

ROTEIRO GEOLÓGICO DA ÁREA DE DIAMANTINA, MINAS GERAIS: A FASE RIFT DA BACIA PROTEROZOICA DO ESPINHAÇO, A PARTIR DO RECONHECIMENTO DE DISCORDÂNCIAS SEDIMENTARES

Rogério Rodrigues da Silva

Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Antônio Carlos, nº. 6627,
CEP 31.270-901 Pampulha, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. *geologia.rrsilva@gmail.com*

Recebido em 11 de março de 2013; aceito em 30 de agosto de 2013

Resumo Este trabalho apresenta um roteiro geológico para a área de Diamantina. Foram escolhidos 13 afloramentos que visam principalmente o reconhecimento no campo de discordâncias sedimentares e a descrição e interpretação dos metaconglomerados basais das sequências. Os pontos foram localizados no mapa geológico da área de Diamantina e inseridos no perfil estratigráfico. Foram apresentados em esquemas gráficos simplificados, fotografias e mosaicos fotográficos. Foram então descritos e interpretados com os objetivos da obtenção de dados paleogeográficos significativos e da elaboração da estratigrafia de sequências para a área em questão. A Sequência Rio Paraúna recobre o embasamento arqueano e é representada por uma sucessão clástica regressiva (fase pré-rift). A fase rift se sucede, com a deposição das Sequências Olaria (sin-rift 1), Natureza (sin-rift 2), São João Chapada (sin-rift 3) e Sopa-Brumadinho/Galho do Miguel (sin-rift 4). O desenvolvimento das discordâncias e a deposição dos metaconglomerados basais estão relacionados a movimentos tectônicos ao longo de falhas normais sin-sedimentares. Representam períodos de exposição subaérea e erosão de rochas sedimentares litificadas e do embasamento ígneo. O contexto visualizado é de um rift N-S, assimétrico, com rampa tectônica suavemente inclinada para leste e falha listrica basal íngreme para oeste.

Palavras-chave: roteiro geológico, discordâncias, estratigrafia de sequências, fase rift, bacia proterozoica Espinhaço.

Abstract: GEOLOGICAL FIELD-GUIDE OF THE DIAMANTINA AREA: THE RIFT PHASE OF THE PROTEROZOIC ESPINHAÇO BASIN, BASED ON THE RECOGNITION OF SEDIMENTARY UNCONFORMITIES. This work presents a field geological guide for the area of Diamantina. It was chosen 13 outcrops. The unconformities were identified and their basal metaconglomerates studied in a detailed scale. They were mapped to the scale of 1:25.000. The points of the field-guide were presented by simplified sketches, photos and photographic mosaics. They were described and interpreted in order to obtain significant paleogeographic data and to build the sequence stratigraphy for the area in question. The Rio Paraúna Sequence represents a regressive clastic succession, deposited during the pre-rift phase. The rift phase follows, with the deposition of the Olaria (syn-rift 1), Natureza (syn-rift 2), São João da Chapada (syn-rift 3) and Sopa-Brumadinho/Galho do Miguel (syn-rift 4) Sequences. The development of unconformities and the deposition of the basal metaconglomerates were related to tectonic movements on syn-sedimentary normal faults. The unconformities were related to periods of subaerial exposition and erosion of sedimentary and igneous older rocks. The context envisaged here is similar to an asymmetric rift basin, with a tectonic ramp gently dipping towards the east and a master listric fault steeply dipping towards the west.

Keywords: geological field-guide, unconformities, sequence stratigraphy, rift phase, proterozoic Espinhaço basin.

1. INTRODUÇÃO

A geologia sedimentar evoluiu recentemente através de três revoluções científicas sucessivas (Catuneanu 2006). Começou nos anos de 1950 e 1960 com a geologia dos processos formadores de fácies sedimentares. Ocorre então o desenvolvimento do conceito de fluxo sedimentar e dos processos e respostas associadas. No início da década de 1960 foram incorporados a teoria da tectônica de placas e o conceito de geodinâmica em escalas regionais, marcando a segunda revolução da geologia sedimentar. Essas duas revoluções originaram a análise de bacias sedimentares, no fim da década de 1970, provendo o arcabouço científico para o estudo da história deposicional das bacias.

A estratigrafia de sequências marca a terceira e mais recente revolução na geologia sedimentar, que se desenvolveu como um método interdisciplinar que unificou os fatores autogênicos e alogênicos de forma a explicar a evolução e a arquitetura estratigráfica das bacias sedimentares.

As discordâncias sedimentares são as estruturas primárias mais importantes do arcabouço da estratigrafia de sequências. O conceito científico de discordância sedimentar é muito bem estabelecido e amplamente aceito pela comunidade (Catuneanu 2006). Por definição, uma discordância é uma superfície que separa estratos mais jovens dos mais velhos, ao longo da qual existem evidências de truncamento erosivo subaéreo ou exposição subaérea, com a indicação de hiato significativo (Posamentier *et al.* 1988). O reconhecimento e o mapeamento de discordâncias em sucessões sedimentares servem para identificar as sequências, definidas como uma sucessão de estratos sedimentares, geneticamente relacionados, relativamente concordantes e limitados na base e no topo por discordâncias e suas conformidades correlativas (Posamentier *et al.* 1988). As sequências são concebidas como as unidades básicas da análise estratigráfica.

Nos trabalhos pioneiros de levantamento da coluna estratigráfica da região de Diamantina, as discordâncias sedimentares representaram importantes marcadoras do tempo geológico, servindo para separar unidades geológicas de maior hierarquia estratigráfica. Pflug (1965, 1967, 1968) reconheceu a existência de duas sucessões metassedimentares, denominadas de Séries Pré-Minas e Minas, correlacionando a última à Série Minas da região do Quadrilátero Ferrífero. O contato das Séries Pré-Minas e Minas foi descrito como uma discordância angular marcante. Pflug (1968) subdividiu a Série Minas, na região de Diamantina, em sete formações sobrepostas, descrevendo o contato basal da série como uma discordância angular.

Pflug & Renger (1973) identificaram a existência de três grandes unidades geológicas regionais, separadas entre si por discordâncias angulares de importância regional, denominando-as de Séries ou Supergrupos Pré-Minas, Minas (Espinhaço) e Pós-Minas (São Francisco).

Na região de Diamantina, Schöll & Fogaça (1979), Schöll (1980) e Fogaça *et al.* (1984) identificaram três unidades estratigráficas maiores, separadas por discordâncias angulares, denominando-as de Embasamento ígneo/migmatítico, Supergrupo Rio Paraúna, ambos do Arqueano e Supergrupo Espinhaço, do Proterozoico. A interpretação destes autores é de que o Supergrupo Rio Paraúna constituiu uma sucessão do tipo *greenstone-belt* arqueano. É separado do Supergrupo Espinhaço por uma discordância angular marcante, inseridas em um contexto geológico compatível com o Ciclo de Wilson, de abertura e fechamento de blocos continentais. Schobbenhaus (1993) reconheceu a discordância angular, que separa as rochas mesoproterozoicas do Supergrupo Espinhaço das rochas do Neoproterozoico, como uma importante superfície cronoestratigráfica, indicando o início da deposição na bacia Macaúbas (Supergrupo São Francisco) (Figura 1).

A partir da década de 90, pesquisadores utilizaram o conceito de estratigrafia de seqüências e conduziram mapeamento geológico detalhado na área de Diamantina, com ênfase no mapeamento das discordâncias sedimentares e dos metaconglomerados basais (Silva 1993, 1994, 1995,

1999). A tectonoestratigrafia tem significado geológico similar ao da estratigrafia de seqüências, no sentido de que as discordâncias representam os limites físicos mais importantes das unidades básicas da análise estratigráfica (Catuneanu 2006). De fato, o conceito de tectonoestratigrafia e a definição de tectonoseqüências apresentados por Martins-Neto (1995, 1998) para a área confirmaram o esquema estratigráfico idealizado anteriormente por Silva.

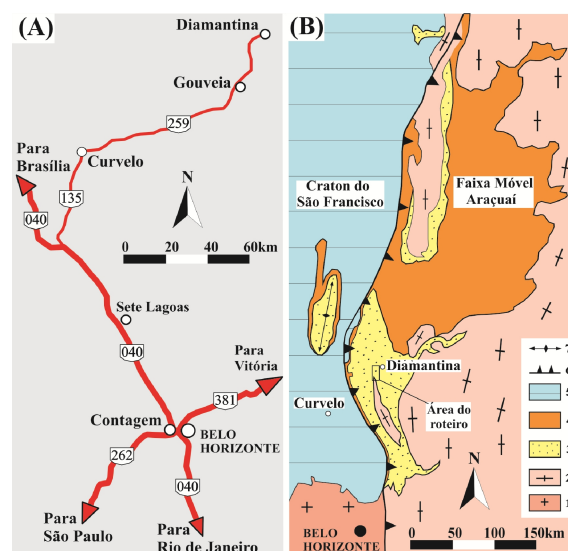


Figura 1 – (A) Localização da região de Diamantina no mapa rodoviário. (B) Mapa geológico simplificado da Serra do Espinhaço em Minas Gerais (conforme Schobbenhaus 1993, Pflug & Renger 1973, modificados). Legenda: 1 = Embasamento Arqueano; 2 = Embasamento Arqueano, retrabalhado durante a orogênese neoproterozoica; 3 = Supergrupo Espinhaço; 4 = Supergrupo São Francisco (Grupo Macaúbas); 5 = Supergrupo São Francisco (Grupo Bambuí); 6 = Limites do Cráton São Francisco e 7 = anticlinal com duplo caimento.

A folha topográfica Diamantina foi reproduzida em meios eletrônicos e os pontos do roteiro foram nela localizados (Figura 2A). Os pontos do roteiro, localizados por GPS, são identificados por coordenadas UTM na Figura 2B.

O objetivo deste roteiro de campo é apresentar a estratigrafia de seqüências da fase rift da bacia proterozoica Espinhaço em Diamantina. Pretende-se aqui descrever e interpretar treze afloramentos-chave. Deste total, doze afloramentos apresentam exposição direta ou indireta de discordâncias sedimentares e dos metaconglomerados basais. As fácies sedimentares dos metaconglomerados basais foram descritas e interpretadas. Foram adotados 9 parâmetros descritivos para os metaconglomerados. Cada um dos parâmetros possui potencial interpretativo em termos de processos sedimentares e contexto paleogeográfico (tabela 1).

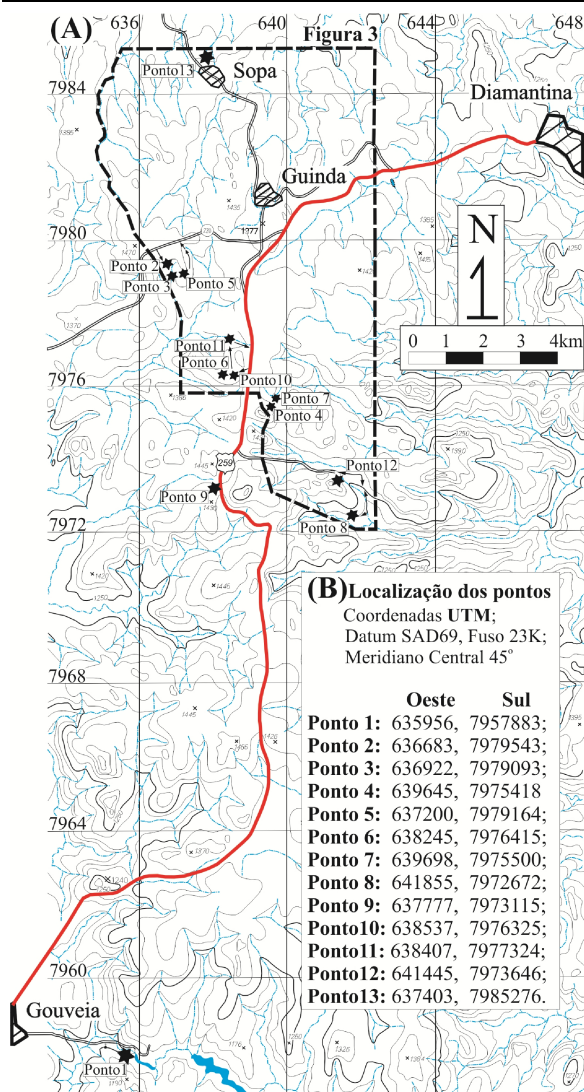


Figura 2- (A) Localização dos pontos do roteiro e do mapa geológico da Figura 3 na folha Diamantina (código: SE-23-Z-A-III), escala de 1:100.000 (IBGE 1986). As estrelas indicam a localização dos pontos e as setas indicam os roteiros sugeridos. (B) Localização dos pontos do roteiro em coordenadas UTM.

2. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

A Serra do Espinhaço em Minas Gerais é constituída por um complexo de rochas ígneas arqueanas, recoberto por sucessões de rochas metassedimentares e subordinadamente metavulcânicas do Proterozoico. Todo esse conjunto foi deformado e metamorfoisado durante o evento tectono-termal do Neoproterozoico, constituindo assim a Faixa Móvel Araçuai, localizada à sudeste do Cráton do São Francisco.

O complexo do embasamento arqueano consiste predominantemente de granitos e granodioritos, associados com migmatitos. A determinação de idade, utilizando o método U/Pb em zircões, indicou que a cristalização primária de granitos, intrusivos no complexo arqueano, ocorreu há 2,8 Ga (Machado *et al.* 1989). Durante a orogênese paleoproterozoica, entre 2,2 e 2,0 Ga, o complexo ígneo/migmatítico do

embasamento foi retrabalhado na Serra do Espinhaço setentrional, no estado da Bahia (Danderfer *et al.* 2009). Esta idade é interpretada como a idade máxima para o início da sedimentação na bacia Espinhaço.

Tabela 1- Parâmetros descritivos das fácies de metaconglomerados e interpretações dos processos sedimentares, de acordo com Rust & Koster (1984), Miall (1978) e Rust (1972).

Parâmetros descritivos dos conglomerados	Interpretação dos processos sedimentares
1. Arcabouço (clasto-e/ou matriz-suportado; análise modal)	O arcabouço do conglomerado relaciona-se com o tipo de fluxo que gerou o depósito (depósitos de fluxos de correntes ou fluxos de detritos?).
2. Tamanho e forma dos clastos (análise modal)	O tamanho do clasto está relacionado com a proximidade da área-fonte. A forma do clasto relaciona-se com o tipo de sustentação do clasto durante o transporte (processos trativos ou gravitacionais?).
3. Composição litológica dos clastos (análise modal)	Interpretação da proveniência.
4. Estruturas sedimentares (maciço ou com estruturas sedimentares)	As estruturas sedimentares informam a respeito dos processos atuantes durante a deposição (processos trativos ou gravitacionais?), além de permitirem interpretações paleogeográficas importantes.
5. Espessura das camadas	Permite obter informações a respeito da intensidade dos processos sedimentares responsáveis pela deposição dos conglomerados ou inferir a profundidade da lâmina de água durante a deposição.
6. Contatos da base e do topo	Permite interpretar as relações estratigráficas do conglomerado, além da obtenção de informações paleogeográficas a respeito do próprio conglomerado.
7. Tendência granulométrica vertical	Permite identificar o sistema deposicional, bem como interpretar a existência de ciclos sedimentares e tendências granulométricas oriundos de fatores aloclícos.
8. Orientação preferencial dos clastos (análise modal)	Obtenção da visão tridimensional do depósito de conglomerado.
9. Sucessão de camadas e sedimentos intercalados	Permite a identificação de ciclos e a interpretação do sistema deposicional.

A base da bacia Espinhaço é marcada por magmatismo bimodal, tanto efusivo quanto plutônico. Este magmatismo é representado por rochas metavulcânicas de caráter básico, hematita filitos da região de Diamantina e caráter ácido, metarrolitos da borda leste da cordilheira, que forneceram a idade de 1,7 Ga, através da datação de zircões pelo método U/Pb (Brito-Neves *et al.* 1979, Machado *et al.* 1989). A idade de 1,7 Ga marca uma etapa de atividade tectônica e magmática ocorrida durante a evolução do rift Espinhaço.

O início da sedimentação na bacia São Francisco é mais jovem que 0,9 Ga, como demonstrado pelas datações de zircões pelo método U/Pb, obtidos de diques intrusivos básicos, que cortam os depósitos da bacia Espinhaço, mas não cortam os depósitos da bacia São Francisco (Machado *et al.* 1989). Martins *et al.* (2008), com base em datações de zircões detríticos, amostrados nas rochas que recobrem a

discordância da base da bacia São Francisco, interpreta que a sedimentação teve início a partir de 1,16 Ga.

A sedimentação da bacia São Francisco terminou antes da orogênese neoproterozoica, aproximadamente há 0,6 Ga, quando ocorreu a inversão tectônica das bacias sedimentares. Durante este evento compressivo foi desenvolvido um sistema de cavalgamentos do tipo duplex, descrito por Silva (2008, 2011).

3. CONTEXTO GEOLÓGICO DA ÁREA DE DIAMANTINA

A Figura 3 apresenta o mapa geológico da área do roteiro. A sucessão de rochas sedimentares da bacia Espinhaço se apresenta metamorfisada e intensamente deformada. No mapa geológico foi identificada uma klippe tectônica. Abaixo da klippe ocorre a repetição tectônica da sucessão sedimentar original, individualizando os cavalos tectônicos. O movimento tectônico compressivo foi direcionado para oeste. Além do sistema de cavalgamentos, também foram mapeadas duas falhas/zonas de cisalhamento transcorrentes, de direção E-O, com deslocamentos com sentido anti-horário. Foram interpretadas como desenvolvidas em sincronia com o sistema de cavalgamentos do duplex (Silva 2008, 2011).

A Figura 4 apresenta a reconstrução estratigráfica esquemática da sucessão sedimentar depositada na bacia Espinhaço, na área de Diamantina (Silva 1995, 2011). A deposição teve início com a sucessão clástica, com gradação inversa, representativa da fase pré-rift, que recobre em não conformidade o embasamento ígneo. A deposição prosseguiu através das sequências da fase rift.

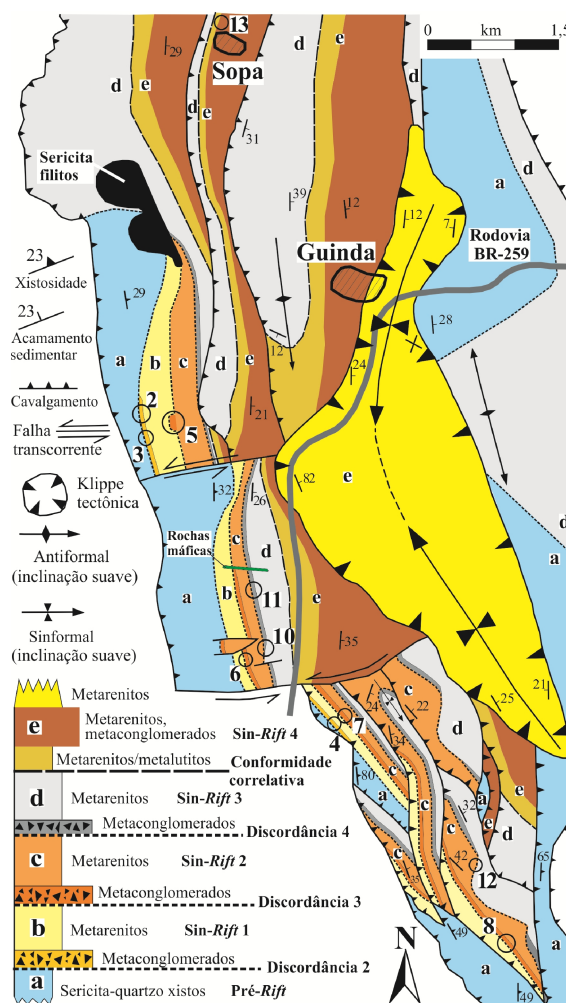


Figura 3 - Mapa geológico da área a oeste de Diamantina.

Legenda: a = Sequência Rio Paraúna; b = Sequência Olaria; c = Sequência Natureza; d = Sequência São João da Chapada; e = Sequência Sopa-Brumadinho/Galho do Miguel.

A Figura 5 apresenta os modelos paleogeográficos para a deposição dos metaconglomerados estudados.

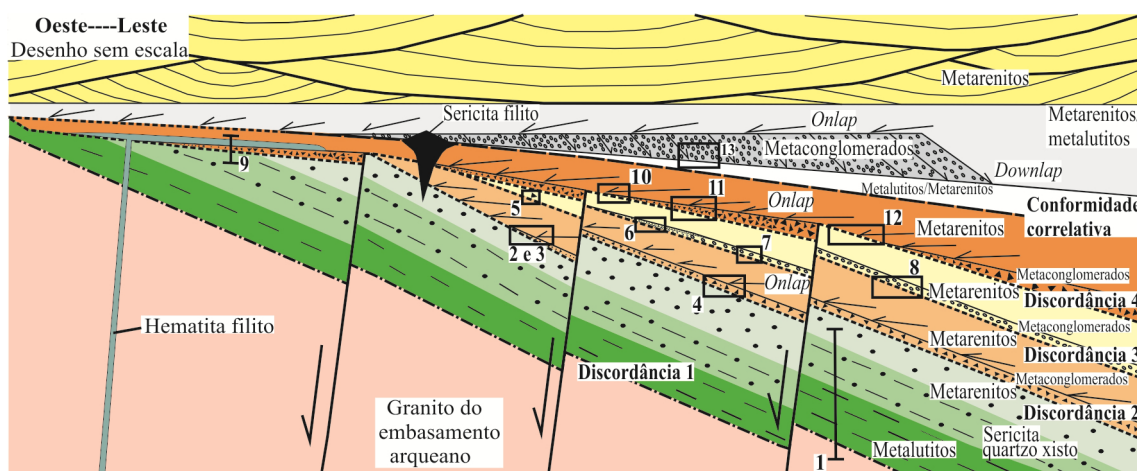


Figura 4 – Perfil estratigráfico esquemático do rift Espinhaço na área de Diamantina, antes da orogênese neoproterozoica (conforme Silva 1995, 2011, modificado). Os pontos do roteiro foram identificados no perfil.

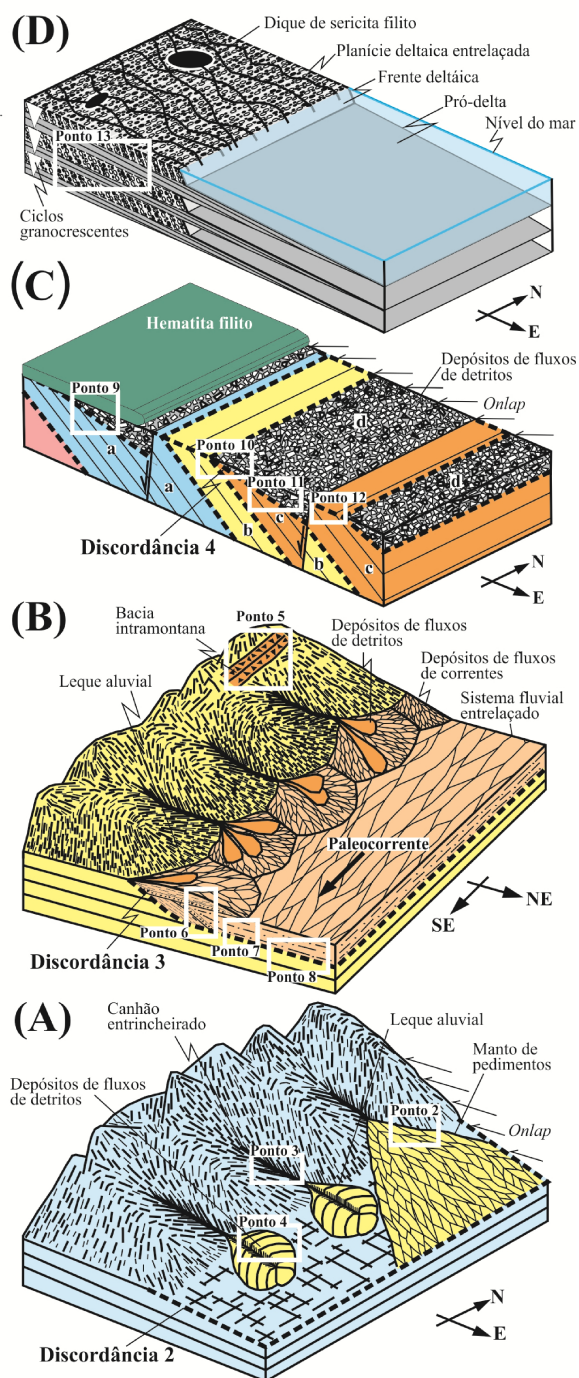


Figura 5 - Modelos paleogeográficos dos metaconglomerados das Sequências Olaria (A), Natureza (B), São João da Chapada (C) e Sopa-Brumadinho/Galho do Miguel (D). Os pontos do roteiro foram localizados nos modelos paleogeográficos.

4. DESCRIÇÃO E INTERPRETAÇÃO DOS PONTOS DO ROTEIRO

Os pontos do roteiro foram descritos e interpretados em conjunto, de acordo com a sequência em que ocorrem, sempre de oeste para leste, da área fonte em direção ao depocentro do rift.

4.1. Sequência Rio Paraúna

No ponto 1, as estruturas tectônicas são geneticamente relacionadas. A dobra sinclinal assimétrica deforma tanto as camadas sedimentares como a foliação tectônica dos metalutitos e sericita-quartzo xistos. A falha inversa está inclinada para leste, paralela à foliação tectônica plano-axial e ao próprio plano-axial do sinclinal (Figs. 6A e B).

A base da sequência aflora na usina elétrica de São Roberto e se refere a metalutitos, maciços ou laminados, predominantemente puros. Subindo a estratigrafia ocorre o aumento gradual do conteúdo relativo de grãos de areia, e em consequência os metalutitos se transformam em sericita-quartzo xistos. No topo ocorrem metarenitos com estratificação horizontal, apresentando marcas de onda (Fig. 6C).

Depósitos de argilitos, protólitos dos metalutitos da base, representam a deposição por decantação de argila em ambiente subaquático, com águas paradas. Os sericita-quartzo xistos são originados de argilitos, contendo lentes de arenitos e grãos isolados de areia. A deposição ocorreu por decantação da argila e com aporte lateral de grãos com a fração areia. Os metarenitos do topo apresentam marcas de onda simétricas, indicativas de ambiente plataformar raso, sujeito a ondas. A análise da coluna estratigráfica nos permite interpretar que se trata de uma sucessão regressiva, representativa de uma transgressão inicial do mar sobre os granitos do embasamento. A profundidade da lâmina de água diminuiu na medida em que a sedimentação progrediu.

4.2. Sequência Olaria

No ponto 2, a discordância é uma superfície planar, irregular, com sinais de erosão, recoberta por camada única de metaconglomerado (Figs. 7A e B). Possui espessura constante e regular de 1,6 m, com estratificação horizontal mal-desenvolvida. O metaconglomerado é matriz-suportado, com até 50% de matriz arenosa. A população dos clastos é desclassificada e polimodal. O tamanho médio dos clastos é de blocos grandes. São em maioria angulosos, contudo é significativo o conteúdo de clastos arredondados e subarredondados. Os maiores clastos geralmente possuem vértices agudos. Os eixos maiores dos clastos se orientam N-S, horizontais. Não foram observados clastos imbricados. Os clastos são constituídos predominantemente de arenitos, mas também quartzo de veios e formação ferrífera bandada.

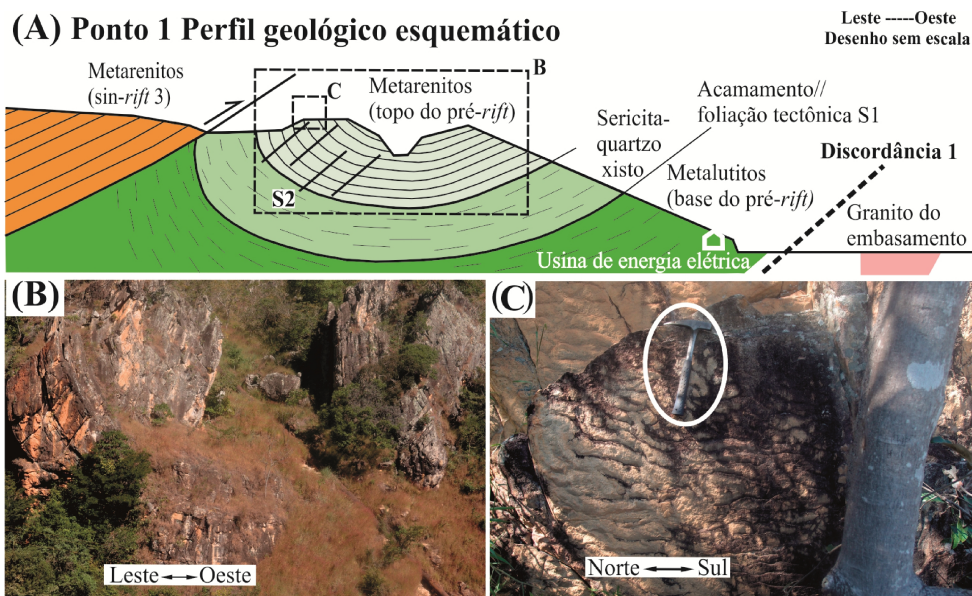


Figura 6 – (A) Perfil geológico esquemático na represa de São Roberto, a leste de Gouveia, no ponto 1. (B) Fotografia do sinclinal assimétrico, com o desenvolvimento de foliação tectônica plano-axial. (C) Os metarenitos do topo da sucessão pré-rift possuem marcas de onda.

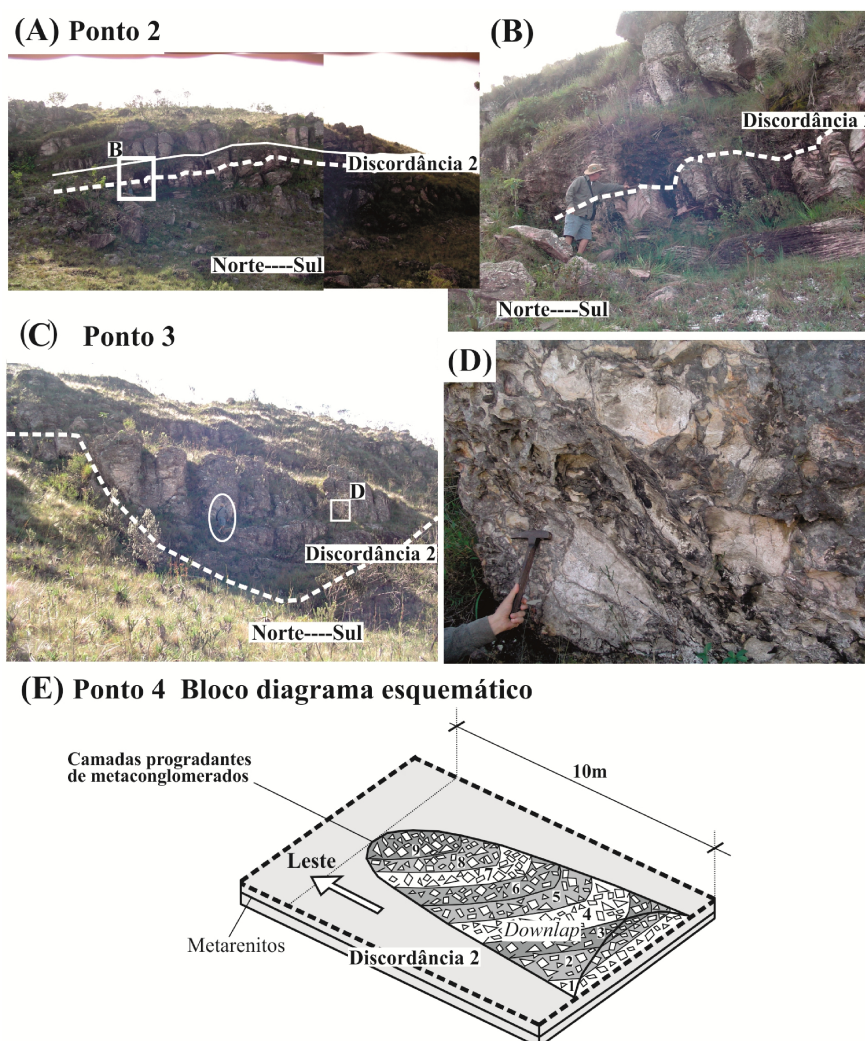


Figura 7 - Metaconglomerado basal da Sequência Olaria. (A) No Ponto 2, o metaconglomerado é constituído por camada tabular única. (B) A discordância 2 localmente apresenta sinais de erosão. (C) No Ponto 3, o metaconglomerado preenche canhão entrincheirado. (D) Matações triangulares ocorrem em posições verticais. (E) No Ponto 4, o metaconglomerado basal constitui lobo deposicional, caracterizado por camadas progradantes para leste.

No ponto 2, o metaconglomerado basal parece ser um depósito originário de fluxos de correntes, como indicado pela estratificação horizontal mal-desenvolvida, pelos sinais de erosão e irregularidades na base da camada e pelo conteúdo significativo de clastos arredondados e sub-arredondados. Os eixos maiores dos clastos, preferencialmente orientados horizontais com direção N-S, podem muito bem indicar transporte por rolamento com paleocorrentes E-O. Fluxos de correntes de altas velocidades provavelmente são responsáveis pela erosão local do embasamento, transporte e deposição do metaconglomerado basal. A presença de blocos angulosos de arenitos pode representar o produto da erosão local dos metarenitos inferiores, já litificados. Pode ser interpretado um cenário paleogeográfico similar aos mantos de pedimentos para o metaconglomerado basal no ponto 2, similar aqueles descrito no sul da Austrália por Twidale (1979).

No ponto 3, o metaconglomerado basal preenche um canhão entrincheirado (Figs. 7C, 7D). O arcabouço varia localmente de clasto-suportado a matriz-suportado, com o máximo de 30% de matriz arenosa. O conjunto dos clastos é desclassificado e polimodal, apresentando tamanho médio de blocos grandes. São angulosos e, em menor quantidade, subangulosos. Possuem seus eixos maiores preferencialmente orientados ao longo de um plano vertical, de direção N-S, verticalizados. Os clastos são constituídos na sua grande maioria de arenitos, mas também de fragmentos de formação ferrífera bandada, quartzo de veios e ocasionalmente de granitos. Intercalações de metarenitos não foram observadas.

O próprio formato do canhão aluvial é indicativo de sua origem. A ausência de estratificação interna no metaconglomerado, o tamanho médio da população de clastos, a angulosidade e a natureza mal classificada, além do arcabouço caótico são feições típicas de depósitos originado por fluxos de grãos. A presença de blocos e matacões em posições íngremes a verticais indica a queda-livre gravitacional de clastos, dentro do canhão aluvial.

No ponto 4, o metaconglomerado basal é composto por uma sucessão de camadas progradantes para leste (Fig. 7E). O contato entre as camadas de metaconglomerado é discreto e difícil de ser reconhecido no campo. O arcabouço das camadas de metaconglomerado é clasto-suportado, com o máximo de 10% de matriz arenosa. Internamente, as camadas de metaconglomerados são maciças e desorganizadas. Os clastos são preferencialmente mal classificados, polimodal. Os

clastos são predominantemente angulosos, mas alguns são subarredondados e subangulosos.

As características descritas acima indicam que o metaconglomerado basal da Sequência Olaria no ponto 4 é oriundo de fluxos de detritos continentais. Durante o transporte, os clastos foram suportados por fluxos de detritos denominados de fluxos de grãos continentais.

Os metaconglomerados basais expostos nos pontos 3 e 4 foram interpretados como o registro geológico de leques aluviais. O contexto paleogeográfico dos leques aluviais da base da Sequência Olaria é similar aos que ocorrem em rampas submetidas a tectonismo normal, com inclinação progressiva da rampa, como apresentado na Figura 5A, segundo Heward (1978) e Nemec & Postma (1993).

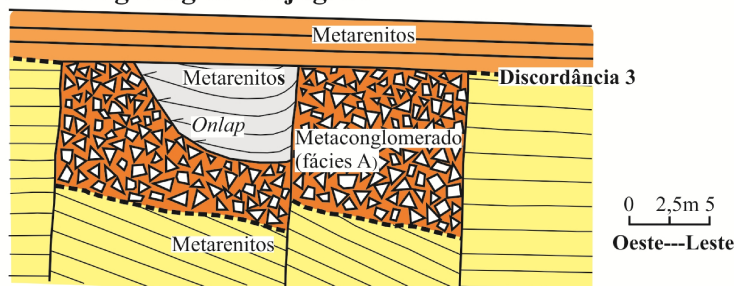
4.3. Sequência Natureza

De oeste para leste, a discordância 3 muda as suas características. No ponto 5, a discordância é angular porque falhas normais sin-sedimentares causaram o basculamento de blocos e relações angulares entre os conjuntos de estratos, abaixo e acima da discordância. No ponto 6 e em direção à leste, nos pontos 7 e 8, a discordância 3 é uma disconformidade, segundo denominação de Catuneanu (2006). É representada por uma superfície planar, bastante regular. Sinais de erosão dos metarenitos encontrados abaixo da discordância 3 são abundantes e podem ser reconhecidos em escala de afloramento (Figs. 8, 9).

O metaconglomerado basal da Sequência Natureza é bastante heterogêneo, consistindo de três fácies sedimentares: uma fácies de metarenitos com clastos e duas fácies de metaconglomerados, denominadas de fácies A e B.

A fácies metaconglomerática A ocorre no ponto 5, preenchendo duas bacias menores, limitadas por três falhas normais sin-sedimentares, com direção N-S (Fig. 8A). O metaconglomerado é clasto suportado, maciço, desorganizado, com clastos constantemente orientados em posições verticais ou íngremes. Predominam amplamente matacões pequenos, em sua maioria angulosos. Os clastos são constituídos basicamente de metarenitos. Dentro da bacia tectônica localizada a oeste, o metaconglomerado basal é recoberto por sucessão de metarenitos, que apresenta contato basal *onlap*. Os metarenitos possuem até o máximo de 6 metros de espessura, com estratificação plano-paralela de poucos centímetros. Para leste, estes arenitos dobram, formando sinclinal, e acunham abruptamente contra a falha N-S.

(A) Ponto 5 Perfil geológico conjugado



(B) Ponto 6 Perfil estratigráfico

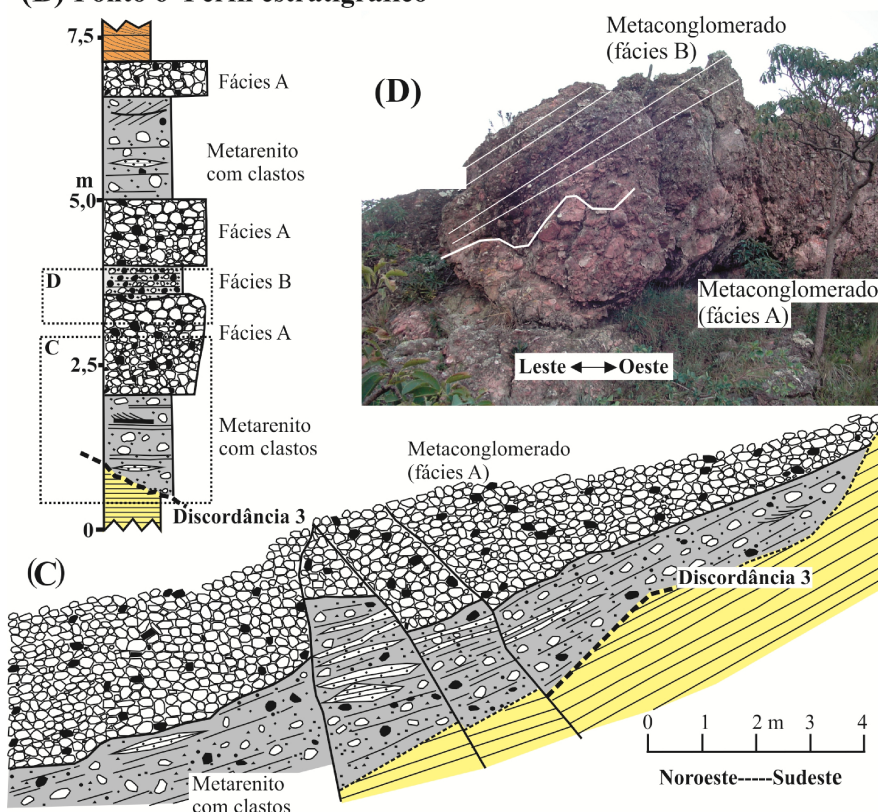


Figura 8 – (A) Perfil geológico conjugado do ponto 5, na base da Sequência Natureza. O metaconglomerado da fácies A é limitado fisicamente por três falhas normais, de direção aproximada norte-sul. (B) Perfil estratigráfico do ponto 6. (C) Desenho geológico esquemático, traçado a partir de mosaico fotográfico. As falhas normais são posteriores à deposição do metaconglomerado. (D) Fotografia do contato entre as camadas de metaconglomerados das fácies A e B. Notar aumento gradativo para o topo do tamanho dos clastos da camada da fácies A e a sua erosão pela fácies B.

As características físicas do metaconglomerado da fácies A no ponto 5 e sua associação com as falhas normais sin-sedimentares sugerem uma origem principal a partir da queda livre gravitacional de blocos em depósitos do tipo talús *breccia*, situados na base de escarpas geomórficas de origem tectônica. A deposição foi fisicamente limitada por falhas normais. É provável que a falha normal N-S situada a oeste seja mais antiga que as outras duas falhas. A movimentação relativa ascendente dos estratos à oeste desta falha acarretou a erosão do substrato e a deposição do talús. Este depósito de talús foi soterrado progressivamente por metarenitos com contato basal do tipo *onlap*. Tectonismo renovado deformou (dobrou) e efetivamente truncou os depósitos mais antigos.

Com esta interpretação, pode ser deduzido que a falha localizada a leste é a mais jovem. O ponto 5 representa as porções proximais do *rift* durante o desenvolvimento da discordância 3, muito provavelmente uma bacia do tipo intramontana.

Três camadas da fácies A ocorrem intercaladas na seção estratigráfica no ponto 6 (Fig. 8B). Possuem no máximo 2 metros de espessura e são maciças internamente. Seus contatos basais não apresentam sinais de erosão (Fig. 8C). O conglomerado é clasto-suportado e assemelha-se ao conglomerado descrito no ponto 5, exceto pela orientação horizontal dos clastos com faces planares. A camada inferior da fácies A possui gradação inversa, enquanto as duas camadas superiores não apresentam tendência granulométrica vertical.

(A) Ponto 7 Bloco diagrama esquemático

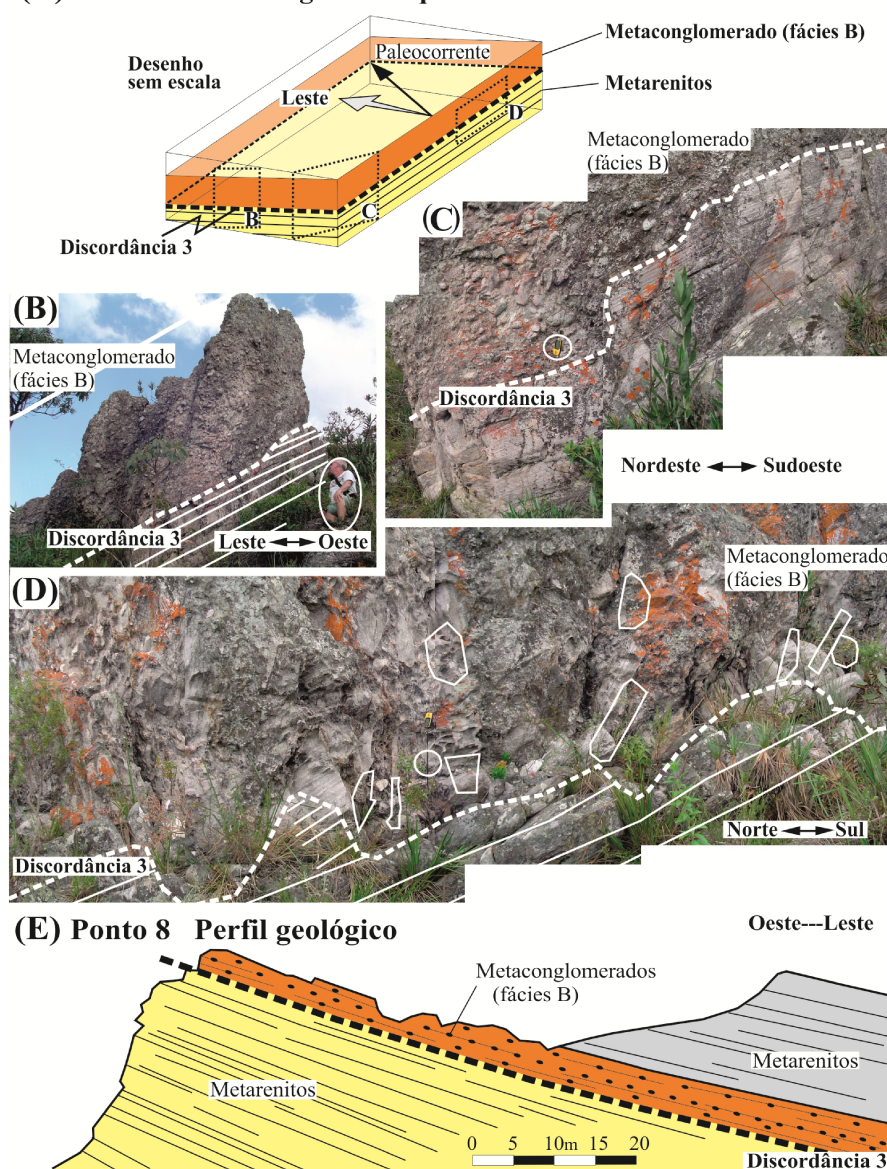


Figura 9 – (A) Bloco diagrama esquemático da base da Sequência Natureza no ponto 7. (B) Fotografia da fácies B. (C) A discordância basal é localmente erosiva, associado ao imbricamento de seixos bem arredondados. (D) Blocos angulosos de metarenitos se concentram na base da camada da fácies B. Muitos estão em posição vertical. (E) Perfil geológico esquemático da disconformidade no ponto 8.

O metaconglomerado da fácies A no ponto 6 é provavelmente o produto de fluxos de detritos continentais, do tipo fluxo de grãos, como indicado pela desclassificação e angularidade dos clastos, pelo arcabouço maciço e disposição caótica dos clastos e pela base das camadas não apresentam sinais de erosão hidráulica.

A fácies de metarenitos com clastos pode ser observada somente no ponto 6. Possui estratificação horizontal pobremente desenvolvida, e o conteúdo de grãos de areia é usualmente maior que 50%. O metarenito é texturalmente imaturo, sendo composto por grãos de areia com vários tamanhos. Os clastos variam desde seixos grossos até matações pequenos, mas são predominantemente da fração bloco. A maioria dos clastos são subarredondados e

subangulosos. O metarenito desta fácies possui lentes de areia bem classificada, com granulometria grossa, sem clastos e apresentando estratificação horizontal. Estratificações cruzadas ocorrem de forma isolada dentro desta fácies.

A fácies de metarenitos com clastos que ocorre no ponto 6 é provavelmente o produto de deposição por fluxos de correntes, como indicado pela estratificação horizontal, pelas bases das camadas com sinais de escavamento, pela presença de estruturas produzidas por processos trativos como estratificação cruzada e pela existência de lentes arenosas intercaladas. A presença de clastos arredondados e subarredondados também é indicativa do retrabalhamento trativo em fluxos de correntes aquosas.

Leques aluviais apresentam depósitos de fluxos de detritos intercalados com depósitos de fluxos de correntes. Nas áreas proximais dos leques aluviais, acima dos lobos, prevalecem condições de deposição de fluxos de grãos, representada pela fácies A. Nas porções mediais dos lobos dos leques aluviais predominam fluxos de correntes de altas velocidades, derivados de eventos torrenciais, responsáveis pela deposição da fácies de metarenitos com clastos. As lentes de metarenitos puros observadas dentro da fácies de metarenitos contendo clastos podem representar períodos com drenagem mais amena, durante os quais a água superficial, oriunda da bacia de drenagem, é vertida sobre a porção medial do lobo aluvial, dentro de pequenos canais. Este cenário é similar ao modelo de fácies para leques aluviais recentes em regiões semi-áridas (Rust & Koster 1984).

A camada da fácies metaconglomerática B, exposta no ponto 6, possui as mesmas características do metaconglomerado basal exposto nos pontos 7 e 8 (Figs. 9A, 9B, 9C e 9D). A base das camadas da fácies B é tipicamente erosiva, com sinais claros de erosão. Nos pontos 7 e 8, recobrimo a discordância 3, é comum observar clastos angulosos com eixos maiores em posições íngremes. O arcabouço do metaconglomerado da fácies B é clasto-suportado. É relativamente bem classificado, com menos que 20% de matriz arenosa, mas localmente podendo chegar a 40%. Os clastos em média são do tamanho de blocos pequenos e são bem arredondados. Os eixos maiores dos clastos encontram-se em posições horizontais, preferencialmente com os eixos maiores orientados NE-SO. O imbricamento primário de clastos é comum nos pontos 7 e 8 e indica paleocorrentes direcionadas para SE. No ponto 8, o metaconglomerado da fácies B apresenta estratificação horizontal muito bem desenvolvida e geometria tabular.

Numerosas evidências encontradas na fácies metaconglomerática B são indicativas da deposição em um sistema de fluxos de correntes. A geometria tabular, das camadas, a estratificação horizontal bem desenvolvida, a boa classificação da população de clastos, a predominância de clastos bem arredondados, a imbricação e a organização espacial, associados a numerosos sinais de erosão na base das camadas indicam uma origem a partir de fluxos de correntes, muito provavelmente um sistema fluvial entrelaçado. Clastos de metarenitos angulosos em posições verticais encontrados na

base da camada metaconglomerática da fácies B podem indicar a erosão local com rotação de blocos dos arenitos inferiores por fluxos de correntes de alta energia.

4.4. Sequência São João da Chapada

A discordância 4 é representada por uma superfície planar e regular, inclinada suavemente pela leste. No ponto 9, a discordância angular erodiu diretamente os sericita-quartzo xistos da fase *pré-rift*. Hematita filitos recobrem o metaconglomerado basal (Fig. 10A). Nos pontos 10 e 11, a discordância angular é marcada pela erosão de metarenitos depositados durante a própria fase *rift*. O metaconglomerado basal possui forma de cunha, com diminuição progressiva da espessura para oeste. É recoberto por uma sucessão de metarenitos que apresentam contato basal do tipo *onlap* (Figs. 10B, 10C, 10D, 10E, 10F).

No ponto 12, os estratos dos metarenitos mais antigos apresentam-se fortemente basculados para leste, erodidos e também progressivamente recobertos por metarenitos. Nesta exposição, não ocorre o metaconglomerado basal e consequentemente, os metarenitos de topo recobrem em contato do tipo *onlap* diretamente a discordância 4 (Figs. 11A e 11B). Esta exposição espetacular da discordância angular sub-Sequência São João da Chapada foi descrita por Schöll & Fogaça (1979), Schöll (1980), Fogaça *et al.* (1984) e Almeida-Abreu (1989).

Em seção L-O, o metaconglomerado basal desta sequência possui forma geral de cunha. Em direção a oeste, a espessura do metaconglomerado progressivamente diminui. No sentido do mergulho, para leste, a espessura do metaconglomerado aumenta progressivamente. No ponto 11, o metaconglomerado possui até 25 metros de espessura, mas espessuras ainda maiores foram reportadas na área estudada. Em direção N-S não ocorrem variações significativas da espessura do metaconglomerado.

O metaconglomerado possui estratificação planar mal desenvolvida. Dentro dos estratos a rocha é maciça. Os contatos entre os estratos variam muito e são difíceis de serem reconhecidos no campo, principalmente devido à amalgamação vertical de estratos superpostos. Não foram observadas intercalações de metarenitos. Os clastos consistem predominantemente de arenitos, indicando derivação local das rochas mais antigas.

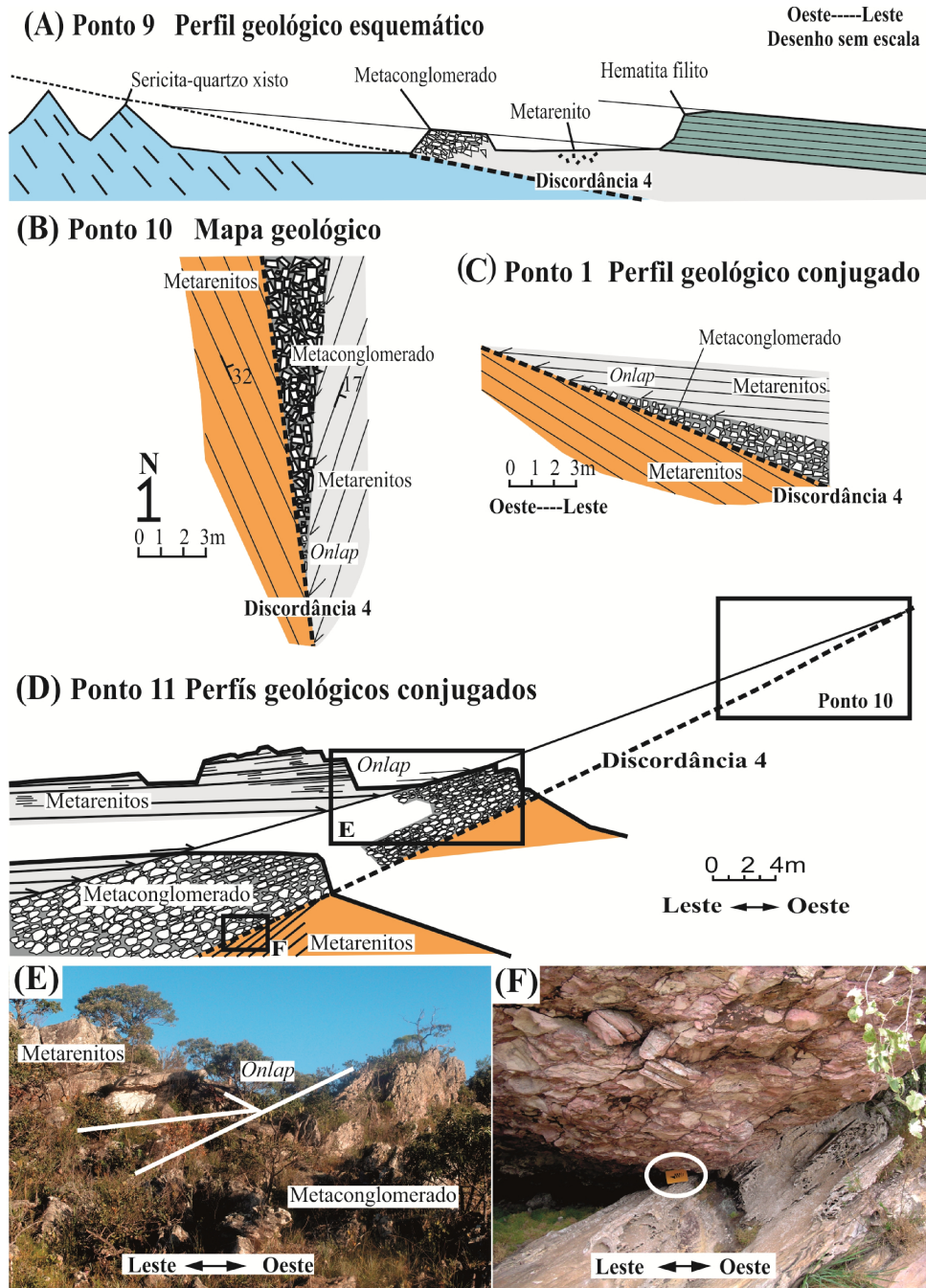


Figura 10 – (A) Perfil geológico esquemático da base da Sequência São João da Chapada no ponto 9. Os hematita fítilos recobrem o metaconglomerado basal. (B) Mapa geológico detalhado do ponto 10. (C) Perfil geológico conjugado do ponto 10. (D) Perfil geológico esquemático, apresentando a discordância angular no ponto 11. (E) Fotografia onde se destaca o contato onlap dos metarenitos, recobrindo o metaconglomerado. (F) Fotografia da discordância angular no ponto 11.

O metaconglomerado é clasto-suportado com poucas quantidades de matriz arenosa. A população dos clastos é desclassificada, polimodal. Os clastos são predominantemente matações pequenos, angulosos e, subordinadamente subangulosos. A organização dos clastos é caótica, entretanto os clastos apresentam em sua maioria as faces planares orientadas paralelas ao próprio acamamento.

A natureza mal classificada do conjunto de clastos, a angularidade dos clastos, o arcabouço caótico, a falta de intercalações arenosas e a

ausência de estruturas produzidas por tração são todas evidências sugestivas de deposição do metaconglomerado a partir de fluxos de detritos continentais, do tipo fluxo de grãos. A forma externa em cunha do metaconglomerado, a orientação preferencial horizontal das faces planares dos clastos e a estratificação horizontal mal-desenvolvida são sugestivas de sucessivos eventos de fluxos de grãos, ocorridos em rampas tectônicas. O desenvolvimento destas rampas está relacionado à rotação para leste das rochas metassedimentares mais antigas

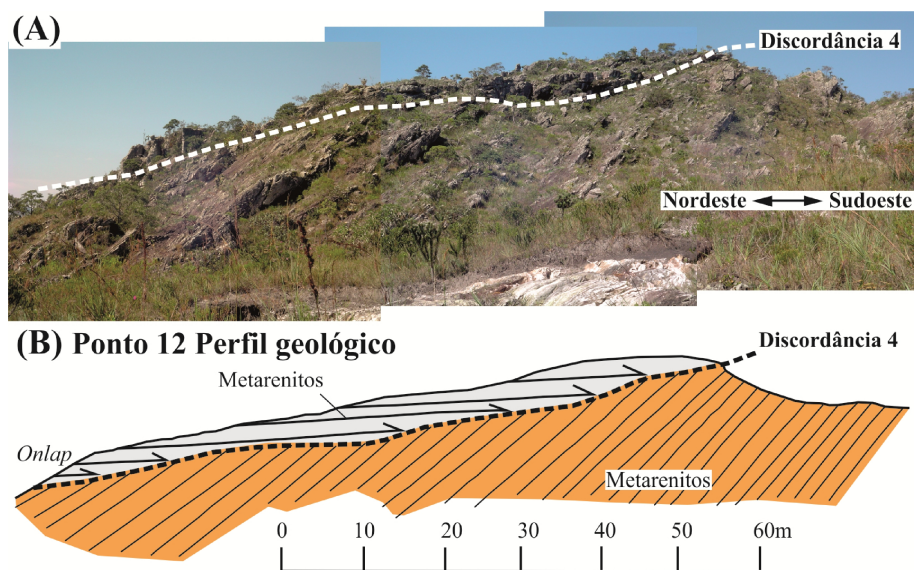


Figura 11 – (A) Mosaico fotográfico do ponto 12. (B) Perfil geológico esquemático da discordância 4, base da Sequência São João da Chapada no ponto 12.

As relações estruturais entre os conjuntos de estratos sedimentares abaixo e acima da discordância 4 na área dos pontos 10 e 11 (Figs. 10B, 10C, 10D, 10E, 10F) foram pesquisadas por Silva (1995). Nesta área, os metarenitos da sequência inferior estão posicionados predominantemente para $76^{\circ}/35^{\circ}$ (145 medidas). A orientação predominante das faces planares dos clastos do metaconglomerado basal da Sequência São João da Chapada é de $103^{\circ}/30^{\circ}$ (144 medidas) e os metarenitos de topo apresentam acamamento orientado $107^{\circ}/19^{\circ}$ (138 medidas). Com estes dados é possível estimar a inclinação da rampa tectônica em aproximadamente 11° para leste.

4.5. Sequência Sopa-Brumadinho/Galho do Miguel

Na base do afloramento (ponto 13, Figs. 12A, 12B) ocorrem metarenitos com marcas de onda, apresentando cristas com direções N-S. As marcas de ondas são recobertas por metalutitos finamente laminados. Em direção ao topo ocorrem camadas de metarenitos intercaladas com metaconglomerados (fig 12C). As camadas de metarenitos possuem até 1 metro de espessura, apresentando estratificação interna suavemente inclinada para leste. Estratos cruzados são raros. Seixos muito bem arredondados ocorrem depositados ao longo da estratificação interna dos metarenitos. As camadas de metaconglomerados possuem até 1,5 metros de espessura. O metaconglomerado é clasto-suportado com até 30% de matriz arenosa. Os clastos são predominantemente do tamanho seixo, mas blocos também são numerosos. São predominantemente bem arredondados e compostos por arenitos, formação ferrífera bandada, metalutitos, quartzo de veios e metaconglomerados. Os clastos apresentam

orientação preferencial, formando um plano orientado para leste, com inclinação significativa em relação ao acamamento primário (Fig. 12D). Dique de sericita filito ocorre no topo do afloramento, aparentemente truncando toda a sucessão descrita (Fig. 12E). É constituído por sericita filitos, maciços, sem estruturas primárias, com desenvolvimento de foliação tectônica penetrativa.

Metarenitos com marcas de onda mesoscópicas são depositados em ambiente marinho com águas muito rasas, provavelmente muito perto da linha de costa. A deposição dos metapelitos ocorre em ambiente pelágico, por decantação de grãos detríticos com o tamanho argila. O fato dos metalutitos recobrirem diretamente os metarenitos indica que houve uma subida relativa e abrupta do nível do mar em relação ao continente. Dentro do arcabouço conceitual da estratigrafia de sequências, o contato que separa o metarenito dos metalutito no ponto 13 é denominado de limite de parasequências, que representam superfícies de inundação marinha.

A análise do afloramento de camadas intercaladas de metaconglomerados e metarenitos permitiu a identificação de ciclos sedimentares. Cada um destes ciclos é composto por uma camada de metarenito na base e por uma camada de metaconglomerado no topo. A deposição em ambiente deltaico ocorre por avalanche subaquática de material detrítico, transportado até a linha de costa por correntes fluviais. Processos trativos atuando durante o transporte explicam o arredondamento dos clastos do metaconglomerado. Os clastos foram preferencialmente depositados na frente do delta, com significativa inclinação em relação ao acamamento primário. Os grãos de areia,

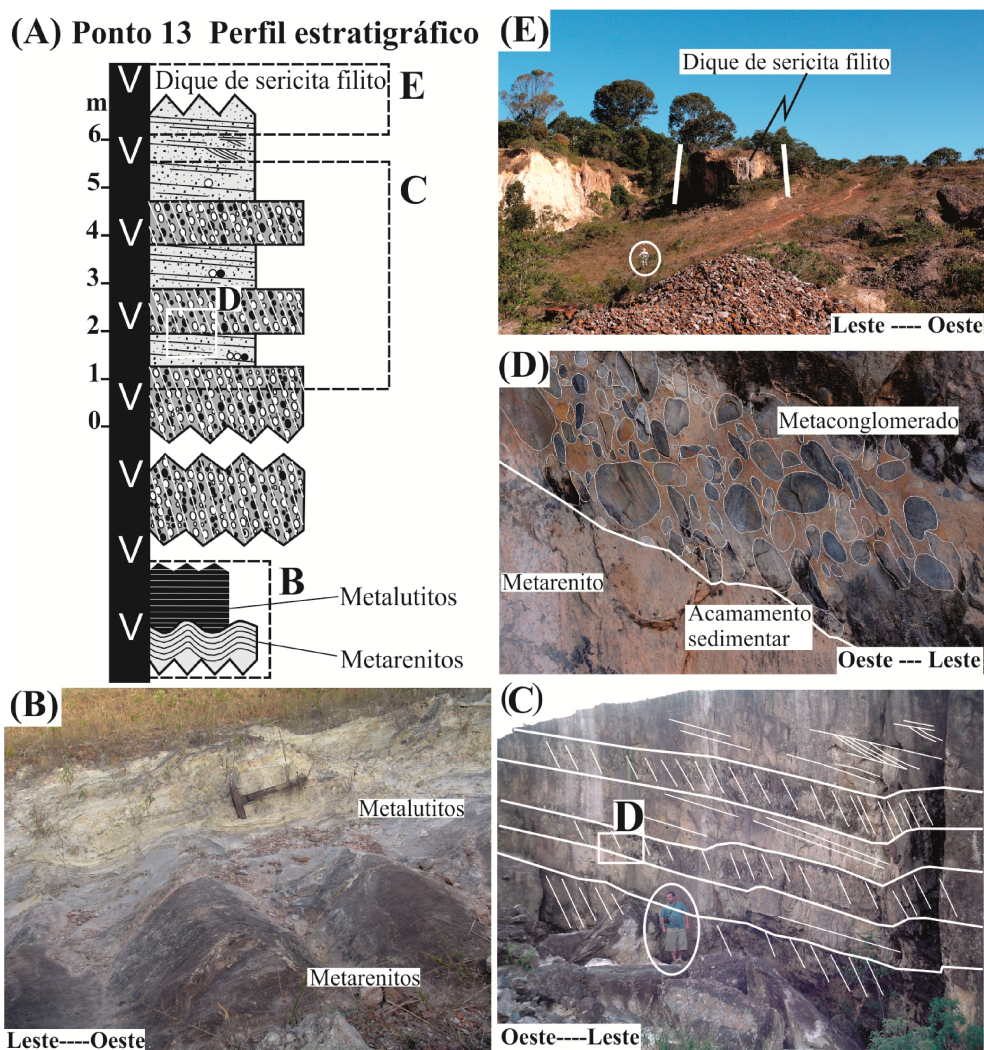


Figura 12 – (A) Perfil estratigráfico da Sequência Sopa-Brumadinho/Galho do Miguel, na área do distrito de Sopa, no ponto 13. (B) Fotografia de metarenitos com marcas de onda, recobertos por metalutitos. (C) Fotografia da intercalação de metarenitos e metaconglomerados. (D) As camadas de metaconglomerado apresentam estratificação interna íngreme, formada pela orientação preferencial de clastos. (E) Fotografia do dique de sericita filito.

mais leves, foram transportados além da frente do delta e então depositados na região do pró-delta, principalmente por processos de avalanches subaquáticas. Estratos cruzados nos metarenitos da base dos ciclos indicam que o transporte sedimentar localmente ocorreu por fluxos com turbulência, comuns em regiões de pró-delta. Clastos muito bem arredondados, presentes dentro dos metarenitos da base dos ciclos, podem indicar que estes, devido ao formato, rolaram além da frente deltaica e foram então depositados na região do pró-delta.

5. CONCLUSÕES

O mapeamento geológico e o estudo detalhado de campo das discordâncias e dos metaconglomerados basais possibilitou a elaboração da estratigrafia de sequências da sucessão proterozoica em Diamantina.

Foram identificadas cinco sequências, que em conjunto preencheram a bacia Espinhaço. A Sequência Rio Paraúna é a mais antiga. Seus depósitos recobrem em não conformidade os granitos do embasamento arqueano. Seu topo encontra-se erodido e separado pela discordância da base da Sequência Olaria. Sucedem-se as Sequências Natureza e São João da Chapada. Apresentam metaconglomerados basais de natureza aluvial. Registram períodos de tectonismo sin-sedimentar de natureza extensional. Através de falhas normais ocorreu a rotação de blocos de rochas, com o soerguimento da área fonte em sincronia com a subsidência do depocentro do *rift*. Este cenário paleogeográfico é comum em regiões com *rifts* assimétricos, constituídos por rampas inclinadas, que mergulham em direção à falha normal. Em Diamantina, a rampa tectônica mergulhava suave para leste e as falhas normais íngremes para oeste.

6. AGRADECIMENTOS

Este artigo é resultado direto da minha atividade de docência de mapeamento geológico, desde 1987, no Departamento de Geologia/IGC/UFMG. Devo agradecer aos alunos de diversas universidades deste país, que me acompanharam e tornaram possível a realização deste trabalho. Agradecimentos a dois revisores da Revista Geonomos, que muito contribuíram para melhorar a versão final deste manuscrito. Agradecimentos ao geólogo Robson Adriano Martins que incentivou a publicação dos dados de campo. Agradeço ainda ao Professor Claudinei Lourenço do Departamento de Geografia/IGC/UFMG pelas sugestões nos estágios iniciais de redação do manuscrito.

7. REFERÊNCIAS

- Almeida-Abreu P.A. 1989. Geologia das quadrículas de Onça e Cuibá (Gouveia, M.G.), região meridiana-central da Serra do Espinhaço meridional. Dissertação de Mestrado, Centro de Ciências da Matemática e da Natureza, UFRJ, 75 p.
- Brito-Neves B.B., Kawashita K., Cordani U.G. Delhal J. 1979. A evolução geocronológica da Cordilheira do Espinhaço, dados novos e integração. *Rev. Bras. Geoc.*, 9:1196-1230.
- Catuneanu O. 2006. *Principles of Sequence Stratigraphy*. Elsevier, London, 375 pp.
- Danderfer A. & Dardenne M.A. 2002. Tectonoestratigrafia da Bacia Espinhaço na porção centro-norte do Craton do São Francisco: registro de uma evolução polistórica descontínua. *Rev. Bras. Geoc.* 32(4):441-452.
- Danderfer A., De Waele B., Pedreira A.J., Nalini, A.H. 2009. New geochronological constraint on the geological evolution of the Espinhaço basin within the São Francisco Craton – Brazil. *Precambrian Research*, 170:116-128.
- Fogaça A.C.C., Almeida Abreu, P.A., Schorscher H.D. 1984. Estratigrafia da sequência supracrustal Arqueana na porção mediana central da Serra do Espinhaço, MG.G. In: SBG, Cong. Bras. Geol., 33, Anais, 2:2652-2667.
- Heward A.P. 1978. Alluvial fan sequence and megasequence models: with examples from Westphalian D-Stephanian B coalfields, northern Spain. In: A.D. Miall (Ed.), *Fluvial Sedimentology*. Mem. Can. Soc. Petrol. Geol., 5:669-702.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística 1986. Mapa Topográfico de Diamantina, MG, escala 1:100.000 (Folha SE-23-Z-A-III).
- Machado N., Schrank A., Abreu F.R., Knauer L.G., Almeida-Abreu P.A. 1989. Resultados preliminares da geocronologia U/Pb na Serra do Espinhaço meridional. In: SBG, Simp.Geol.Minas Gerais, 5, Atas, p.:171-174.
- Martins M., Karfunkel J., Noce C.M., Babinsk M., Pedrosa-Soares A.C., Sial A.N., Liu D. 2008. A sequência pré-glacial do Grupo Macaúbas na área-tipo e o registro da abertura do rift Araçuai. *Rev. Bras. Geoc.* 38(4):761-772.
- Martins-Neto M.A. 1998. O Supergrupo Espinhaço em Minas Gerais: registro de uma bacia rifte-sag do Paleó/Mesoproterozoico. *Rev. Bras. Geoc.* 28(2):151-168.
- Martins-Neto M.A. 1995. A evolução tectônica da Bacia do Espinhaço de Minas Gerais. In: SNET – Simp. Nac. Est. Tect., 5, Anais, p.:287-289.
- Miall A.D. 1978. Lithofacies types and vertical profile in braided river deposits: a summary. In: A.D. Miall (ed.), *Fluvial Sedimentology*. Mem. Can. Soc. Petrol. Geol., 5:597-604.
- Nemec W. & Postma G 1993. Quaternary alluvial fans in southwestern Crete: sedimentation processes and geomorphic evolution. In: M. Marzo, C. Puigdefábregas (eds.), *Alluvial Sedimentation*, Associação Internacional de Sedimentologistas, Publicação Especial 17:235-276.
- Pflug R. & Renger F. 1973. Estratigrafia e evolução geológica da margem SE do Cráton Sanfranciscano. In: SBG, Cong. Bras. Geol., 27, Anais, p.: 5-19.
- Pflug R. 1968. Observações sobre a estratigrafia da Série Minas na região de Diamantina, Minas Gerais. Rio de Janeiro, DNPM/Divisão Geologia e Mineração, Boletim 142, 20 p.
- Pflug R. 1967. Die Präkambrische Miogeosyncline der Espinhaço-Kordillere, Minas Gerais, Brasilien. *Geol. Rundsch.* 55:825-844.
- Pflug R. 1965. A geologia da parte meridional da Serra do Espinhaço e zonas adjacentes. Rio de Janeiro, DNPM/Divisão Geologia e Mineração, Boletim 226, 51 p.
- Posamentier H.W., Jervey M.T., Vail P.R. 1988. Eustatic controls on clastic deposition I – conceptual framework. In: C.K. Wilgus, B.S. Hastings, C.G. St.C. Kendall, H.W. Posamentier, C.A. Ross, J.C. Van Wagoner (eds.), *Sea-Level Changes-An Integrated Approach*. SEPM Spec. Publ., 42:109-124.
- Rust B.R. 1972. Pebble orientation in fluvial sediments. *Jour. Sedim. Petrol.*, 42(2):384-388.
- Rust B.R. & Koster E.H. 1984. Coarse alluvial deposits. In: R.G. Walker (ed.) *Facies Models*. Geological Association of Canada, Geosciences Canada Reprinted Series, p.:53-69.
- Schobbenhaus C. 1993. O Proterozoico Médio no Brasil com ênfase na região Centro-Leste: uma revisão. Tese de Doutorado, Univ. Freiburg, Freiburg, Alemanha, 166 p.
- Schöll W.Ü. 1980. Estratigrafia, sedimentologia e paleogeografia na região de Diamantina (Serra do Espinhaço, Minas Gerais, Brasil) Simpósio de Geologia e Paleontologia, Münster, Alemanha, Anais 5:223-240.
- Schöll W.Ü. & Fogaça A.C.C. 1979. Estratigrafia da Serra do Espinhaço na região de Diamantina (MG). *Soc. Bras. Geol. Boletim*, 1:55-71.
- Silva R.R. 2011. O sistema de cavalgamentos do tipo duplex neoproterozoico da Serra do Espinhaço, Minas Gerais. *Rev. Bras. Geoc.*, 41(2):157-169.
- Silva R.R. 2008. The structural framework of the southern Serra do Espinhaço in Minas Gerais, Brazil: an example of duplex thrust system. In: APG, Cong. Latino Americano de Geologia, 15, Lima, Peru, Resumos Expandidos, CD-Rom, G-14, 6p.
- Silva R.R. 1999. As bacias proterozoicas do Espinhaço e São Francisco: uma abordagem sob o ponto de vista da estratigrafia de sequências. *Geonomos*, 6(2):1-13.
- Silva R.R. 1995. Contribution to the stratigraphy and paleogeography of the lower Espinhaço Supergroup (Mesoproterozoic) between Diamantina and Gouveia, Minas Gerais State, Brazil. Tese de Doutorado, Univ. Freiburg, Freiburg, Alemanha 115 p.
- Silva R.R. 1994. Depositional sequences of the rift phase of the Proterozoic Espinhaço Supergroup, in the area between Diamantina and Gouveia, Minas Gerais, Brazil. In: IGS, Intern. Sediment. Congr., 14 Rio de Janeiro, Abstract, G:76.
- Silva R.R. 1993. Sequências estratigráficas da fase rift do Supergrupo Espinhaço, Diamantina, Minas Gerais. In: SBG, Simp. do Cráton do São Francisco, 2, Anais, p.:154-157.
- Twidale C.R. 1979. The character and interpretation of some pediment mantles. *Sedimentary Geology*, 22:1-20.