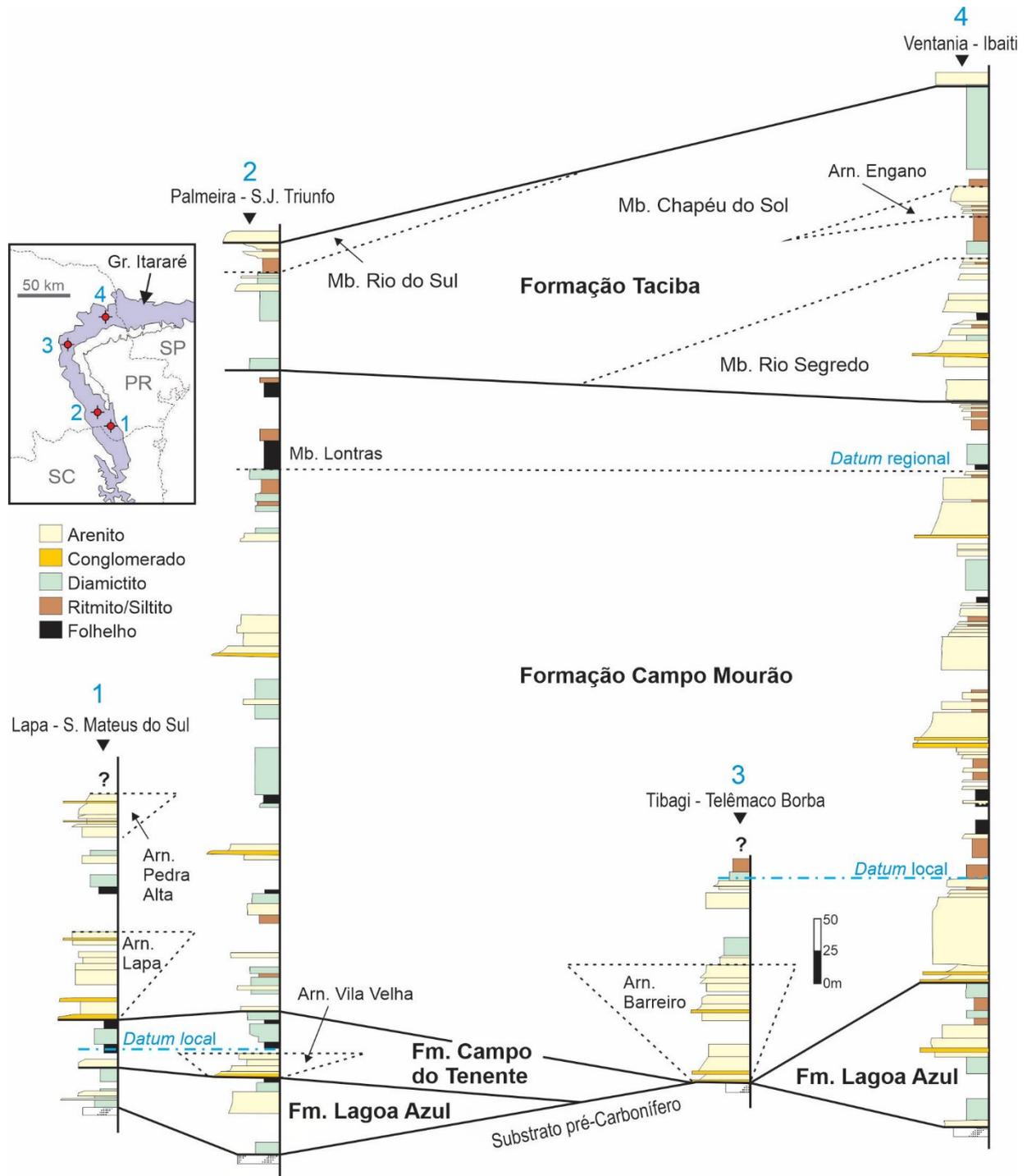


Figura 8 – Perfis estratigráficos verticais do Grupo Itararé concebidos a partir de levantamentos de superfície no estado do Paraná (modificado de Vesely, 2006).

estende-se pela faixa de afloramentos desde o norte de Santa Catarina até a região de Alto do Amparo, no vale do rio Tibagi. Na área onde foi mapeada por Schneider et al. (1974), a Formação Campo do Tenente possui 200 m de espessura, repousa sobre o embasamento cristalino e apresenta *onlap* para sul. Para norte, sofre ligeiro espessamento até a região de Ponta Grossa, onde engloba o arenito Vila Velha, e depois torna a adelgaçar até desaparecer por completo.

A base da unidade repousa sobre discordância, que se faz perceber de forma clara onde o arenito Vila Velha assenta em contato erosivo sobre os ritmitos da Formação Lagoa Azul na região do Parque Estadual de Vila Velha. O arenito Vila Velha é amarelo avermelhado, médio a muito grosso, mal a moderadamente selecionado. Apresenta laminação plano-paralela (Fig. 12A), estratificação cruzada de baixo ângulo e ondulações de corrente como estruturas mais características. Sofre adelgaçamento para

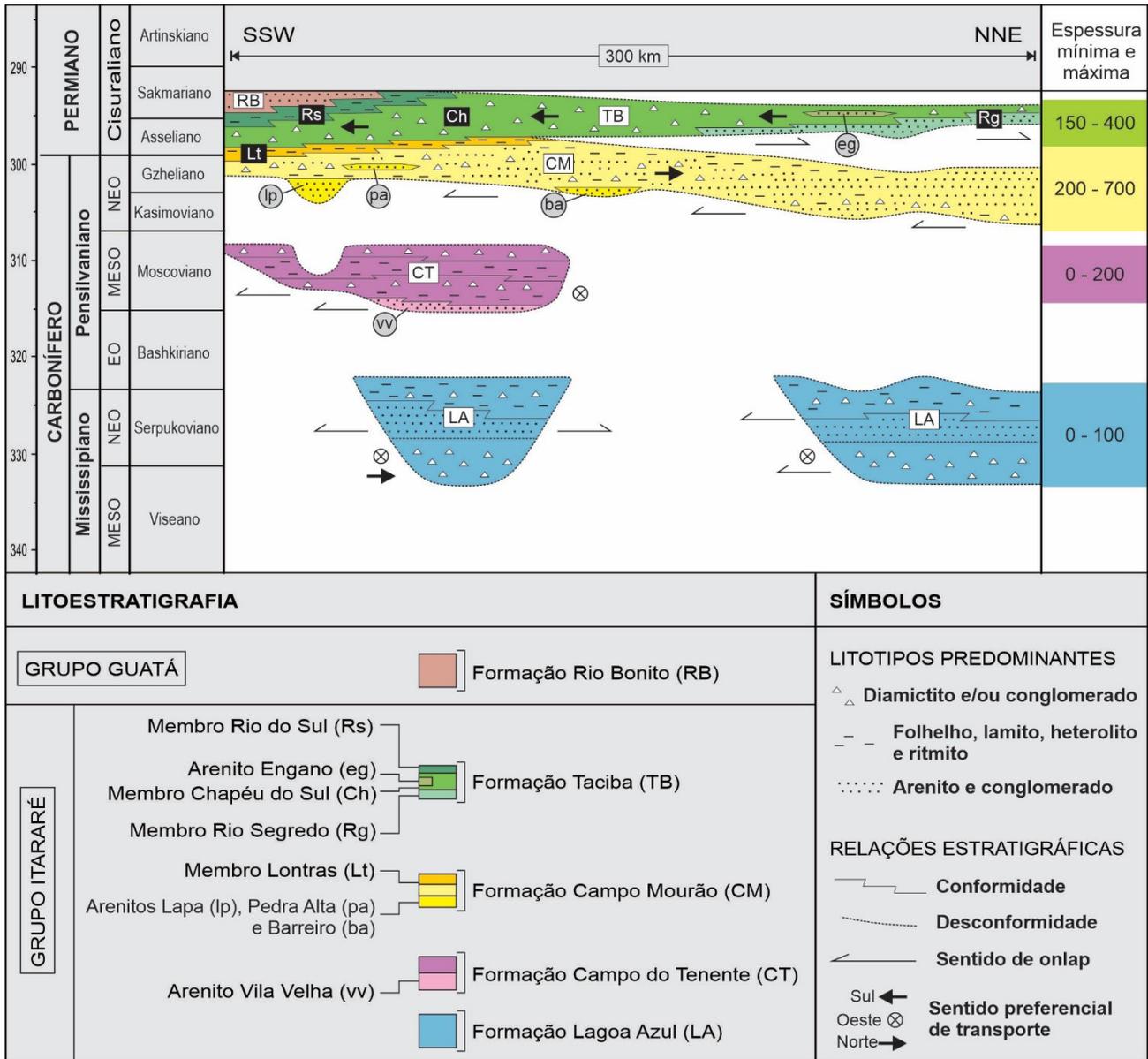


Figura 9 – Diagrama lito-cronoestratigráfico ilustrando o arcabouço do Grupo Itararé na faixa de afloramentos do estado do Paraná.

sul, mas pode ser rastreado como ocorrências isoladas até pelo menos a região de Porto Amazonas. Sobre o arenito Vila Velha sucede uma intercalação de ritmo, folhelho e diamictito (Fig. 12B, C e D) com frequentes indícios de glaciação na forma de detritos caídos de gelo flutuante, muitas vezes apresentando seixos a matações facetados e estriados (Fig. 12D). Essa sucessão aflora nas várias pedreiras existentes nas vizinhanças de Lapa e Campo do Tenente. São fácies de cor castanho avermelhado, mas que se mostram cinzentas quando não alteradas. Os diamictitos possuem corpos alóctones de arenito deslocados por escorregamentos subaquáticos.

Palinomorfos recuperados na Formação Campo do Tenente no município homônimo e na região de Lapa e analisados por Kipper et al. (2017) permitem correlação com a zona *Ahrensisporites cristatus* de Souza (2006), assim como o topo da Formação Lagoa Azul. Contudo,

Kipper et al. (2017) observaram que nas amostras de Lapa e Campo do Tenente, diferentemente daquelas oriundas do topo da Formação Lagoa Azul em Porto Amazonas, há redução de espécies retrabalhadas do Devoniano e maior abundância de grãos de pólen monossacados. Embora isso não seja conclusivo para posicionar a Formação Campo do Tenente num intervalo bioestratigráfico distinto, essa informação aliada ao controle de campo obtido através do mapeamento sistemático permite concluir que a Formação Campo do Tenente se situa estratigraficamente acima da Formação Lagoa Azul, sendo, portanto, mais jovem, embora ainda de idade pensilvaniana, provavelmente moscoviana (315 a 307 Ma).

Quanto ao paleoambiente, a presença comum de estratificação plano-paralela e cruzada, assim como ondulações assimétricas no arenito Vila Velha, permite inferir ambiente de alta energia dominado por correntes tracio-

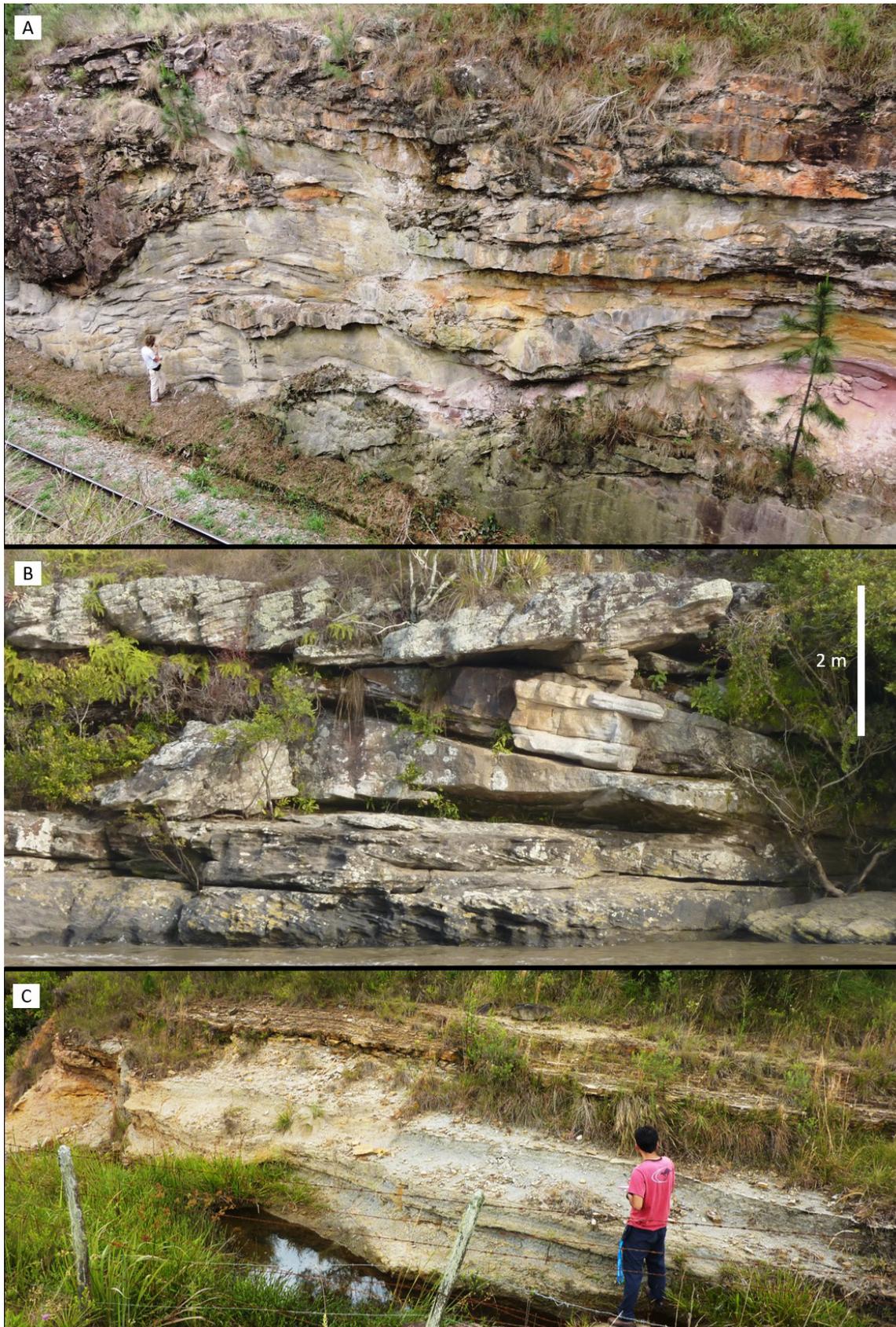


Figura 10 – Exemplos de fácies típicas da Formação Lagoa Azul. A) Diamictitos arenosos deformados por glaciotectonismo em corte de ferrovia na região de Balsa Nova. B) Arenitos com estratificação cruzada no leito do Rio Iguaçu nos arredores de Porto Amazonas. Essas fácies areníticas eram originalmente mapeadas como parte da Formação Furnas, mas com base no mapeamento realizado foi possível identificar diamictitos e conglomerados sotopostos. C) Ritmitos e folhelhos cinza-esverdeados da parte superior da formação na rodovia que liga Porto Amazonas à BR-277.

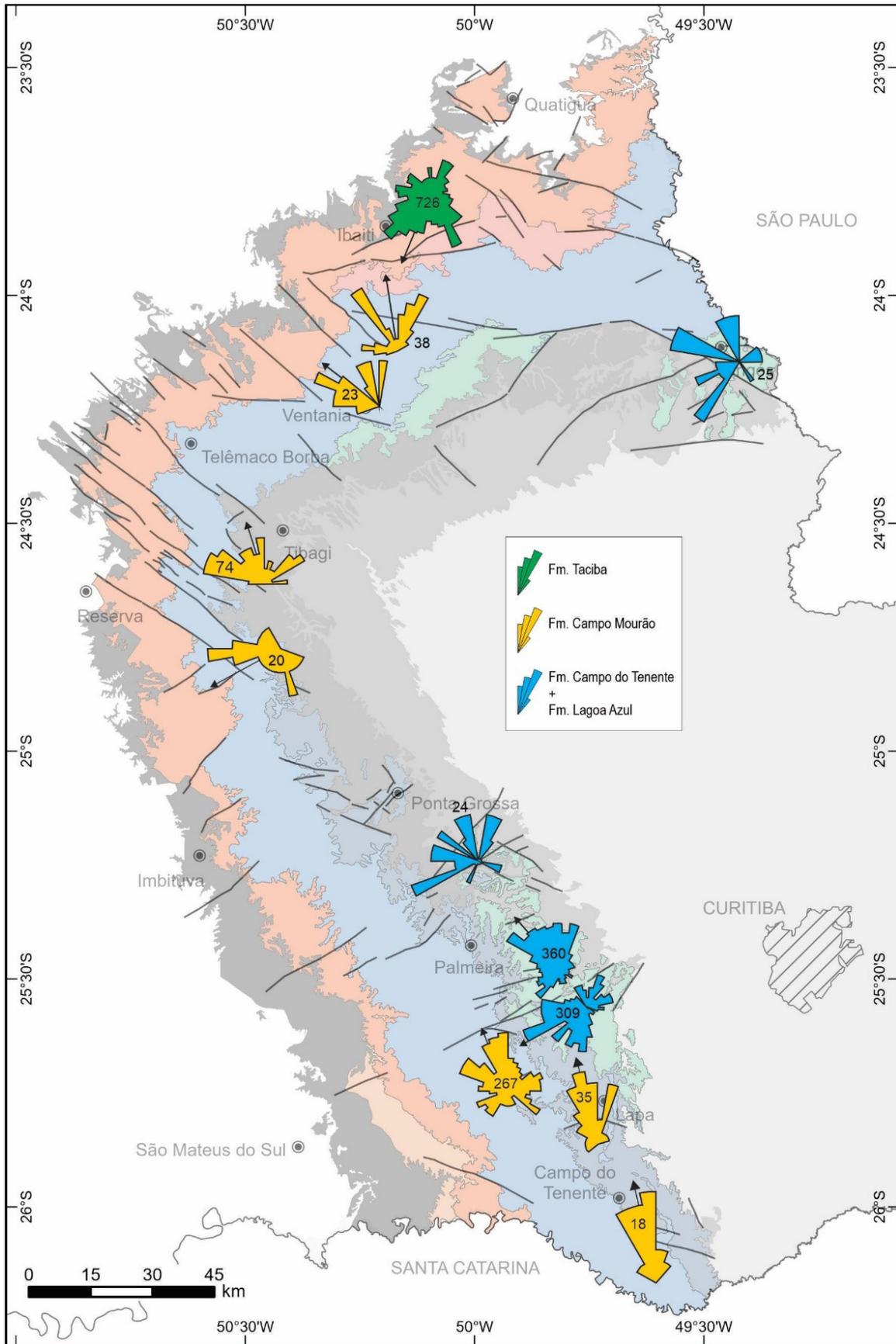


Figura 11 – Padrões de paleocorrentes nas diferentes formações do Grupo Itararé. Dados azimutais obtidos de estratificações cruzadas e ondulações de corrente por diferentes autores, incluindo Vesely (2001; 2006), Carvalho (2016), Juk (2016), Mottin (2017) e Rosa (2018). Números junto aos diagramas indicam quantidade de medidas. Ver figura 7 para legenda de cores das unidades estratigráficas.

nais, provavelmente flúvio-deltaico e/ou costeiro. Essa interpretação difere daquela postulada em trabalho anterior (França et al., 1996), em que os autores indicam ação de fluxos densos subaquáticos. Por outro lado, é similar à interpretação formulada por Maack (1946), que considerou o arenito Vila Velha como depósito essencialmente fluvial. O intervalo de diamictitos, folhelhos e ritmitos situado estratigraficamente acima registra ambientes aquáticos mais profundos e dominados por decantação de finos, correntes de turbidez diluídas e movimentos de massa, em que o grau de influência glacial teria oscilado ao longo do tempo de forma cíclica (Vesely et al., 2018). Esse corpo d'água era provavelmente um embaiamento costeiro, uma vez que palinomorfos indicadores de água salobra tem sido identificados (França et al., 1996; Kipper et al., 2017). A Formação Campo do Tenente é uma importante fonte de agregados no sul do Paraná, havendo dezenas de licenças de lavra ativas para extração de diamictito e folhelho e sua utilização como cascalho de pavimentação ou como matéria prima para indústria cerâmica no caso do folhelho.

4.2.3. Formação Campo Mourão

A Formação Campo Mourão consiste em intervalo heterogêneo, predominantemente arenoso e parcialmente

equivalente à Formação Mafra de Schneider et al. (1974). Essa unidade ocorre em todo o Paraná e possui espessura variando de 200 a 500 metros, com espessamento para norte. A base assenta-se sobre discordância bem evidente, inclusive com incisão de vales preenchidos por espessos pacotes areníticos (França et al., 1996; d'Ávila, 1999; Vesely et al., 2021). Onde as unidades subjacentes do Grupo Itararé não ocorrem, a Formação Campo Mourão assenta-se sobre o substrato devoniano. Como perfis de referência dessa formação na faixa de afloramentos, indicamos as seções expostas entre Palmeira e São João de Triunfo (PR 151) e entre Ventania e Ibaiti (BR 153) (Fig. 8). A unidade também é bem exposta na região entre Tibagi e Telêmaco Borba, na PR 340, e entre Lapa e Faxinal dos Castilhos, ao longo da BR 476.

Arenito é o litotipo dominante nessa formação em grande parte do estado (Fig. 13), mas também há diamictito, folhelho, ritmito e conglomerado, formando pelo menos três ciclos bem definidos de afinamento-engrossamento ascendente (Vesely e Assine, 2004). Os corpos areníticos formam escarpas pronunciadas (Fig. 13A), mas com pouca continuidade lateral, e tendem a se adelgaçar em meio aos litotipos mais lamosos. Há ainda uma tendência geral de redução da proporção de areia para sul. Dentre os arenitos, há pelo menos três unidades

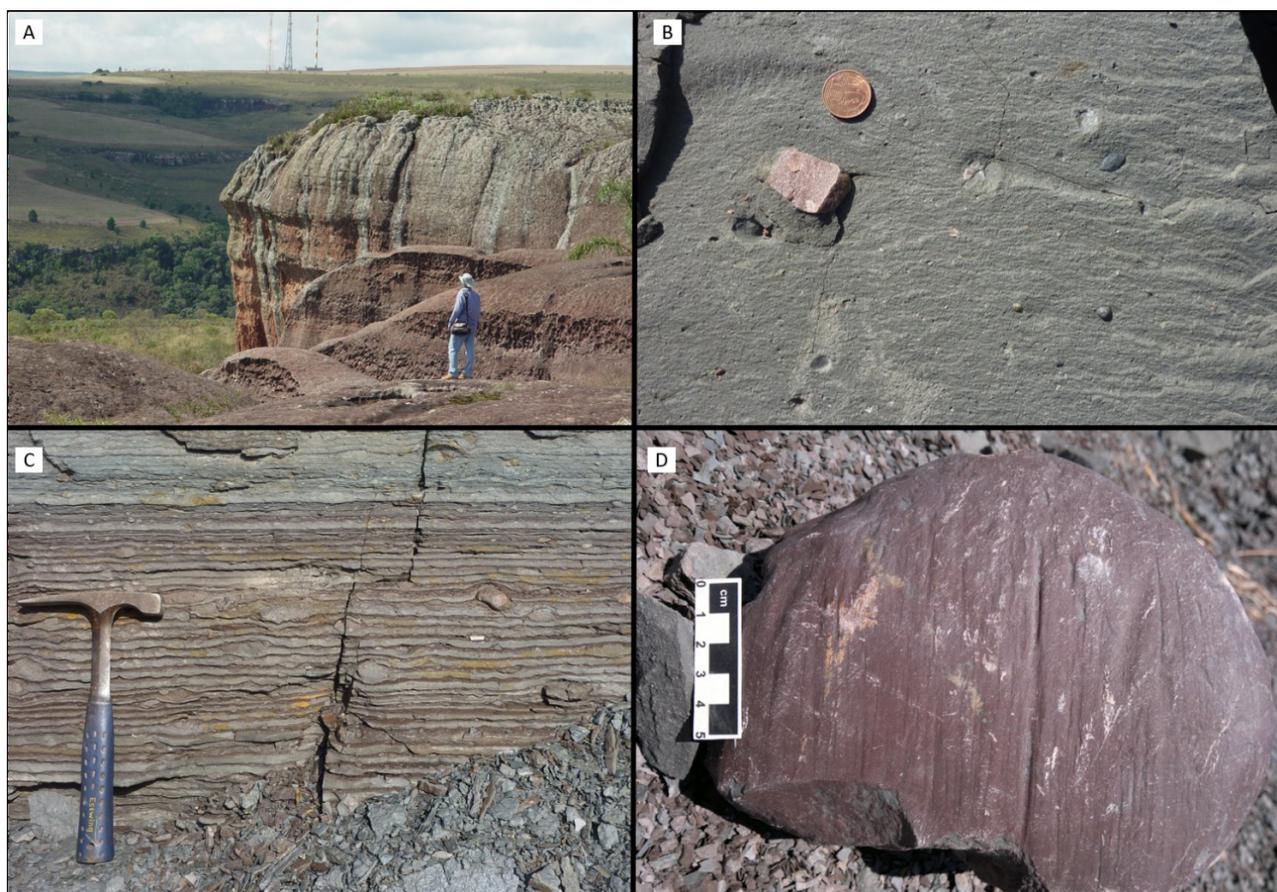


Figura 12 – Exemplos de fácies típicas da Formação Campo do Tenente. A) Exposições naturais do arenito Vila Velha a sul do parque estadual homônimo (município de Ponta Grossa). Notar laminação plano-paralela parcialmente ocultada pelo intenso intemperismo sofrido por essas rochas. B) Diamictito maciço de matriz areno-lamosa. C) Ritmito com abundantes clastos caídos de gelo flutuante (as fotos B e C são da pedreira municipal de Campo do Tenente). D) Calhau estriado recuperado de ritmito na região de Campo do Tenente.

informais mapeáveis, os arenitos Lapa, Barreiro e Pedra Alta. Compreender a geometria e heterogeneidades internas desses arenitos é de suma importância econômica, pois a Formação Campo Mourão abriga as principais ocorrências de gás natural da Bacia do Paraná em subsuperfície (França et al., 1996).

O arenito Lapa repousa diretamente em discordância sobre a Formação Campo do Tenente. Forma um corpo linear com cerca de 90 m de espessura, 1500 m de largura e 59 km de comprimento (Fig. 7). É de longa data interpretado como o preenchimento de um paleovale (França et al., 1996; d'Ávila, 1999), embora diferentes modelos de escavação tenham sido propostos, tais como vale inciso fluvial (França et al., 1996) e fiorde (d'Ávila, 1999). Mas recentemente, Vesely et al. (2021) consideraram o paleovale como exemplo de estrutura do tipo *tunnel-valley*, uma escavação que se forma embaixo da geleira devido à ação erosiva de fluxos pressurizados de água de degelo sobre substrato pouco permeável e pobremente consolidado. O preenchimento do vale compreende conglomerados (Fig. 13B) e arenitos flúvio-glaciais e fluviais acumulados principalmente durante o recuo do gelo (Vesely et al., 2021).

O arenito Barreiro, inicialmente referenciado como unidade devoniana por Maack (1947), aflora a sudoeste da cidade de Tibagi (Fig. 7). Nessa área, as formações Lagoa Azul e Campo do Tenente estão ausentes ou são muito delgadas para permitir mapeamento na escala adotada. Portanto, a Formação Campo Mourão faz contato direto com os pelitos da Formação Ponta Grossa (Perdoncini, 1997; Vesely, 2006). O arenito Barreiro possui parte inferior cascalhosa e padrão de afinamento granulométrico para o topo. Tem base erosiva evidenciada por contato irregular e incorporação de clastos argilosos do substrato. Suas fácies são variáveis, ocorrendo arenitos maciços (predominantes), assim como com estratificação cruzada e *climbing ripples/megaripples*. Segundo Perdoncini (1997), o arenito Barreiro configurava sistema deltaico proglacial, incluindo ambientes de planície de *outwash* subaérea, dominada por fluxos tracionais, e porção distal subaquática dominada por fluxos densos. O horizonte estratigráfico do arenito Barreiro é, grosso modo, o mesmo do arenito Lapa, mas sua geometria externa forma platôs ao invés de um corpo linear. Os dados disponíveis nos sugerem que a gênese de ambos os sistemas pode ser similar, embora o arenito Barreiro indique condições mais desconfinadas de sedimentação.

O arenito Pedra Alta (d'Ávila 1999; Carvalho, 2016; Carvalho e Vesely, 2017) aflora (Fig. 13A) 15 km a oeste de Lapa e ocorre estratigraficamente acima do arenito Lapa. O contato basal é transicional sobre diamictito, lamito e ritmito. A fácies mais típica é arenito grosso a muito grosso (por vezes cascalhoso) com estratificação cruzada acanalada de médio a grande porte (30 a 150 cm de espessura). Também ocorrem, preferencialmente na base, arenito fino a médio com *climbing ripples* e estratificação sigmoide e fácies arenosas com deformação penecontemporânea. Segundo Carvalho e Vesely (2017), o arenito Pedra Alta registra a progradação de sistema flúvio-deltaico, em que os clásticos grossos com estratificação cruzada seriam de origem fluvial e as fácies mais

finas e por vezes deformadas representantes de depósitos de desembocadura e frente deltaica. A rápida progradação do sistema arenoso teria provocado instabilidade gravitacional e disparado escorregamentos de massa observados na base da sucessão. Esses escorregamentos contêm blocos decamétricos de arenito colapsados da frente deltaica (Carvalho e Vesely, 2017). Estruturas deformacionais formadas em mesmo contexto são observadas ao longo de toda a faixa de afloramentos da Formação Campo Mourão, como, por exemplo, ao longo da BR-153 na região de Ventania (Fig. 13C).

O topo da formação Campo Mourão apresenta proeminente unidade argilosa (Membro Lontras) portadora de folhelhos pretos fossilíferos. Embora ela não seja mapeável na escala deste trabalho, é facilmente rastreada em Santa Catarina e foi reconhecida em diferentes localidades no sul do estado do Paraná. O Membro Lontras registra o ápice da transgressão marinha da Formação Campo Mourão e constitui excelente *datum* para correlações regionais (Figs. 5 e 8). Clastos caídos de pequenas dimensões ocorrem na sua base, indicando que gelo fluante ainda vagava pelo corpo d'água no início da sua deposição. Porém, esses clastos desaparecem poucos metros para cima, sugerindo que a transgressão Lontras seja a inundação resultante do decaimento das massas de gelo (e.g., Aquino et al., 2016).

Em síntese, os ambientes deposicionais da Formação Campo Mourão variam desde fluviais até marinhos relativamente profundos, passando por associações deltaicas e costeiras e ocorrência importante de depósitos de fluxos gravitacionais subaquáticos. Embora haja ocorrências de clastos dispersos em folhelho e alguns diamictitos ao longo de toda a sucessão, a influência glacial é modesta e tende a diminuir da base para o topo. Podemos dizer que a Formação Campo Mourão é a que apresenta menor influência glacial dentro do Grupo Itararé e que a grande maioria dos diamictitos é oriunda de escorregamentos e fluxos de detritos. Mesmo assim, a ciclicidade observada na unidade parece estar relacionada aos avanços e recuos de uma margem glacial mais distante do sítio de deposição e que, eventualmente, fornecia detritos a partir de *icebergs* e correntes de água de degelo (e.g., Carvalho e Vesely, 2017). As geleiras avançaram expressivamente na bacia apenas no tempo correspondente à porção basal da Formação Campo Mourão, dando origem à discordância basal e formando vales encaixados no substrato (França et al., 1996; Vesely et al., 2021). Paleocorrentes obtidas em fácies fluviais (e flúvio-glaciais) e deltaicas da Formação Campo Mourão apresentam sentido consistente para noroeste (Fig. 11), exceção feita à região próxima da charneira do arco de Ponta Grossa, onde há variações para oeste e sudoeste.

Não há datações radiométricas na Formação Campo Mourão, mas sua idade pode ser estimada pelo conteúdo fossilífero e relações estratigráficas. A unidade iniciou sua deposição no Pensilvaniano, provavelmente após o Moscoviano, pois repousa em discordância sobre estratos moscovianos da Formação Campo do Tenente. Contudo, como a amplitude temporal da discordância é desconhecida, essa deve ser vista como idade máxima para a base da formação. O conteúdo fossilífero do Membro Lontras

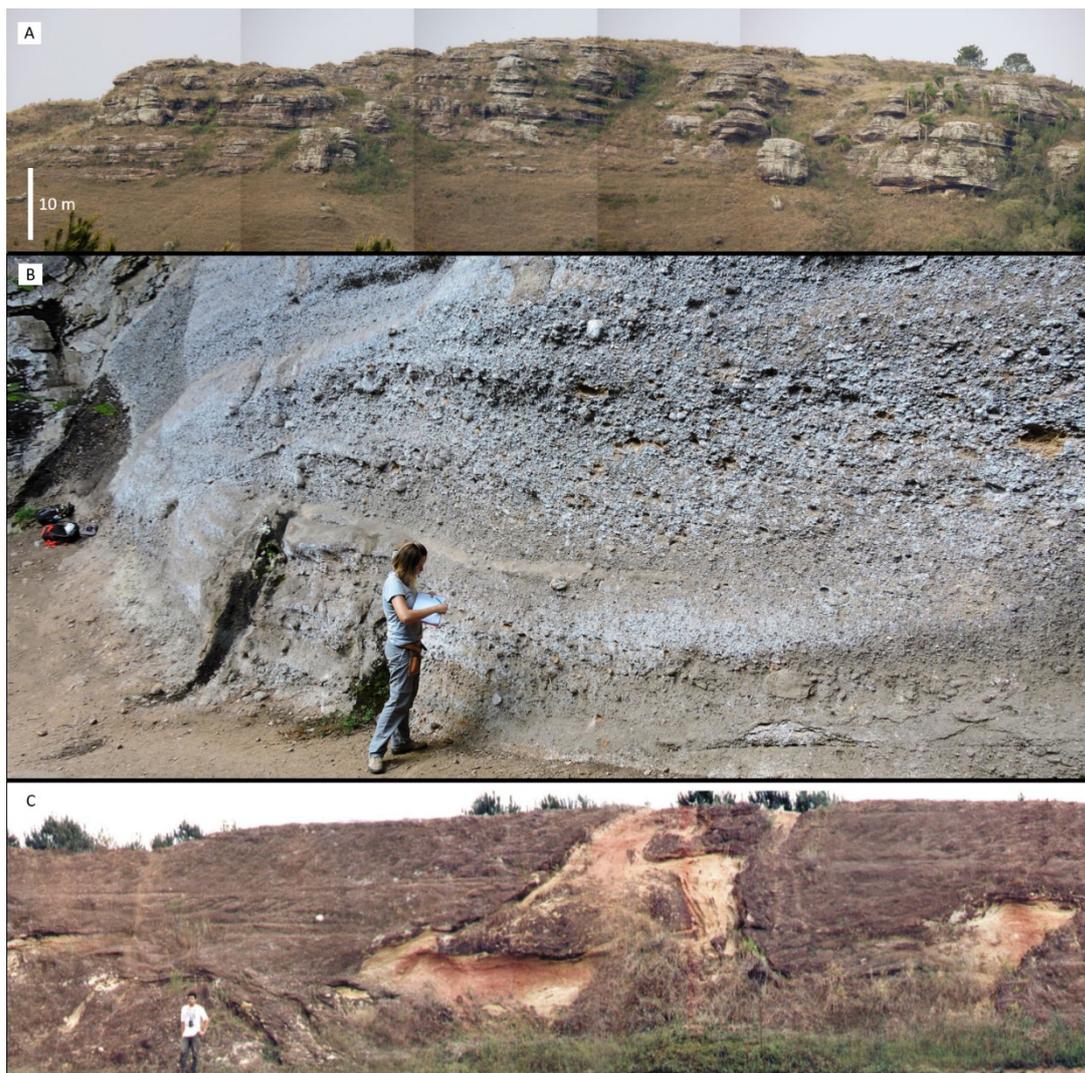


Figura 13 – Exemplos de fácies típicas da Formação Campo Mourão. A) Exposição de arenitos fluviais (arenito Pedra Alta) na BR-476 a oeste de Lapa. B) Conglomerados com estratos cruzados na base do arenito Lapa (gruta Santa Emília, região de Piên). C) Diápiros e deformações associadas desenvolvidas no contato entre arenito cascalhoso e ritmito na parte média da Formação Campo Mourão (BR-153, entre Ventania e Ibaiti).

(conodontes e palinórfos) tem correlação com biozonas do Cisuraliano (Mouro et al., 2017), sugerindo que o topo da Formação Campo Mourão adentraria o Permiano basal. Portanto, com base nos dados hoje disponíveis, assumimos que a deposição da unidade está contida no intervalo de 307 a 295 Ma. Considerando o padrão de preenchimento de sul para norte e *onlap* para sul (Fig. 9), os depósitos mais antigos devem situar-se a norte.

4.2.4. Formação Taciba

A Formação Taciba distribui-se por todo o Paraná, alcançando espessura média de cerca de 250 m. Possui membro basal arenítico (Rio Segredo) e membros superiores diamictítico (Chapéu do Sol) e lamítico-arenoso (Rio do Sul). O Membro Rio Segredo é mapeável apenas no norte do Paraná. O Membro Chapéu do Sol ocorre em todo o estado, ao passo que o Membro Rio do Sul foi mapeado apenas no extremo sul. Na região entre São João do Triunfo e Rio Negro observamos que as fácies

aqui atribuídas ao Membro Rio do Sul superpõem as do Membro Chapéu do Sol em contato concordante, havendo adelgaçamento do primeiro para norte, até seu desaparecimento. É possível constatar ainda, que há alternância vertical entre fácies “tipo Chapéu do Sol”, representada por diamictito, e fácies “tipo Rio do Sul”, manifestada por folhelho, heterolito e arenito, sugerindo contato transicional. Concluímos que essa relação estratigráfica reflete interdigitação e contemporaneidade entre os dois membros, corroborando o que foi interpretado por França e Potter (1988) a partir da correlação de poços. É evidente, entretanto, que o Membro Rio do Sul tende a transgredir sobre o Membro Chapéu do Sol.

O Membro Rio Segredo distribui-se de forma descontínua ao longo da faixa de afloramentos. Inclui arenitos médios a muito grossos e conglomerados polimíticos, além de algumas intercalações de diamictito e ritmito. Na escala utilizada neste trabalho, a unidade é mapeável apenas no norte do estado, pois sofre significativo adelgaçamento

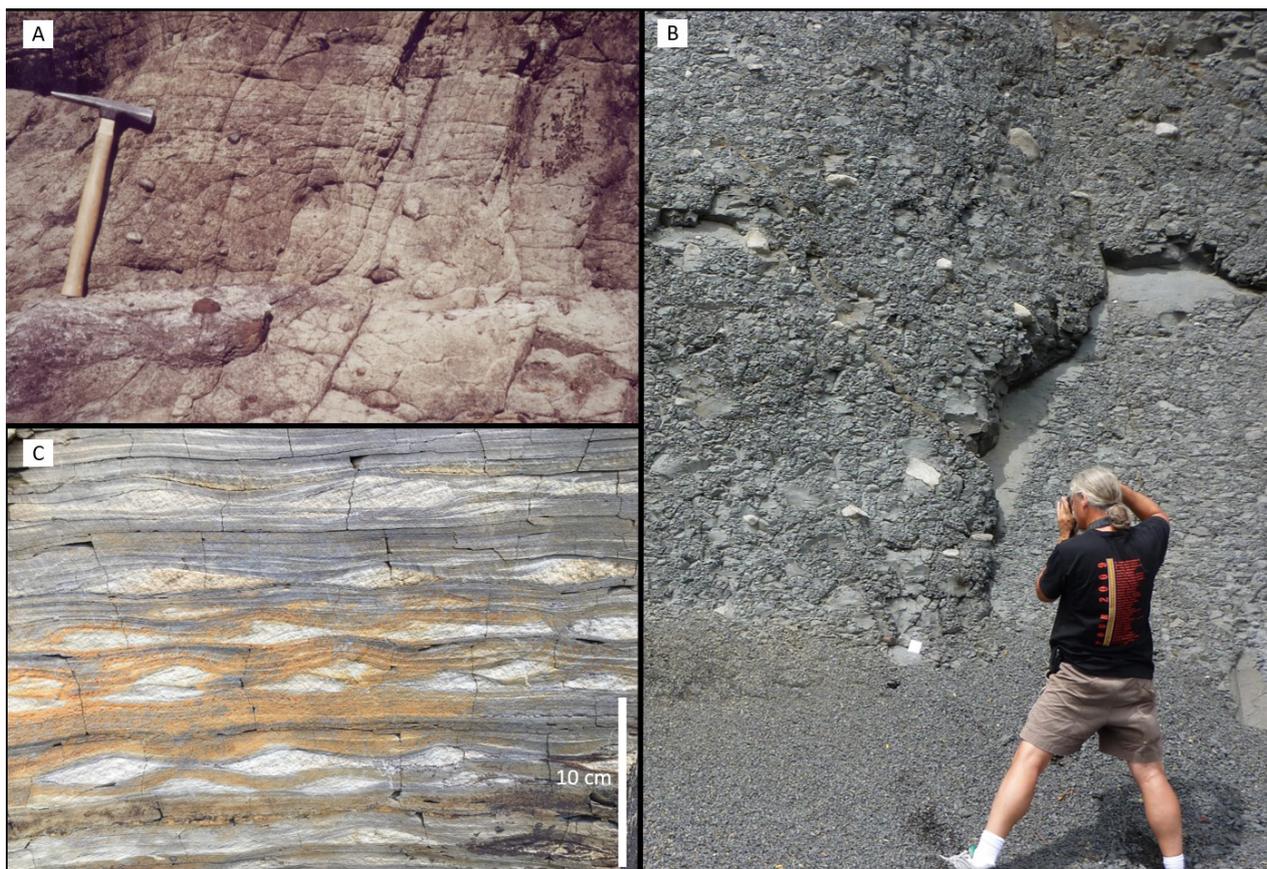


Figura 14 – Exemplos de fácies típicas da Formação Taciba. A) Arenito maciço com seixos dispersos, pertencente ao Membro Rio Segredo (região de Tomasina). B) Diamictito maciço de matriz lamosa, representante característico do Membro Chapéu do Sol (afloramento na BR-476, na localidade de Faxinal dos Castilhos). C) Fácies heterolítica com acamamento lenticular e ondulações de corrente (pedreira ao lado da rodovia entre Tomasina e Pinhalão), uma das componentes da unidade informal denominada de arenito Engano. Essa mesma fácies também é comum no Membro Rio do Sul.

e redução da proporção de arenito e conglomerado para sul. Contudo, fácies de arenitos finos e ritmitos presentes acima do Membro Lontras na região sul do estado podem ser correlacionadas ao Membro Rio Segredo, uma vez que estão na mesma posição estratigráfica. A base do membro assenta-se sobre desconformidade erosiva que passa para uma conformidade correlata no sentido sul. Esse comportamento indica que o depocentro da bacia se situava a sul nesse período, fato corroborado por paleocorrentes para SW medidas no Membro Rio Segredo por Mottin et al. (2018), assim como pelo adelgaçamento e afinamento granular generalizado observado nessa mesma direção. Não se pode descartar ainda que as sucessões areno-cascalhosas mais espessas estejam confinadas em paleovales (e.g., França e Potter, 1988), assim como ocorre com os arenitos da base da Formação Campo Mourão.

Os arenitos e conglomerados do Membro Rio Segredo podem ser maciços (Fig. 14A), apresentar estratificação cruzada planar ou acanalada, ou ainda exibir estruturas de fluidificação. Essas fácies arenosas sustentam relevos significativos no norte do Paraná como, por exemplo, nas regiões de Tomasina e Wenceslau Brás, onde escarpas com dezenas de metros de altura se destacam na paisagem (Vesely, 2001). De acordo com o estudo de Mottin

et al. (2018), realizado na região de Ibaiti, o Membro Rio Segredo compõe um sistema subaquático proglacial do tipo *outwash fan*, ou seja, formado à frente de margem de geleira aterrada no corpo d'água. A associação entre fluxos gravitacionais e correntes hidrodinâmicas com constantes flutuações de descarga é típica desses sistemas. Mas para sul, distante da margem glacial, as fácies do Membro Rio Segredo consistem em turbiditos de alta e baixa densidade (Vesely et al., 2021; neste volume).

Diamictitos do Membro Chapéu do Sol recobrem os arenitos Rio Segredo em contato concordante. Quando da ausência do último, os diamictitos assentam-se em discordância sobre o Membro Lontras, sendo exemplo dessa relação de contato a região do arroio Guaraúna, a oeste de Ponta Grossa (Mineropar, 2007). Esse volumoso pacote diamictítico ocorre de forma contínua em todo estado do Paraná, mas tende a diminuir de espessura para sul, onde se interdigita com o Membro Rio do Sul. O Membro Chapéu do Sol é uma sucessão espessa (até 100 m) composta quase que exclusivamente por diamictito cinza (Fig. 14B), esverdeado ou amarelado, de matriz lamítica ou lamítico-arenosa, maciço ou com estruturas de deformação penecontemporânea (Mottin & Vesely, 2021; neste volume). Não raro, estão presentes

clastos facetados e estriados de rochas cristalinas variadas, além de matações métricos, sobretudo de granito. Blocos intrabaciais deformados e rompidos de arenito e ritmito também são comuns, indicando processos de ressedimentação mediante deslizamentos e escorregamentos que, segundo levantamentos cinemáticos de dobras e falhas (Mottin et al., 2018), indicam transporte para sul compatível com as paleocorrentes do Membro Rio Segredo (Fig. 11). Portanto, o conjunto de evidências indica paleoambiente glácio-marinho para a deposição do Membro Chapéu do Sol.

No norte do Paraná o Membro Chapéu do Sol inclui intervalo intradiamicítico com granocrescência ascendente, composto por ritmitos, heterolitos (Fig. 14C) e arenitos com pouca ou nenhuma influência glacial (Mottin et al., 2018; Mottin & Vesely, 2021; neste volume). Pode ser rastreado, de forma descontínua, desde a região a sudoeste de Ibaiti, passando por Tomasina, até pelo menos Wenceslau Brás (Fig. 7). Nessa última localidade o intervalo hospeda elementos da flora *Glossopteris* e as ocorrências de carvão do jazimento Ribeirão Novo (Teixeira e Dutra, 1934). No mapa geológico de Maack (1953), esse intervalo foi incluído no Grupo Guatá por apresentar associação de fácies costeira (deltaica) idêntica àquela observada na Formação Rio Bonito. Porém, considerando que esse delta ocorre no interior dos diamicíticos Membro Chapéu do Sol e que a base da Formação Rio Bonito está estratigraficamente mais acima e separada por discordância, propomos que ele seja mapeado como unidade informal pertencente ao Membro Chapéu do Sul. O nome “arenito Engano” se refere ao vale do rio homônimo (ribeirão do Engano), a oeste de Ibaiti, que contém boas exposições desta unidade, assim como dos diamicíticos acima e abaixo. Vale mencionar que fácies costeiras portadoras de carvão ocorrem em diferentes níveis estratigráficos do Grupo Itararé no estado de São Paulo. Tais ocorrências devem refletir condições interglaciais similares à registrada no arenito Engano. Na ausência de bom controle estratigráfico e cartográfico, esses deltas interglaciais portadores de carvão podem ser facilmente confundidos com sistemas pós-glaciais similares presentes na Formação Rio Bonito. Conforme descrito por Mottin et al. (2018) na área de Ibaiti, o arenito Engano compõe associação de deltas influenciados por maré, cujas fácies fluviais com estratificação cruzada de porte métrico possuem paleocorrentes para SW (Fig. 11).

O Membro Rio do Sul aflora apenas no sul do Paraná, onde atinge espessura máxima de 50 metros e superpõe, de forma transicional, os diamicíticos do Membro Chapéu do Sol. Consiste em associação de heterolitos com acamamento ondulado ou lenticular (semelhantes ao exemplo da figura 15C), lamitos e siltitos cinzentos, além de camadas delgadas de arenitos. O padrão vertical é de granocrescência ascendente e progressivo espessamento das camadas de arenito até a transição para a Formação Rio Bonito, onde fácies areníticas são predominantes. Os heterolitos mais arenosos possuem ondulações simétricas de crista retilínea, indicando deposição sob lâmina d'água rasa, e clastos caídos são muito raros.

No estado do Paraná, a Formação Taciba possui idade eopermiana (Cisuraliana), pois situa-se estratigraficamente acima do Membro Lontras da Formação Campo Mourão. Isso é corroborado pela associação palinofossilífera detectada em diamicíticos do Membro Chapéu do Sol por Souza et al. (1999) e Mottin et al. (2018), que indicam correlação com a subzona *Protohaploxypinus goraiensis* da zona *Vittatina costabilis*. Da mesma forma, braquiópodos examinados por Taboada et al. (2016) no topo do Grupo Itararé na região de Teixeira Soares indicam correlação com a fauna marinha *Eurydesma*, bem datada em outras bacias gondwânicas da América do Sul e Austrália e posicionada entre o Asseliano a Sakmariano (~ 295 Ma).

5. Considerações finais

Neste trabalho apresentamos proposta de subdivisão do Grupo Itararé em quatro formações, três membros e cinco unidades informais, todas mapeáveis na faixa de afloramentos do estado do Paraná (CPRM, 2021). A proposta é válida para todo o Paraná e tem potencial de ser estendida e/ou correlacionada nos estados vizinhos, assim como na zona correspondente em subsuperfície com base na classificação de França e Potter (1988). Dentre as principais contribuições deste estudo, destacamos as seguintes:

- O intervalo Mississippiano foi pela primeira vez reconhecido e mapeado no sudeste do Paraná. Com isso, podemos concluir que o registro estratigráfico do Grupo Itararé no Paraná se estende do Viséano ao Sakmariano, totalizando 43 Ma.
- A Formação Lagoa Azul aflora nos flancos sul e norte do arco de Ponta Grossa e está ausente na zona de charneira dessa estrutura, sugerindo influência de altos estruturais de direção noroeste na sedimentação carbonífera.
- A Formação Campo do Tenente é mais jovem e litologicamente distinta da Formação Lagoa Azul, justificando sua distinção como unidade individualizada. Estendemos a área de ocorrência dessa formação por algumas dezenas de quilômetros mais a norte em relação a sua definição original.
- A interdigitação entre os membros Chapéu do Sol e Rio do Sul é passível de detecção na faixa de afloramentos do sul do Paraná, corroborando o modelo estratigráfico proposto em subsuperfície.
- As relações estratigráficas observadas em campo e os dados bioestratigráficos, geocronológicos e sedimentológicos disponíveis permitiram identificar pelo menos quatro unidades aloestratigráficas separadas por desconformidades ou suas conformidades equivalentes. Essas unidades apresentam particularidades em relação aos padrões de dispersão de sedimentos e intensidade da influência glacial.
- Unidades litoestratigráficas informais de reconhecido valor geoturístico e econômico foram mapeadas em escala regional e posicionadas estratigraficamente.

Por fim, esperamos que o arcabouço estratigráfico proposto possa servir de suporte para futuras investigações

de cunho cronoestratigráfico e paleontológico sobre o Permocarbonífero da Bacia do Paraná, facilitando a comunicação geológica e as correlações a longa distância. Esperamos ainda que o detalhamento cartográfico aqui apresentado possa proporcionar melhor conhecimento do substrato geológico do segundo planalto paranaense para fins de planejamento da ocupação do território e uso sustentável dos recursos naturais ali presentes.

Agradecimentos

Somos gratos à Universidade Federal do Paraná (UFPR) e ao Serviço Geológico do Brasil (SGB-CPRM) pelo suporte institucional e financeiro necessários à realização deste trabalho. Fernando Vesely agradece ainda ao CNPq e à Petrobras pelo contínuo apoio ao Laboratório de Análise de Bacias (LABAP) do Departamento de Geologia da UFPR.

Referências

- ABOARRAGE, M. e LOPES, R.C., 1986. Projeto Borda Leste da Bacia do Paraná: integração geológica e avaliação econômica. CPRM/DNPM, Relatório Interno. São Paulo: CPRM/DNPM, 1986. 223p. + anexos.
- AQUINO, C.D., VALDEZ B.V., FACCINI, U.F., MILANA, J.P., PAIM, P.S.G. 2016. Facies and depositional architecture according to a jet efflux model of a late Paleozoic tidewater grounding line system from the Itararé Group (Paraná Basin), southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 67: 180-200.
- ASSINE, M. L. 1996. Aspectos da estratigrafia das seqüências pré-carboníferas da Bacia do Paraná no Brasil. São Paulo. 207 p. (Tese de Doutorado, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo).
- BIGARELLA, J.J., SALAMUNI, R. & FUCK, R.A. 1967. Striated surfaces and related features developed by Gondwana ice sheets (State of Paraná, Brazil). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 3: 265-276.
- CAGLIARI, J., PHILIPP, R.P., VALDEZ, V.B., NETTO, R.G., HILLEBRAND, P.K., LOPES, R.C., BASEI, M.A.S., FACCINI, U.F., 2016. Age constraints of the glaciation in the Paraná Basin: evidence from new U-Pb dates. *Journal of the Geological Society* 173(6), 871-874.
- CARVALHO, A.H. 2016. Análise estratigráfica do sistema flúvio-deltaico Pedra Alta, Carbonífero Superior da Bacia do Paraná. Dissertação de Mestrado, UFPR, Curitiba, 115 pp.
- CARVALHO, A.H., VESELY, F.F. 2017. Facies relationship recorded in a Late Paleozoic fluviodeltaic system (Parana Basin, Brazil): insights into the timing and triggers of subaqueous sediment gravity flows. *Sedimentary Geology*, 352: 45-62.
- CASTRO, J.C. 1991. A evolução dos sistemas glacial, marinho e deltaico das formações Rio do Sul e Rio Bonito/Mb. Triunfo (Eopermiano), sudeste da Bacia do Paraná. Rio Claro. 147 p. (Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista).
- CPRM - Serviço Geológico do Brasil. 2021. Mapa Geológico e de Recursos Minerais do Estado do Paraná. Programa Geologia, Mineração e Transformação Mineral, Curitiba: CPRM, 2021, 1 mapa colorido, 235 x 90 cm. Escala 1:600.000.
- D'ÁVILA, R.S.F. 1999. Análise de Fácies e Estratigrafia Física do Arenito Lapa, Grupo Itararé, Bacia do Paraná, Brasil. Porto Alegre. 349 p. (Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul).
- DERBY, O.A. 1878. A geologia da região diamantífera da Província do Paraná. *Arquivos do Museu Nacional*, 3:89-96.
- FIGUEIRA, I.F.R. 2004. Caracterização estrutural - estratigráfica para seleção de alvos de reservatórios análogos no sistema petrolífero Ponta Grossa - Itararé na Bacia do Paraná. Dissertação de Mestrado, UFPR, Curitiba, 183 pp.
- FRANÇA, A.B. & POTTER, P.E. 1988. Estratigrafia, ambiente deposicional e análise de reservatório do Grupo Itararé (Permocarbonífero), Bacia do Paraná (parte 1). *Boletim de Geociências da Petrobrás*, 2: 147-191.
- FRANÇA, A.B., WINTER, W.R., ASSINE, M.L. 1996. 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*, 26(1): 43-56.
- FUCK, R.A. 1966. Nota explicativa da folha geológica de Quero-Quero. *Boletim da Universidade Federal do Paraná (Geologia)*, 19: 1-21.
- GARCIA, A.M., TRZASKOS, B., VESELY, F.F., ROSA, E.L.M., ISBELL, J.L. 2021. Rochas glaciais sob o microscópio: microtexturas e microestruturas em fácies do Grupo Itararé. *Boletim Paranaense de Geociências* (neste volume).
- GORDON, M.J. 1947. Classificação das formações gondwânicas do Paraná, Sante Catarina e Rio Grande do Sul. *Notas Preliminares e Estudos da Divisão de Geologia e Mineralogia do DNPM*, 38: 1-20.
- JUK, K.V. 2016. Reservatórios turbidíticos em contexto deltaico: estudo comparativo integrando dados de subsuperfície e afloramento. Dissertação de Mestrado, UFPR, Curitiba, 96 pp.
- KIPPER, F., SOUZA, P.A., VESELY, F.F., 2017, Palinomorfos e associações de fácies da Formação Lagoa Azul (Grupo Itararé, Pensilvaniano da Bacia do Paraná) no sudeste do estado do Paraná, Brasil. *Pesquisas em Geociências* v. 44, p. 93-108.

- LÓPEZ-GAMUNDÍ, O. & ROSSELLO, E.A. 1993. Devonian-Carboniferous unconformity in Argentina and its relation to Eo-Hercynian orogeny in southern South America. *Geologische Rundschau*, 82:136-147.
- MAACK, R. 1953. Mapa Geológico do Estado do Paraná (1:750.000). Curitiba, Comissão de Comemorações do Centenário do Paraná.
- MAACK, R.A. 1946. Geologia e geografia da região de Vila Velha (Paraná) e considerações sobre a glaciação carbonífera no Brasil. *Arquivos do Museu Paranaense* 5, 1-305.
- MAACK, R.A. 1947. Breves Notícias Sobre a Geologia dos Estados do Paraná e Santa Catarina. *Arquivos de Biologia e Tecnologia* 2, 63-154.
- MINEROPAR, 2007. Mapeamento geológico da folha de Ponta Grossa (1:100.000). Governo do Estado do Paraná, Relatório Final, 169 pp.
- MOTTIN, T.E. 2017. Evolução estratigráfica e paleogeográfica da sequência de deglaciação eopermiana do Grupo Itararé, nordeste da Bacia do Paraná. Dissertação de Mestrado, UFPR, Curitiba, 127 pp.
- MOTTIN, T.E., VESELY, F.F. 2021. Formação Taciba: última manifestação glacial no Paraná. *Boletim Paranaense de Geociências* (neste volume).
- MOTTIN, T.E., VESELY, F.F., RODRIGUES, M.C.N., SOUZA, P.A. 2018. The paths and timing of late Paleozoic ice revisited: New stratigraphic and paleo-ice flow interpretations from a glacial succession in the upper Itararé Group (Paraná Basin, Brazil). *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology* 490:488.
- MOURO, L.D., RAKOCIŃSKI, M., MARYNOWSKI, L., PISARZOWSKA, A., MUSABELLIU, S., ZATOŃ, M., CARVALHO, M.A., FERNANDES, A.C.S., WAICHEL, B.L., 2017. Benthic anoxia, intermittent photic zone euxinia and elevated productivity during deposition of the Lower Permian, post-glacial fossiliferous black shales of the Paraná Basin, Brazil. *Glob. Planet. Change* 158, 155-172.
- OLIVEIRA, E.P. 1916. Geologia do Estado do Paraná. *Boletim do Ministério da Agricultura, Indústria e Comércio*, 5:67-143.
- OLIVEIRA, E.P. 1927. Geologia e recursos minerais do Estado do Paraná. Monografia do Serviço Geológico e Mineiro do Brasil, 6:1-169.
- PERDONCINI, L.C. 1997. Diamantes do Rio Tibagi, Paraná: Fonte no Grupo Itararé. Curitiba. (Dissertação de Mestrado), Departamento de Geologia, Universidade Federal Do Paraná, 144 pp.
- ROSA, E.L.M. 2018. Evolução deposicional e glácio-tectônica de um complexo gerado em contato com o gelo pensilvaniano no sudeste da Bacia do Paraná. Dissertação de Mestrado, UFPR, Curitiba, 89 pp.
- ROSA, E.L.M., VESELY, F.F., ISBELL, J.L., KIPPER, F., FEDORCHUK, N.D. 2019. Constraining the timing, kinematics and cyclicity of Mississippian-early Pennsylvanian glaciations in the Paraná Basin, Brazil. *Sedimentary Geology* 384, 29-49.
- SCHEMIKO, D.C.B., 2018. Relação estratigráfica entre deltas, depósitos de transporte em massa e sistemas turbidíticos da Bacia do Paraná, Paleozoico Superior, sul do Brasil. Tese de Doutorado, UFPR, Curitiba, 206 pp.
- SCHNEIDER, R.L., MUHLMANN, H., TOMMASI, E., MEDEIROS, R.A., DAEMON, R.A. & NOGUEIRA, A.A. 1974. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. In: SBG, 28 Congresso Brasileiro de Geologia, Porto Alegre, 1: 41-65.
- SOUZA, P.A. 2006. Late Carboniferous palynostratigraphy of the Itararé Subgroup, northeastern Paraná Basin, Brazil. *Rev. Palaeobot. Palynol.*, 138: 9-29.
- SUSS, J.F., VESELY F.F., SANTA CATHARINA, A., ASSINE, M.L., PAIM, P.S.G., 2014. O Grupo Itararé (Neocarbonífero-Eopermiano) entre Porto Amazonas (PR) e Mafra (SC): sedimentação gravitacional em contexto deltaico com influência glacial. *Geociências* 33, 701-719.
- TABOADA, A.C., NEVES, J.P., WEINSCHÜTZ, L.C., PAGANI, M.A., SIMÕES, M.G., 2016. Eurydesma-Lyonia fauna (Early Permian) from the Itararé group, Paraná Basin (Brazil): A paleobiogeographic W-E trans-Gondwanan marine connection. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 449, 431-454.
- TEIXEIRA, G.P & DUTRA, E.B. 1934. Carvão mineral no norte do Paraná. *DNPM/SFPM, Boletim* 4:1-52.
- TROSDTORF Jr, I.; ASSINE, M.L.; VESELY, F.F.; ROCHA-CAMPOS, A.C.; SANTOS, P.R.; TOMIO, A. 2005. Glacially striated, soft sediment surfaces on late Paleozoic tillite at São Luiz do Purunã, PR. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 77: 367-378.
- TRZASKOS, B.; VESELY, F.F.; ROSTIROLLA, S.P. 2006. Eventos tectônicos recorrentes impressos no arcabouço estratigráfico do Grupo Itararé na região de Vila Velha, Estado do Paraná. *Boletim Paranaense de Geociências* 58, 89-104.
- VESELY, F. F., TRZASKOS, B., KIPPER, F., ASSINE, M. L., SOUZA, P. 2015. Sedimentary record of a fluctuating ice margin from the Pennsylvanian of western Gondwana: Paraná Basin, southern Brazil. *Sedimentary Geology*. 326: 45-63.
- VESELY, F.F. & ASSINE, M.L. 2004. Seqüências e pratos de sistemas deposicionais do Grupo Itararé, norte do Estado do Paraná. *Revista Brasileira de Geociências* 34: 219-230.
- VESELY, F.F. 2001. Análise de Seqüências em Sucessões Glaciais: Estudo de Caso no Grupo Itararé (C-P), Nordeste do Estado do Paraná. Rio Claro. 119 p. (Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista).

- VESELY, F.F. 2006. Dinâmica sedimentar e arquitetura estratigráfica do Grupo Itararé (Carbonífero-Permiano) no centro-leste da Bacia do Paraná. Universidade Federal do Paraná (PhD Thesis), Curitiba, 238pp.Schemiko, 2018
- VESELY, F.F., ASSINE, M.L., FRANÇA, A.B., PAIM, P.S.G., ROSTIROLLA, S.P., 2021. Tunnel-valley fills in the Paraná Basin and their implications for the extent of late Paleozoic glaciation in SW Gondwana. *J. South Am. Earth Sci.* 106, 102969.
- VESELY, F.F., RODRIGUES, M.C.N.L., ROSA, E.L.M., AMATO, J.A., TRZASKOS, B., ISBELL, J.L., FEDORCHUK, N.D., 2018. Recurrent emplacement of non-glacial diamictite during the late Paleozoic ice age. *Geology* 46, 615-618.
- VESELY, F.F., KRAFT, R.P., MATTOS, T.R., SCHEMIKO, D.C.B., BERTON, F., MONTEIRO, L.B., YAMASSAKI, H.S. 2021. Os primeiros turbiditos do Brasil. *Boletim Paranaense de Geociências* (neste volume).
- WOODWORTH, J.R. 1912. Geological expedition to Brazil and Chile, 1908-1909. *Bulletin of the Museum of Comparative Zoology* 56, 1-138.
- ZACHARIAS, A.A. 2004. Preenchimento de vales incisos por associações de fácies estuarinas, Formação Rio Bonito, nordeste do Paraná. Rio Claro. 99 p. (Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista).