UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**A FORMAÇÃO SERRA DO APERTADO (EOCAMBRIANO, RS) E
SEU CONTEXTO TECTÔNICO NA EVOLUÇÃO DO *RIFT*
GUARITAS**

Lucas Padoan de Sá Godinho

Orientador: Prof. Dr. Renato Paes de Almeida

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica

SÃO PAULO

2012

(Versão corrigida)

RESUMO

O Supergrupo Camaquã constitui uma bacia sedimentar do tipo rifte, localizada na região centro-sul do estado do Rio Grande do Sul, Brasil, cuja deposição ocorreu entre o Ediacarano e o Eocambriano. Em sua unidade sedimentar mais recente, o Grupo Guaritas, que reúne depósitos fluviais, eólicos e de leques aluviais, foi descoberta recentemente uma nova Formação, denominada Serra do Apertado, que até então não possuía estudos detalhados de fácies e arquitetura deposicional. O início dos estudos a respeito do Grupo Guaritas remonta ao início do século XX, após a descoberta de ocorrências de cobre na região, no entanto são escassas na literatura as informações sobre proveniência sedimentar dessa unidade.

O presente estudo se empenhou em aplicar os métodos da análise de fácies e análise de elementos arquitetônicos nos depósitos da Formação Serra do Apertado e Pedra Pintada superior, a fim de interpretar o paleoambiente deposicional dessas unidades e estabelecer critérios descritivos de distinção para a primeira. Também foi aplicado o método da análise de proveniência macroscópica em depósitos conglomeráticos do Grupo Guaritas, a fim de estudar suas variações composicionais ao longo do tempo e do espaço. Verificou-se que na Formação Serra do Apertado ocorre apenas um tipo de elemento arquitetônico, denominado **EL** – *enchentes em lençóis*, que possui geometria tabular, espessura que varia entre 2 a 3 m, continuidade lateral de dezenas de metros e associações de fácies que indicam ciclos de aumento e diminuição de vazão, cujo ambiente de deposição foi interpretado como fluvial efêmero. A Formação Pedra Pintada superior apresenta os elementos **DB** – *dunas barcanóides*, e **IF** – *interdunas fluviais*, que ocorrem intercalados, ambos apresentando espessura de dezenas de metros e continuidade lateral de centenas de metros, sendo interpretados como ambiente de campos de dunas eólicas com interdunas.

A análise de proveniência mostrou que no Grupo Guaritas existem depósitos com áreas fonte distais, situadas a norte da bacia, que estão associados a um sistema fluvial longitudinal ao eixo maior da bacia, e depósitos com áreas fonte mais proximais, situadas principalmente a leste, que estão associados a sistemas fluviais transversais e de leques aluviais. A comparação dos dados de composição dos seixos entre as unidades do Grupo Guaritas mostrou que, da base para o topo da sucessão, o sistema fluvial transversal da borda leste da bacia passa de áreas fonte mais distais para mais proximais, caracterizando uma diminuição da área de captação dos rios sentido a jusante, o que foi interpretado como uma reativação da falha de borda ao tempo da deposição das Formações Varzinha e Pedra Pintada. Ao longo da estratigrafia da Formação Serra do Apertado o conjunto de seixos quartzosos varia de forma inversamente proporcional ao conjunto de seixos não quartzosos. Como não foi verificado um controle da distância da área fonte nesse tipo de variação, e como o principal fator que a comanda é a composição dos seixos, foi interpretado que isso se

deve a variações climáticas, onde climas mais áridos correspondem ao predomínio de seixos não quartzosos nos depósitos, e climas mais úmidos ao predomínio de seixos quartzosos.

Palavras-chave: Grupo Guaritas, Formação Serra do Apertado, Formação Pedra Pintada, análise de fácies, elementos arquitetônicos, proveniência sedimentar.

ABSTRACT

The Camaquã Supergroup constitutes a rift stile sedimentary basin, located in the central-south region of Rio Grande do Sul state, Brazil, which deposition occurred between the Ediacaran and the Eocambrian. In its younger unit, the Guaritas Group, composed of fluvial, eolian and aluvial fan deposits, a new Formation was recently discovered, named Serra do Apertado, which until then hadn't detailed studies about facies analyses and architectural elements. The initial studies about the Guaritas Group go back to the beginning of the 20th century, after the discovery of copper occurrences in that region, but references about sedimentary provenance of this unit are scarce in the literature.

The present study was engaged on applying the facies and architectural elements analysis methods in the Serra do Apertado and superior Pedra Pintada Formations, in order to interpret the depositional palaeoenvironment of those units and establish descriptive distinction criteria to the first one. The method of macroscopic provenance analysis was also applied in conglomeratic deposits of the Guaritas Group, in order to study its compositional variations through time and space. Was verified that in the Serra do Apertado Formation occurs only one type of architectural element, named **EL** – *sheet floods*, which have tabular geometry, thickness varying between 2 and 3 m, lateral continuity of dozens of meters and facies associations that indicates cycles of raising and waning flow, which depositional environment was interpreted as efemeral rivers. The superior Pedra Pintada Formation presents the elements **DB** – *barcanoid dunes*, and **IF** – *fluvial interdunes*, that occurs intercalated, both presenting thickness of dozens of meters and lateral continuity of hundreds of meters, being interpreted as aeolian dune fields with interdunes.

The provenance analysis shown that in the Guaritas Group exists deposits with distal source areas to the north of the basin, that are associated with a fluvial system parallel to the longest basin axis, and deposits with more proximal sources mainly to the east, that are associated with transversal fluvial systems and aluvial fans. The comparison of pebble compositional data between the Guaritas Group units shown that, from the base to the top of the succession, the basin's east border transversal fluvial system passes from more distal source areas to more proximal, characterizing a downstream diminution on the river's catchment area, that was interpreted as a reactivation of the border fault by the time of the deposition of the Varzinha and Pedra Pintada Formations. Along the stratigraphy of the Serra do Apertado Formation, the group of quartzose pebbles varies in an inversely proportional way in relation to the non quartzose pebble group. As it wasn't verified a source area distance control in this kind of variation, and as the main factor that commands it is the pebble's composition, it was interpreted that this is due to climatic variations, where more arid climates correspond to

the prevalence of non quartzose pebbles in the deposits, and more humid climates to the prevalence of quartzose pebbles.

Key-words: Guaritas Group, Serra do Apertado Formation, Pedra Pintada Formation, facies analysis, architectural elements, sedimentary provenance.

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente aos meus pais e à minha família, pelo apoio e carinho durante toda a evolução deste trabalho. Ao professor Dr. Renato Paes de Almeida presto meus sinceros agradecimentos, por todos os ensinamentos, orientação atenciosa, paciência e conselhos que me ajudaram e foram fundamentais para a realização deste trabalho.

A todos os meus companheiros de campo muito obrigado pela ajuda e apoio, em especial aos geólogos Maurício Guerreiro Martinho dos Santos e André Marconato que contribuíram muito para a realização desta dissertação, não somente em campo, mas também através das discussões, ensinamentos e opiniões.

Aos meus companheiros de sala, Nicolás Misailidis Strikis, Bruno Lagler, Marcos Saito de Paula e Stephano Pessini Alberto da Silva, obrigado pelo apoio e amizade que sempre ajudaram a tornar o trabalho do dia-a-dia mais agradável. Agradeço também ao biólogo Pedro Strikis pelos auxílios com *softwares* de tratamento estatístico de dados.

Gostaria de agradecer à minha namorada, Carla Hachul Burattini, e aos amigos que me apoiaram durante todo o tempo, em especial os ex- e atuais moradores e frequentadores da república Astenosfera. Agradeço ao meu irmão Caio, pelo incentivo à leitura a cerca da filosofia da ciência, que ajudou muito durante a redação desta dissertação e na construção lógica das interpretações.

Agradeço a todos os professores que ministraram as disciplinas da pós-graduação que cursei, em especial o professor Dr. André Oliveira Sawakushi, cujas aulas ajudaram a esclarecer muitas questões a respeito do método estatístico.

Agradeço também aos funcionários da biblioteca, seção de apoio acadêmico, pós-graduação e gráfica pela ajuda e esclarecimentos.

À Dona Maria, das Minas do Camaquã, ao Seu Lauro, da Serra do Apertado e ao pessoal da Associação dos Moradores das Guaritas, agradeço pela imensa hospitalidade e carinho que foram muito importantes durante os trabalhos de campo.

Agradeço também aos amigos e Bruno Daniel Lenhare e Nicolás Misailidis Strikis pela confiança e apoio com as indicações para trabalhos, que me ajudaram muito financeiramente durante a etapa de conclusão desta dissertação.

Agradeço finalmente à FAPESP (processos 2009/53362-1, 2010/51103-6 e 2010/50902-2) e ao CNPq (processo 305218/2009-3) pelo apoio na forma de financiamento e bolsas.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
2. GEOLOGIA REGIONAL	3
2.1 Província Mantiqueira	3
2.2 Supergrupo Camaquã	5
2.2.1 <i>Síntese sobre o Grupo Guaritas</i>	7
3. MÉTODOS	10
3.1 Análise de fácies	10
3.2 Análise de elementos arquitetônicos	10
3.3 Análise de proveniência macroscópica	11
3.4 Análise estatística dos dados de proveniência	12
4. FÁCIES SEDIMENTARES E ELEMENTOS ARQUITETÔNICOS	13
5. ANÁLISE DE PROVENIÊNCIA SEDIMENTAR	14
6. DISCUSSÃO	15
7. CONCLUSÕES	17
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	19
ANEXOS	25
ANEXO 1	26
INTRODUÇÃO	28
MÉTODOS	30
CONTEXTO GEOLÓGICO	31
EVOLUÇÃO DAS PROPOSTAS DE NOMENCLATURA	34
ESTRATIGRÁFICA PARA O GRUPO GUARITAS	
Formação Guarda Velha	34
Formação Varzinha	36
Formação Pedra das Torrinhas	37
Formação Pedra Pintada	37
Formação Serra do Apertado	39
FÁCIES SEDIMENTARES	43
ELEMENTOS ARQUITETÔNICOS	47
Formação Serra do Apertado	47
Formação Pedra Pintada superior	52
SUPERFÍCIE LIMITANTE REGIONAL	56
DISCUSSÃO E CONCLUSÕES	57
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
ANEXO 2	65
INTRODUÇÃO	67
MÉTODOS	68
Análise de proveniência macroscópica	68
Análise estatística dos dados de proveniência	68
GEOLOGIA REGIONAL	70
O Cinturão Dom Feliciano	72
O Cinturão Ribeira no Rio Grande do Sul	74
TRABALHOS ANTERIORES SOBRE A PROVENIÊNCIA	75
SEDIMENTAR DO GRUPO GUARITAS	
ANÁLISE DE PROVENIÊNCIA	79

Formação Guarda Velha	80
Formação Varzinha	87
Formação Pedra Pintada	88
Formação Pedra das Torrinhas	89
Formação Serra do Apertado	89
Comparação da proveniência entre as unidades do Grupo Guaritas	95
PALEOGEOGRAFIA E PALEOCLIMA	99
CONCLUSÕES	104
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo	2
Figura 2: Mapa geológico da Bacia do Camaquã e entornos.	6
 ANEXO 1	
Figura 1: Mapa geológico esquemático do Grupo Guaritas e áreas vizinhas.	33
Figura 2: Carta estratigráfica do Grupo Guaritas	34
Figura 3: Colunas estratigráficas da Formação Serra do Apertado.	40
Figura 4: Coluna estratigráfica mostrando a Formação Pedra Pintada superior e seu contato com a Formação Serra do Apertado.	41
Figura 5: Foto da seção tipo da Formação Serra do Apertado	42
Figura 6: Arenito arcósio conglomerático	42
Figura 7: Exemplos das fácies descritas.	46
Figura 8: Elemento arquitetônico EL em afloramento da Formação Serra do Apertado em sua seção tipo	49
Figura 9: Elemento arquitetônico EL em afloramento da Formação Serra do Apertado (coordenadas UTM E0283453 e N6589070)	50
Figura 10: Elemento arquitetônico EL em afloramento da Formação Serra do Apertado (coordenadas UTM E0277301 e N6585047).	51
Figura 11: Elemento arquitetônico DB em afloramento da Formação Pedra Pintada superior.	54
Figura 12: Elementos arquitetônicos DB e IF em afloramento da Formação Pedra Pintada superior.	55
 ANEXO 2	
Figura 1: Mapa geológico da Bacia do Camaquã e áreas adjacentes.	71
Figura 2: Carta estratigráfica do Grupo Guaritas	72
Figura 3: Mapa de localização dos pontos de amostragem dos dados para análise de proveniência macroscópica.	81
Figura 4: Tabela de porcentagem das classes de seixos destacando as proporções relativas entre cada ponto de amostragem.	83
Figura 5: Gráficos da análise por principais componentes dos dados composicionais de seixos da Formação Guarda Velha.	85
Figura 6: Gráficos da análise por principais componentes dos dados composicionais de seixos da Formação Serra do Apertado.	91
Figura 7: Mapa da distribuição das paleocorrentes da Formação Serra do Apertado.	92
Figura 8: Mapa de pontos da seção geológica A – A´.	93
Figura 9: Seção geológica A – A´ e gráfico de porcentagem de seixos por sítios de amostragem na Formação Serra do Apertado.	94
Figura 10: Gráficos de da análise por principais componentes dos dados composicionais de seixos de todo o Grupo Guaritas.	96
Figura 11: Modelo de evolução paleogeográfica da borda leste da bacia do Grupo Guaritas.	101

ÍNDICE DE TABELAS

ANEXO 2

Tabela 1: Tabela de porcentagem das classes de seixos presentes em cada ponto de amostragem.

82

ANEXOS

- ANEXO 1:** Artigo – GODINHO, L. P. S.; ALMEIDA, R. P.; SANTOS, M. G. M.; MARCONATO, A.; FRAGOSO-CESAR, A. R. S. Fácies Sedimentares e Elementos Arquitetônicos das Formações Serra do Apertado e Pedra Pintada na Região das Minas do Camaquã – RS. 26
- ANEXO 2:** Artigo – GODINHO, L. P. S.; ALMEIDA, R. P.; MARCONATO, A.; SANTOS, M. G. M.; FRAGOSO-CESAR, A. R. S. Análise de proveniência em arenitos conglomeráticos do Grupo Guaritas (RS) e suas implicações para o paleoclima e a paleogeografia da sub-bacia Camaquã Central no Eocambriano. 65

1. INTRODUÇÃO

Dentre os diversos processos que comandam a sedimentação, muitos são regidos pelas variações climáticas e tectônicas de um determinado ambiente, o que torna as rochas sedimentares importantes registros de eventos passados dessa natureza (Reading e Level, 1986). Para que se possam interpretar esses registros é importante conhecer tanto a dinâmica dos processos inerentes a cada tipo de sistema deposicional como também o contexto geológico no qual se insere uma bacia sedimentar. Os estudos detalhados das fácies sedimentares, associações de fácies, elementos arquitetônicos e proveniência sedimentar são importantes ferramentas que podem auxiliar na interpretação dos paleoambientes deposicionais e suas relações com os agentes controladores dos processos sedimentares, como tectônica e clima (e.g. Walker e James, 1992; Miall, 1996; Reading e Level, 1986; Graham *et al.*, 1986; Dürr, 1996; Jones, 2000).

A área do presente estudo está inserida no Supergrupo Camaquã, uma unidade sedimentar na região centro-sul do estado do Rio Grande do Sul, formada em ambiente tectônico do tipo *rift* e com idade entre o Ediacarano e o Eocambriano (Fragoso-Cesar *et al.*, 2000; Almeida *et al.*, 2009). O Grupo Guaritas é a unidade mais recente dentro do Supergrupo Camaquã e constitui o objeto principal do presente estudo, sendo composto por rochas sedimentares continentais (Ribeiro *et al.*, 1966; Robertson, 1966), pouco afetadas por metamorfismo, interpretadas como de ambientes aluviais, lacustres e eólicos (Paim, 1994; Almeida, 2005).

A estratigrafia do Grupo Guaritas ainda é uma questão controversa entre diversos autores que a estudaram (e.g. Fambrini, 1998). Recentemente foi descoberta uma nova unidade interna ao Grupo Guaritas, denominada Formação Serra do Apertado (*sensu* Almeida, 2005), que constitui o topo da sucessão da bacia. No entanto não foram realizados estudos detalhados de fácies e até então essa unidade era considerada muito semelhante aos depósitos da Formação Guarda Velha, por sua vez situada na base da sucessão, gerando novas dúvidas a respeito do empilhamento estratigráfico.

Estudos acerca da proveniência sedimentar são escassos na literatura referente ao Grupo Guaritas, sendo esse um campo fértil para novas descobertas acerca da tectônica e clima durante a evolução de sua bacia sedimentar.

Dentre os principais objetivos desta pesquisa estão:

1 – Caracterizar os depósitos e o paleoambiente de formação da unidade mais recente do Grupo Guaritas, denominada Formação Serra do Apertado, através das análises de fácies, paleocorrentes e de elementos arquitetônicos;

2 – Testar a hipótese preliminar de que as Formações Guarda Velha e Serra do Apertado podem ser diferenciadas, através dos métodos da análise de fácies, análise de elementos arquitetônicos e análise de proveniência sedimentar;

3 – Realizar estudos de proveniência sedimentar a fim de comparar as características composicionais das unidades do Grupo Guaritas, tanto em suas variações verticais como laterais.

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo, na região centro sul do estado do Rio Grande do Sul, próximo à vila das Minas do Camaquã.

2. GEOLOGIA REGIONAL

Será apresentada nesta seção uma breve revisão de trabalhos sobre o contexto geológico regional no qual se insere a Bacia do Camaquã, situada no estado do Rio Grande do Sul, assim como da estratigrafia, do paleoclima e da evolução tectônica de sua unidade mais jovem e estratigraficamente superior, o Grupo Guaritas, que constitui o objeto da presente dissertação. Para as revisões bibliográficas mais detalhadas acerca da geologia local, consultar os Anexos 1 e 2.

2.1 Província Mantiqueira

A Província Mantiqueira se estende desde o sul do estado da Bahia até o Rio Grande do Sul e Uruguai, constituindo uma faixa de dobramentos contínua de idade meso- a neo-proterozoica (Almeida; Hasui, 1984). Ela é constituída por faixas de dobramentos supracrustais brasileiros, núcleos cratônicos, maciços gnáissicos e migmatíticos e intrusões graníticas sin- a pós-orogênicas.

Na Província Mantiqueira ocorrem bacias sedimentares com depósitos clásticos e idade entre o Neoproterozoico tardio e o Eopaleozóico, que apresentam rochas vulcânicas andesíticas e riolíticas (Hasui *et al.*, 1975; Jost; Hartman, 1984). Essas bacias se caracterizam por apresentar uma área geográfica pequena e uma espessura de preenchimento deposicional muito grande. Dentre elas, pode-se citar alguns exemplos como as Bacias de: Castro, Camarinha, Guaratubinha, Campo Alegre, Corupá, Itajaí, Camaquã, Barriga Negra, Piriápolis, San Carlos e Cerros de Aguirre (Almeida *et al.*, 2009).

Originalmente a Província Mantiqueira foi subdividida por Hasui *et al.* (1975) em dois setores, setentrional, desde o sul do estado da Bahia até o Rio de Janeiro, e meridional, desde o sul do estado de São Paulo até o Uruguai, ambos conectados por uma grande zona de estrutura complexa, entre as regiões leste de São Paulo e Rio de Janeiro, onde foram reconhecidas diversas falhas com deslocamento transcorrente dextral, como as falhas Taxaquara, Caucaia, Jundiuvira, Itu, Cubatão, Freires e Pirai, entre outras.

O setor Meridional da Província Mantiqueira abrange as regiões entre os estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul e possui uma compartimentação estrutural mais complexa que o setor Setentrional, além de apresentar porções recobertas por depósitos paleozóicos da Bacia do Paraná. De acordo com Hasui *et al.* (1975) o Cinturão Ribeira no setor Meridional é subdividido em Sistema de Dobramentos Apiaí, Maciço Mediano Joinvile, Sistema de Dobramentos Tijucas, Maciço Mediano Pelotas e Sistema de Dobramentos do Leste do Uruguai.

Ribeiro e Fantinel (1978), que realizaram um dos trabalhos pioneiros nas tentativas de subdivisão do embasamento do Rio Grande do Sul, reconheceram três principais associações petrotectônicas, as Zonas Leste e Oeste, caracterizadas por faixas de dobramentos distintas, e a Zona Central, constituída por espessos depósitos sedimentares molássicos, naquela época definidos como Formação Guaritas, na região de Caçapava do Sul.

Segundo Fragoso-Cesar (1991) o Escudo Gaúcho, referindo-se ao escudo que aflora no RS e Uruguai, possui duas faixas móveis distintas, que se dispõem paralelamente e se orientam segundo a direção NE-SW, sendo elas o Cinturão Ribeira, a oeste, e o Cinturão Dom Feliciano, a leste. Entre as duas faixas móveis ocorrem rochas de idade pré-brasiliana que, em parte, constituem o Cráton Rio de La Plata, sendo divididas nos blocos Florida e Luis Alves, que correspondem a núcleos mais antigos e pouco afetados pelo ciclo Brasileiro, e Taquarembó e São Gabriel, que por sua vez apresentam influências mais fortes da instalação do Cinturão Ribeira.

Fragoso-Cesar (1991) propõe que as orogêneses dos Cinturões Ribeira e Dom Feliciano deram-se pelo fechamento de dois oceanos distintos, adjacentes ao paleocontinente Rio de La Plata, durante a orogenia Brasileira/ Pan-Africana. O Oceano Charrua, a oeste, esteve relacionado com a formação do Cinturão Ribeira, enquanto o Oceano Adamastor, a leste, com o Cinturão Dom Feliciano. As Bacias Camaquã (RS), Itajaí (SC) e Barriga Negra (Uruguai) seriam antefossas do Cinturão Dom Feliciano, preenchidas por depósitos molássicos.

Com o desenvolvimento de novas pesquisas, tendo como foco os depósitos sedimentares da Bacia do Camaquã, e utilização de métodos como análise de proveniência, análise de estruturas rúpteis e relações de contato com rochas do

embasamento, Fragoso-Cesar *et al.* (2003) elaboram um novo modelo para o ambiente tectônico de deposição dessa bacia, no qual movimentos distensivos seriam os principais atuantes na sua formação. Propõe então que a Bacia do Camaquã constitui um sistema de rift anorogênico, de direção NNE-SSW e idade entre o Neoproterozoico tardio e o Eopaleozóico.

Uma revisão detalhada sobre a evolução do conhecimento no Escudo Gaúcho está contida em Fambrini (1998).

2.2 Supergrupo Camaquã

As primeiras pesquisas no Supergrupo Camaquã foram direcionadas pelo interesse em ocorrências de cobre, descobertas ao final do séc. XIX, quando foram realizados os primeiros trabalhos que caracterizaram a geologia das folhas Caçapava e Lavras em escala regional. Durante o início até meados do séc. XX, essas ocorrências passaram a ser exploradas como jazidas, a exemplo da Mina do Seival, explorada até o seu esgotamento, e das Minas do Camaquã, que constitui a maior ocorrência de cobre da região, encontrando-se atualmente desativadas (Robertson, 1966; Ribeiro *et al.*, 1966).

Segundo Almeida *et al.* (2009) o Supergrupo Camaquã é a unidade estratigráfica que compreende todos os depósitos da Bacia do Camaquã, que caracteriza-se como uma bacia do tipo *rift*, localizada na região centro-sul do estado do Rio Grande do Sul, com área aflorante de 3.200 km² (Figura 1). Os depósitos da bacia possuem mais de 10.000 m de espessura e podem apresentar deformações, como dobras e falhas, mas sempre preservam plenamente suas estruturas sedimentares. A idade de sua deposição está situada entre o Ediacarano e o Eocambriano.

A Bacia do Camaquã possui formato alongado, com eixo maior orientado segundo NNE-SSW, que coincide com a orientação das zonas de falhas que delimitam os seus flancos, e é dividida em três sub-bacias: Camaquã Ocidental, Camaquã Central e Camaquã Oriental. O limite entre as sub-bacias é dado pelos altos estruturais de Caçapava do Sul, situado a oeste da sub-bacia Camaquã Central, e da Serra das Encantadas, a leste da mesma (Almeida, 2005).

O Grupo Maricá é a unidade basal do Supergrupo Camaquã, sobrepondo as rochas metamórficas do embasamento, pertencentes ao Grupo Porongos. Apresenta arenitos feldspáticos com seixos e estratificação cruzada, interpretados como de ambiente fluvial, e arenito fino, folhelho e siltito, interpretados como ambiente de mar raso continental (Robertson, 1966; Fragoso-Cesar *et al.*, 2000).

O Grupo Bom Jardim possui depósitos siliciclásticos com diferentes fácies de ambiente lacustre e aluvial, intercalados com rochas vulcânicas e vulcanoclásticas datadas entre aproximadamente 595 e 580 Ma (Janikian *et al.*, 2008). A Formação Acampamento Velho é constituída apenas por rochas vulcânicas e vulcanoclásticas, ácidas e básicas, de ambiente subaéreo, datada pelo método U-Pb em zircão, extraído de riolito, em 573 ± 18 Ma (Janikian *et al.*, 2008).

O Grupo Santa Bárbara é composto por ritmitos, com intercalação de arenitos finos a médios e siltitos, e pacotes de conglomerados e arenitos. As rochas dessa unidade apresentam ângulos de mergulho acentuados, devido a basculamento tectônico. São interpretados como depósitos de leques aluviais e planícies aluviais (*e.g.* Almeida, 2005), com interpretações alternativas de sistemas costeiros localizados (*e.g.* Fambrini *et al.*, 2005).

O Grupo Guaritas, como já foi citado anteriormente, é o objeto do presente estudo e sua descrição e síntese serão detalhadas no subitem 2.2.1, a seguir, e nos Anexos 1 e 2.

2.2.1 Síntese sobre o Grupo Guaritas

O Grupo Guaritas é a unidade de topo do Supergrupo Camaquã, ocorrendo sobreposto aos depósitos do Grupo Santa Bárbara, e é composto por arenitos conglomeráticos e ritmitos psamo-pelíticos de depósitos aluviais e arenitos finos a médios com estratificação cruzada de grande porte atribuídos a depósitos eólicos. Os arenitos são predominantes no Grupo Guaritas, representando cerca de 80% dos depósitos dessa unidade, e são classificados como arcósios e arcósios líticos, ambos de caráter imaturo (Paim, 1995; Almeida *et al.*, 2009).

O Grupo Guaritas aflora em uma área de aproximadamente 150 km por 50 km, possuindo forma alongada e eixo principal orientado segundo NNE-SSW. Sua espessura

é de aproximadamente 1.500 m (Almeida *et al.*, 2009). É delimitado em sua borda leste pela zona de falhas da Serra das Encantadas e em sua borda oeste pela zona de falhas do Alto Estrutural de Caçapava do Sul, onde se localiza a serra homônima. Seus limites atuais preservam, de maneira aproximada, a geometria das ombreiras da bacia tipo *rift* (Almeida, 2005).

O contato entre a base do Grupo Guaritas e o Grupo Santa Bárbara sotoposto é marcado por uma discordância angular, que indica o fim de um ciclo de subsidência da bacia, seguido de exposição subaérea e início de uma nova fase de subsidência. Dessa forma, a evolução do Grupo Guaritas é caracterizada por um último ciclo de subsidência dentro do Supergrupo Camaquã, marcado por uma tectônica distensional que gerou um rifteamento perene (Fragoso-Cesar *et al.*, 2003; Almeida *et al.*, 2009).

As deformações que afetam as rochas do Grupo Guaritas, ao contrário do que ocorre com sua unidade sotoposta e intensamente basculada, o Grupo Santa Bárbara, ocorrem de forma sutil, como ondulações abertas de baixa amplitude que se estendem por alguns quilômetros, mas ocorrem importantes zonas de falhamentos com expressivo rejeito vertical, como a Falha Tapera-Emiliano (Almeida, 2005).

De Ros, Morad e Paim (1994) caracterizam as condições paleoclimáticas para o Grupo Guaritas como semi-áridas de ambiente continental, com base no estudo da paragénese de minerais diagenéticos nos arenitos.

Desde o primeiro trabalho onde consta a descrição das rochas do Grupo Guaritas, realizado por Robertson (1966), que naquele tempo utilizou a denominação de Formação Guaritas, diversas propostas distintas para a estratigrafia dessa unidade foram realizadas. Segundo Paim (1994) e Almeida (2005) essa não concordância entre diferentes autores sobre a estratigrafia do Grupo Guaritas deve-se, principalmente, a: (i) fácies muito semelhantes que se repetem tanto verticalmente como lateralmente, (ii) presença de diversas zonas de falhas que, por vezes, justapõe fácies semelhantes de níveis estratigráficos distintos, (iii) ausência de registros fósseis na bacia e (iv) mapeamentos realizados em áreas e escalas diferentes.

Paim (1994) propõe uma subdivisão aloestratigráfica para a Bacia do Camaquã em detrimento das subdivisões litoestratigráficas propostas anteriormente e cunha o termo Alogrupo Guaritas. Essa subdivisão tem como base a identificação de superfícies

limitantes por inconformidades que marcam hiatos na deposição. Posteriormente Almeida (2005) faz uma nova revisão da estratigrafia do Grupo Guaritas com base em um mapeamento de escala detalhada, reconhecendo zonas de falhas e superfícies de inconformidade. Segundo Almeida (2005) e Almeida *et al.*, (2009) o Grupo Guaritas é subdividido em cinco unidades, sendo elas, da mais antiga para a mais nova, as formações: Guarda Velha (depósitos aluviais efêmeros), Varzinha (depósitos flúvio-lacustres efêmeros), Pedra Pintada (depósitos eólicos com influência de interdunas), Pedra das Torrinhas (leques aluviais) e Serra do Apertado (depósitos aluviais efêmeros).

No Grupo Guaritas também há registros de um magmatismo alcalino básico a intermediário, denominado Suíte Intrusiva Rodeio Velho, que se encontra encaixado nas Formações Varzinha e Pedra Pintada. Sua datação pelo método ^{40}Ar - ^{39}Ar apresenta idade de $535,2 \pm 1,1$ Ma e também é utilizada como idade dos depósitos encaixantes, por indícios de que o sedimento esteve inconsolidado durante o evento intrusivo (Lopes *et al.*, 1999; Almeida, 2005).

3. MÉTODOS

3.1 Análise de fácies

Através da análise de fácies é possível descrever um determinado depósito sedimentar e levantar interpretações acerca dos processos e ambiente no qual ele se originou. A metodologia utilizada se baseia nas propostas apresentadas por Reading (1986), Walker (1992) e Miall (2000).

Uma fácies sedimentar constitui um corpo de rocha com características litológicas e fossilíferas próprias que a distinguem, como granulometria, estruturas sedimentares, acamamento, fósseis e composição mineral. Cada fácies representa um evento de deposição particular, mas, se analisada individualmente, pode gerar interpretações ambíguas quanto ao paleoambiente. Um conjunto de fácies vizinhas, que supostamente ocorrem em um mesmo ambiente sedimentar e estão relacionadas geneticamente, podem ser agrupadas em uma *associação de fácies*, permitindo assim analisar um contexto maior e realizar interpretações mais seguras (Reading, 1986; Walker, 1992; Miall, 2000).

Um modelo de fácies nada mais é do que uma síntese sobre um tipo de ambiente deposicional, realizada a partir da comparação entre depósitos recentes e antigos, embasada em diversos exemplos de locais distintos, que busca compreender os processos que determinam suas sucessões de fácies e geometria (Walker, 1992).

3.2 Análise de elementos arquitetônicos

Elementos arquitetônicos são associações de fácies com geometrias internas e externas, litotipos, superfícies limitantes e padrões de paleocorrente bem definidos e que possuem escala maior que uma fácies individual e menor que um preenchimento de canal (Miall, 1985, 1996, 2000).

Uma das maiores inovações que esse método trouxe, comparado com os tradicionais levantamentos de colunas estratigráficas, é a possibilidade de visualizar a geometria e superfícies limitantes dos depósitos em duas ou três dimensões, expandindo

o leque de informações que podem ser extraídas para a interpretação de um determinado tipo de ambiente deposicional (Miall, 1985; 1996).

O método se baseia em construir mapas da arquitetura dos depósitos a partir de seções verticais que exponham as variações laterais, tanto da geometria como das fácies, atitudes das camadas e paleocorrente. Isso pode ser feito no campo tanto através de desenhos como fotomosaicos (Miall, 1996).

3.3 Análise de proveniência macroscópica

A análise de proveniência no estudo de rochas sedimentares é utilizada para reconstituir a composição da rocha parental que serviu como fonte para o sedimento (Weltje e Eynatten, 2004). Esse método vem sendo muito utilizado a fim de estudar o comportamento tectônico das áreas fonte, assim como características climáticas e geomorfológicas, constituindo uma importante ferramenta na reconstituição de paleoambientes deposicionais (e.g. Graham *et al.*, 1986; Dürr, 1996; Jones, 2000; Marconato, 2010).

No presente estudo, a análise de proveniência macroscópica foi realizada através da contagem de seixos em arenitos conglomeráticos, abundantes na área de estudo. A metodologia utilizada baseia-se nas propostas de Dürr (1994) e Marconato (2010).

Para cada sítio de observação foram contados todos os clastos maiores que 0,5 cm, como seixos, calhaus e matacões, contidos em uma ou mais áreas retangulares, totalizando aproximadamente 300 seixos. Apesar da proposta original de Dürr (1994) sugerir que a contribuição de cada litotipo para o depósito seja expressa em grandeza de volume, no presente estudo essa variável foi expressa em grandeza de área, pois os afloramentos não permitem uma exposição tridimensional dos seixos nem sua retirada para medição. Segundo Marconato (2010), a estimativa da contribuição dos litotipos em área, similarmente à estimativa por volume, minimiza os possíveis erros advindos da simples contagem de frequência, que por sua vez não considera a relação entre o tamanho do clasto e o litotipo que representa. A estimativa por área pode ser feita atribuindo-se um parâmetro de forma para o seixo e medindo-se seus eixos maior e menor (Marconato, 2010).

3.4 Análise estatística dos dados de proveniência

Os dados de composição de seixos foram tratados através da análise estatística multivariada, pois esta permite facilitar a interpretação acerca dos dados quando há uma grande quantidade de variáveis atribuídas a cada unidade de observação (Davis, 1986). Os dados foram tratados como composicionais, ou seja, todas as variáveis de uma mesma unidade de observação estão inter-relacionadas e a variação em uma delas acarreta obrigatoriamente na variação das demais, sendo que a soma de todas elas é uma dada constante, como por exemplo 100, se forem expressas em porcentagem, ou 1, se forem expressas como partes por unidade (Pawlowsky-Glahn e Egozcue, 2006).

Uma vez que os dados composicionais não podem ser diretamente tratados através de métodos estatísticos convencionais, devido à suas propriedades intrínsecas, utilizou-se a transformação logarítmica (Aitchison, 1986 *apud* Pawlowsky-Glahn e Egozcue, 2006) a fim de representá-los como dados independentes de vetores e que podem ser aplicados à análise multivariada de dados. A técnica de transformação adotada foi a razão logarítmica centrada (clr) por se aplicar melhor à análise multivariada de dados (Pawlowsky-Glahn e Egozcue, 2006). Anteriormente ao procedimento de transformação logarítmica acima mencionado, os valores iguais a zero, que representam litotipos que possivelmente não ocorrem na unidade de observação ou não foram detectados pelo método de amostragem utilizado, foram substituídos pelos valores do mínimo erro amostral relacionado à sua ocorrência, segundo o método introduzido por Marconato (2010).

4. FÁCIES SEDIMENTARES E ELEMENTOS ARQUITETÔNICOS

Os resultados da presente dissertação referentes aos estudos de análise de fácies e análise de elementos arquitetônicos, nos depósitos das Formações Pedra Pintada superior e Serra do Apertado, encontram-se no texto do Anexo 1.

5. ANÁLISE DE PROVENIÊNCIA SEDIMENTAR

Os resultados da presente dissertação referentes à análise de proveniência sedimentar e tratamentos estatísticos dos dados composicionais, nas unidades internas do Grupo Guaritas, encontram-se no texto do Anexo 2.

6. DISCUSSÃO

Os estudos levados pela presente dissertação mostram que, ao longo da estratigrafia da Formação Serra do Apertado, a variação na composição dos seixos está correlacionada, em alguns casos, com a variação na arquitetura dos seus depósitos.

Foi demonstrado no Capítulo 4 que a Formação Serra do Apertado, na região da serra homônima, apresenta apenas um tipo de elemento arquitetônico denominado **EL** – *enchentes em lençol*, cujas características principais como espessura, geometria e associações de fácies variam pouco, porém com algumas diferenças na frequência dos ciclos de aumento e diminuição de vazão. Os fotomosaicos das Figuras 8 e 10 (Anexo 1), que ocorrem em áreas próximas, mostram uma menor quantidade de superfícies de 2ª ordem (*sensu* Miall, 1996) do que no fotomosaico da Figura 9 (Anexo 1), onde a abundância dessas superfícies evidencia uma maior frequência nos ciclos de aumento e diminuição de vazão.

No Capítulo 5 foi demonstrado que, ao longo da estratigrafia da Formação Serra do Apertado, ocorre uma variação na composição dos seixos e que há uma forte correlação entre a variação do grupo de seixos quartzosos, como quartzo de veio e quartzo milonito, e não quartzosos, como granitos, riolito e leucogranito (Figuras 6 e 7 do Anexo 2). Devido à maior susceptibilidade dos seixos não quartzosos a alterações intempéricas, em relação aos seixos quartzosos, tais variações foram interpretadas como fruto de mudanças climáticas, onde a maior presença de clastos quartzosos indicaria clima mais úmido, enquanto a maior presença de clastos não quartzosos indicaria clima mais árido.

Na seção geológica A – A' (Figura 6 do Anexo 2) da Formação Serra do Apertado a região que apresenta a menor proporção de seixos quartzosos, que corresponde ao ponto SA-31, é também onde os depósitos apresentam maior frequência de ciclos de aumento e diminuição da vazão (Figura 9 do Anexo 1). Em ambientes de clima mais árido as rápidas enchentes tendem a desenvolver frequentes ciclos de aumento e diminuição de vazão (Miall, 1985; Tirsgaard e Øxnevad, 1998), portanto a associação de fácies e elementos arquitetônicos observados corroboram a interpretação

de clima mais árido onde ocorre menor proporção de seixos quartzosos e maior de seixos não quartzosos.

Mais estudos associando as análises de proveniência e de elementos arquitetônicos nos depósitos da Formação Serra do Apertado, ou até mesmo em depósitos de outras unidades do Grupo Guaritas, poderiam auxiliar a testar a força dessa teoria que prevê condições climáticas relativas de acordo com a proporção de seixos quartzosos e não quartzosos e a arquitetura dos depósitos fluviais.

7. CONCLUSÕES

A seguir serão destacadas as principais conclusões decorrentes do presente estudo:

A Formação Serra do Apertado na região da serra homônima é constituída por apenas um tipo de elemento arquitetônico, denominado aqui como **EL** – *enchentes em lençol*, cujo paleoambiente deposicional foi interpretado como fluvial efêmero. A porção estratigraficamente superior da Formação Pedra Pintada é composta por dois elementos arquitetônicos intercalados, denominados **DB** – *dunas barcanóides*, e **IF** – *interdunas fluviais*, que foram interpretados como um ambiente de campos de dunas afetados por interdunas fluviais.

A caracterização das fácies sedimentares, elementos arquitetônicos e padrões de paleocorrente da Formação Serra do Apertado forneceram critérios de diferenciação dessa unidade, e sua comparação com estudos anteriores de arquitetura deposicional, fácies e paleocorrentes da Formação Guarda Velha mostraram que tais unidades apresentam características distintas. A análise de proveniência sedimentar realizada em ambas as unidades também mostrou características distintas para as Formações Guarda Velha e Serra do Apertado, negando as suposições da literatura a respeito da similaridade entre as duas (*e.g.* Almeida *et al.* 2009).

A espessura mínima da Formação Serra do Apertado foi recalculada em 695 m, com base no levantamento de uma seção geológica ortogonal à direção do acamamento local.

Os estudos da análise de proveniência sedimentar nos depósitos do Grupo Guaritas, somados à comparações com estudos anteriores de paleocorrentes, mostraram que em todas as suas unidades os depósitos da borda leste apresentam sentido de transporte predominante para NW e áreas fonte principais situadas no Alto da Serra das Encantadas e no Batólito Pelotas, evidenciando a existência de um mesmo sistema fluvial transversal durante toda a história deposicional preservada da bacia do Grupo Guaritas.

Os depósitos das regiões oeste e central da Formação Guarda Velha e da região central da Formação Varzinha apresentam áreas fonte mais distais, situadas a norte, com exceção dos depósitos conglomeráticos da base da Formação Guarda Velha, que apresentam proveniência mista de áreas fonte a leste e a norte. Na Formação Pedra das Torrinhas, as áreas fonte são muito proximais e situam-se no Alto da Serra das Encantadas, para os depósitos da borda leste, e no Alto de Caçapava do Sul, para os da borda oeste. Os depósitos situados na borda leste das Formações Guarda Velha, Varzinha, Pedra Pintada, Pedra das Torrinhas e Serra do Apertado apresentam áreas fonte situadas a leste, no Alto da Serra das Encantadas e no Batólito Pelotas.

O estudo da variação composicional dos seixos ao longo da borda leste do Grupo Guaritas levou à conclusão de que houve uma reativação da falha de borda leste da bacia durante a deposição das Formações Varzinha e Pedra Pintada, evidenciada pela passagem gradativa de seixos de áreas fonte mais distais para mais proximais, tendo ocasionado o soerguimento do alto de embasamento adjacente e a diminuição da área de captação do sistema fluvial da borda leste da bacia.

A variação composicional dos seixos ao longo da estratigrafia da Formação Serra do Apertado provavelmente é um reflexo de mudanças climáticas, onde o predomínio do grupo de seixos quartzosos no depósito indicaria condições climáticas mais úmidas, enquanto que o predomínio do grupo de seixos não quartzosos indicaria presença de clima mais árido.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AITCHSON, J. *The Statistical analysis of compositional data*. London: Chapman and Hall, 1986. 416 p.

ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y. *O Pré-cambriano do Brasil*. São Paulo: Edgard Blücher LTDA, 1984. 378 p.

ALMEIDA, R. P. Tectônica e sedimentação do Ediacarano ao Ordoviciano: exemplos do Supergrupo Camaquã (RS) e do Grupo Caacupé (Paraguai Oriental). 2005. 203 f. Tese de doutoramento em Geologia Sedimentar – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

ALMEIDA, R. P.; JANIKIAN, L.; FRAGOSO-CESAR, A. R.; MARCONATO, A. Evolution of a rift basin dominated by subaerial deposits: the Guaritas Rift, Early Cambrian, Southern Brasil. *Sedimentary Geology*, Amsterdam, v. 217, p. 30-51, 2009.

BOGGS, S. *Principles of sedimentology and stratigraphy*. Englewood Cliffs: N. J. Prentice Hall, 1995. 774 p.

BORBA, A. W.; MIZUSAKI, A. M. P.; SILVA, D. R. A.; KAWASHITA, K. Razões isotópicas $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ e $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ como traçadores de proveniência de rochas sedimentares siliciclásticas: exemplos no Grupo Camaquã (Paleozóico inferior, RS, Brasil). *Pesquisas em Geociências*, Porto Alegre, v. 30, n. 2, p. 39 – 50, 2003.

BRIDGE, J. S. Fluvial facies models: recent developments. In: POSAMENTIER, H. W.; WALKER, R. G. (eds.). *Facies Models Revisited*. Oklahoma: Society for Sedimentary Geology, 2006. p. 85-170.

DAVIS, J. C. *Statistics and Data Analysis in Geology*. New York: Wiley & Sons, 1986. 646 p.

DE ROS, L. F.; MORAD, S.; PAIM, P. S. G. The role of detrital composition on the diagenetic evolution of continental molasses: evidences from the Cambro-Ordovician Guaritas Sequence, southern Brazil. *Sedimentary Geology*, Amsterdam, v. 92, p. 197-228, 1994.

DÜRR, S. B. Quick estimation of pebble volumes. *Journal of Sedimentary Research*, Lawrence, Kansas, v. A64, n. 3, p. 677 – 679, 1994.

DÜRR, S. B. Provenance of the Xigaze fore-arc basin clastic rocks. *Geological Society of America Bulletin*, Boulder, Colorado, v. 108, n. 6, p. 669 – 684, 1996.

FAMBRINI, G. L. O Grupo Camaquã (transição Proterozóico – Fanerozóico) na região das Minas do Camaquã, RS: análise estratigráfica de fácies, proveniência e paleocorrentes. 1998. 182 f. Dissertação de mestrado – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 1998.

FAMBRINI, G. L.; JANIKIAN, L.; ALMEIDA, R. P.; FRAGOSO-CESAR, A. R. O Grupo Santa Bárbara (Ediacarano) na sub-bacia Camaquã Central, RS: estratigrafia e sistemas deposicionais. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 35, n. 2, p. 227 – 238, 2005.

FRAGOSO-CESAR, A. R. S. Tectônica de placas no Ciclo Brasileiro: as orogenias dos Cinturões Dom Feliciano e Ribeira no Rio Grande do Sul. 1991. 366 f. Tese de doutoramento – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 1991.

FRAGOSO-CESAR, A. R. S.; FAMBRINI, G. L.; ALMEIDA, R. P.; PELOSI, A. P. M. R.; JANIKIAN, L.; RICCOMINI, C.; MACHADO, R.; NOGUEIRA, A. C. R.; SAES, G. S. The Camaquã extensional basin: Neoproterozoic to Early Cambrian sequences in southernmost Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 30, n. 3, p. 442 – 445, 2000.

FRAGOSO-CESAR, A. R. S.; PAES-DE-ALMEIDA, R.; FAMBRINI, G. L.; PELOSI, A. P. M. R.; JANIKIAN, L. A Bacia Camaquã: um sistema intracontinental anorogênico de rifts do Neoproterozóico III – Eopaleozóico no Rio Grande do Sul. In: I ENCONTRO SOBRE ESTRATIGRAFIA DO RIO GRANDE DO SUL: ESCUDOS E BACIAS, 2003, Porto Alegre. *Anais...* Porto Alegre: LÉO A. HARTMANN, 2003. p. 139 – 144.

GRAHAM, S. A.; TOLSON, R. B.; DECELLES, P. G.; INGERSOLL, R. V.; BARGAR, E.; CALDWELL, M.; CAVAZZA, W.; EDWARDS, D. P.; FOLLO, M. F.; HANDSCHY, J. F.; LEMKE, L.; MOXON, I.; RICE, R.; SMITH, G. A.; WHITE, J. Provenance modelling as a technique for analysing source terrane evolution and controls on foreland sedimentation. In: PHILIP A. ALLEN; PETER HOMEWOOD (eds.). *Foreland Basins*: Special Publication of the International Association of Sedimentologists, n° 8. Oxford, London, 1986.

HARTMAN, L. A.; SANTOS, J. O. S.; McNAUGHTON, A. N. J. Detrital zircon U-Pb age data, and Precambrian provenance of the Paleozoic Guaritas Formation, Southern Brazilian Shield. *International Geology Review*, Columbia, Maryland, v. 50, p. 364 – 374, 2008.

HASUI, Y.; CARNEIRO, C. D. R.; COIMBRA, A. M. The Ribeira Folded Belt. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 5, p. 257 – 266, 1975.

HUNTER, R. E. Basic types of stratification in small eolian dunes. *Sedimentology*, Oxford, v. 24, p. 361-387, 1977.

JANIKIAN, L.; ALMEIDA, R. P.; TRINDADE, R. I. F.; FRAGOSO-CESAR, A. R. S.; D'AGRELLA-FILHO, M. S.; DANTAS, E. L.; TOHVER, E. The continental record of Ediacaran volcano-sedimentary successions in southern Brazil and their global implications. *Terra Nova*, Cowley, Oxford, v. 20, p. 259 – 266, 2008.

JONES, A. P. Late quaternary sediment sources, storage and transfers within mountain basins using clast lithological analysis: Pineta Basin, central Pyrenees, Spain. *Geomorphology*, Amsterdam, v. 37, p. 145 – 161, 2000.

JOST, H.; HARTMAN, L. A. Província Mantiqueira: setor meridional. In: ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y. (coord). *O Pré-cambriano do Brasil*. São Paulo: Edgard Blücher LTDA, 1984. p. 345 – 368.

LOPES, R. C.; WILDNER, W.; SANDER, A.; CAMOZZATO, E. Alogrupo Guaritas: aspectos gerais e considerações sobre o posicionamento do vulcanismo Rodeio Velho (encerramento do ciclo Brasileiro ou instalação da bacia do Paraná?). In: 1° SIMPÓSIO SOBRE VULCANISMO E AMBIENTES ASSOCIADOS, 1999, Gramado, RS, Boletim de Resumos, Gramado, 1999, p. 17.

MARCONATO, A. A influência da evolução de altos estruturais em sucessões aluviais: exemplos do Ediacarano e do Cambriano da Bacia Camaquã (RS). 2010. 74 f. Dissertação de Mestrado – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2010.

MARCONATO, A.; ALMEIDA, R. P.; SANTOS, M. G. M; NÓBREGA, J. E. S.; SOUZA, R. B. Alluvial-eolian interaction in a Cambrian rift margin: the Pedra das Torrinhas and Pedra Pintada formations (Guaritas Group, RS). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, v. 81, n. 4, p. 819 – 836, 2009.

MIALL, A. D. Architectural-element analysis: a new method of facies analysis applied to fluvial deposits. *Earth-Science Reviews*, Amsterdam, v. 22, p. 261-308, 1985.

MIALL, A. D. Methods of architectural-element analysis. In: MIAL, A. D. *The geology of fluvial deposits: sedimentary facies, basin analysis and petroleum geology*. Berlin: Springer-Verlag, 1996. p. 75-98.

MIALL, A. D. Facies analysis. In: MIAL, A. D. *Principles of sedimentary basin analysis*. Berlin: Springer-Verlag, 2000. p. 141-248.

MOUNTNEY, N. P. Eolian facies models. In: POSAMENTIER, H. W.; WALKER, R. G. (eds.). *Facies Models Revisited*. Oklahoma: *Society for Sedimentary Geology*, 2006. p. 19-83.

NICHOLS, G. Processes of transport and sedimentary structures. In: *Sedimentology and Stratigraphy*. Oxford: Blackwell Science, 1999. p. 287-322.

NÓBREGA, J. E. S.; SAWAKUCHI, A. O.; ALMEIDA, R. P. Minerais pesados das porções média e superior do Grupo Guaritas (Eocambriano, RS): considerações sobre a proveniência sedimentar. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 38, n. 3, p. 554 – 565, 2008.

PAIM, P. S. G. Depositional systems and paleogeographical evolution of the Camaquã and Santa Barbara Basins, Brazil. 1994. 277 f. Doctor Thesis, Oxford. 1994.

PAIM, P. S. G. Alluvial palaeogeography of the Guaritas depositional sequence of southern Brazil. In: PLINT, A. G.; READING, H. G. *Sedimentary facies analysis: a tribute to the research and teaching of Harold G. Reading*. Special Publication of International Association of Sedimentology, n° 22. Oxford: Blackwell Science, 1995. p. 3 - 16.

PAIM, P. S. G.; SCHERER, C. M. S. High-resolution stratigraphy and depositional model of wind and water-laid deposits in the ordovician Guaritas rift (Southernmost Brazil). *Sedimentary Geology*, Amsterdam, v. 203, p. 776-795, 2007.

PAWLOWSKY-GLAHN, V.; EGOZCUE, J. J. Compositional data and their analysis: an introduction. In: BUCCIANI, A.; MATEU-FIGUERAS, G.; PALOWSKY-GLAHN, V. (eds). *Compositional Data Analysis in the Geosciences: From Theory to Practice*. London: Geological Society, Special Publications, v. 264, 2006. p. 1 – 10.

READING, H. G.; LEVELL, B. K. Controls on the sedimentary rock Record. In: READING, H. G. (ed.). *Sedimentary environments and facies*. Oxford: Bleckwell Scientific, 1986. 5-36 p.

RIBEIRO, M.; BOCCHI, P. R.; FIGUEIREDO Fº, P. M.; TESSARI, R. I. Geologia da quadrícula de Caçapava do Sul. Rio de Janeiro: DNPM/ DFPM, 1966, 232 p. (boletim 127).

RIBEIRO, M; FANTINEL, L. M. Associações Petrotectônicas do Escudo Sul-Riograndense: I tabulação e distribuição das associações petrotectônicas do Escudo do Rio Grande do Sul. *Iheringia*, Série Geologia, Porto Alegre, v. 5, p. 19 – 54, 1978.

ROBERTSON, J. F. Revision of stratigraphy and nomenclature of rock units in Caçapava-Lavras region. *Notas e estudos*, Porto Alegre, IG-UFRGS, v. 1, n. 2, p. 41-54, 1966.

SANTOS, M. G. M. Tectônica e sedimentação na Bacia do Camaquã Central (RS): exemplos do Grupo Guaritas e do Grupo Santa Bárbara. 2010. 117 f. Dissertação de Mestrado – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2010.

SELLEY, R. C.. An introduction to sedimentology. London: Academic Press, 1982. 417 p.

TIRSGAARD, H.; ØXNEVAD, I. E. I. Preservation of pre-vegetation mixed fluvio-aeolian deposits in a humid climatic setting: an example from the Middle Proterozoic Eriksfjord Formation, Southwest Greenland. *Sedimentary Geology*, Amsterdam, v. 120, p. 295-317, 1998.

WALKER, R. G. Facies, facies models and modern stratigraphic concepts. In: WALKER, R. G.; JAMES, N. P. (eds.). *Facies models and response to sea level change*. Geological Association of Canada Geotext 1, 1992. p. 1-14.

WELTJE, G. J.; EYNATTEN, H. V. Quantitative provenance analysis of sediments: review and outlook. *Sedimentary Geology*, Amsterdam, v. 171, p. 1 – 11, 2004.

ANEXOS

ANEXO 1

Fácies Sedimentares e Elementos Arquitetônicos das Formações Serra do Apertado e Pedra Pintada na Região das Minas do Camaquã – RS

Sedimentary Facies and Architectural Elements of the Serra do Apertado and Pedra Pintada Formations in the Minas do Camaquã Region – RS

Lucas Padoan de Sá Godinho¹ (lucaspsgodinho@gmail.com)

Renato Paes de Almeida² (rpalmeid@usp.br)

Mauricio Guerreiro Martinho dos Santos¹ (mauricioguerreiro@yahoo.com)

André Marconato¹ (andre.marconato@usp.br)

Antonio Romalino Santos Fragoso-Cesar² (romalino@usp.br)

¹Programa de Geoquímica e Geotectônica – Instituto de Geociências – Universidade de São Paulo, Rua do Lago, nº 562, CEP 05508-080, São Paulo, SP, Brasil

²Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental – Instituto de Geociências – Universidade de São Paulo, Rua do Lago, nº 562, CEP 05508-080, São Paulo, SP, Brasil

Número de palavras: 7674; **total de figuras:** 10.

Resumo

O Grupo Guaritas (Cambriano, RS) abriga depósitos de ambientes aluviais dominados por carga de fundo, aluviais de carga mista, campo de dunas eólicas e leques aluviais, constituindo um raro registro sedimentar de idade Cambriana no leste da América do Sul. Nesse contexto, sua unidade de topo, designada Formação Serra do Apertado, constitui o último registro das fases de estabilização do Gondwana no sul e sudeste do Brasil. Apesar disso, não há estudos detalhados de fácies e arquitetura deposicional publicados, e a unidade foi considerada como semelhante à Formação Guarda Velha desde sua definição original. Com base em estudos de fácies sedimentares e arquitetura deposicional da Formação Serra do Apertado e da porção superior da unidade imediatamente sotoposta, Formação Pedra Pintada, foram caracterizados seus ambientes de sedimentação e estabelecida uma base descritiva para discriminação das demais unidades do Grupo Guaritas. A Formação Serra do Apertado é caracterizada pelo elemento arquitetural **EL** – enchentes em lençol – no qual predominam associações de fácies que remetem a um ambiente fluvial dominado por grandes variações de vazão e esporádico retrabalhamento eólico de barras emersas. A porção superior da Formação Pedra Pintada apresenta intercalações entre os elementos

arquitetônicos **DB** – dunas barcanóides – e **IF** – interdunas fluviais. A exclusividade do elemento **EL** na Formação Serra do Apertado contrasta com descrições anteriores da Formação Guarda Velha, que relatam elementos de preenchimento de canais e abundância de lentes conglomeráticas. Tais diferenças revelam maior retrabalhamento eólico na Formação Serra do Apertado e, possivelmente, fluxo mais episódico, sugerindo, de forma preliminar, clima mais árido que aquele da Formação Guarda Velha.

Palavras-chave: Grupo Guaritas, Formação Serra do Apertado, Formação Pedra Pintada, elementos arquitetônicos, paleoambiente deposicional.

Abstract

The Guaritas Group (Cambrian, Southern Brazil) encompasses sedimentary deposits of bedload or mixed load rivers, eolian dune fields and alluvial fans, and constitutes a rare sedimentary record of Cambrian age in Eastern South America. In this context, its uppermost unit, named Serra do Apertado Formation, contains the last record of the phase of stabilization of the Gondwana Continent in south and southeastern Brazil. Nevertheless, there are no published detailed studies on its facies and depositional architecture, and the unit has been considered as similar to the Guarda Velha Formation since its original definition. Based on facies and architectural studies on the Serra do Apertado Formation and the upper portion of its underlying unit, the Pedra Pintada Formation, we characterize the depositional environments and establish a descriptive basis to distinguish them from the other units of the Guaritas Group. The Serra do Apertado Formation is characterized by the architectural element **EL** – sheet floods – in which facies associations point to a fluvial system with great discharge variation and occasional eolian reworking of bar tops. The upper part of the Pedra Pintada Formation intercalates the elements **DB** – barchanoid dunes – and **IF** – fluvial interdunes. The exclusivity of element **EL** in the Serra do Apertado Formation contrasts with previous descriptions of the Guarda Velha formation, which show elements of channel-fill and frequent conglomeratic lenses. Those differences reveal more eolian reworking in the Serra do Apertado Formation and possibly more episodic flow, suggesting, preliminarily, a dryer climate than the one recorded by the Guarda Velha Formation.

Keywords: Guaritas Group, Serra do Apertado Formation, Pedra Pintada Formation, architectural elements, depositional paleoenvironment.

INTRODUÇÃO

O Grupo Guaritas é uma unidade sedimentar depositada no Eo a Mesocambriano no sul do Brasil que expõe mais de 1.500 m de sucessões aluviais, com significativos intervalos eólicos. O grupo é caracterizado por sucessões de arenitos conglomeráticos com estratificação cruzada, sucessões arenosas com níveis de pelitos gretados, arenitos finos a médios com estratificação cruzada de grande porte, além de conglomerados e brechas nas proximidades das falhas de borda, ativas durante a sedimentação (Almeida *et al.*, 2009). Em trabalhos recentes de mapeamento e levantamentos estratigráficos, duas unidades de arenitos conglomeráticos fluviais foram individualizadas com base no reconhecimento de seu posicionamento estratigráfico distinto. Desta forma, Almeida (2005) e Almeida *et al.* (2009) reservaram o termo Formação Guarda Velha (Ribeiro *et al.*, 1966) à sucessão basal do Grupo Guaritas, que encontra-se exposta no Passo da Guarda Velha e em amplas áreas a oeste da Falha Tapera-Emiliano (Figura 1), enquanto uma nova unidade, designada Formação Serra do Apertado, foi identificada acima dos arenitos eólicos da Formação Pedra Pintada (*sensu* Fragoso-Cesar, 1991), a leste da mesma falha.

Esta nova unidade tem grande importância como registro potencial de eventos tectônicos e climáticos, considerando-se ser a unidade de topo do Grupo Guaritas e, portanto, de toda a Bacia Camaquã. Desta forma representa a mais jovem unidade anterior à Bacia do Paraná no sul e sudeste do Brasil, com registro ímpar de sedimentos do Meso-Cambriano no leste da América do Sul. Apesar disso, não há estudos detalhados de fácies e arquitetura deposicional publicados, e a unidade foi tratada apenas em linhas gerais em trabalhos anteriores, tendo sido considerada como semelhante à Formação Guarda Velha por Almeida (2005) e Almeida *et al.* (2009).

O presente trabalho apresenta os resultados de estudos sedimentológicos e estratigráficos de detalhe desenvolvidos na área-tipo da Formação Serra do Apertado, com o objetivo de interpretar as características de seus sistemas deposicionais e estabelecer uma base descritiva para sua distinção das demais unidades do Grupo Guaritas e para futuros estudos de seu registro tectônico e climático. Com o objetivo de caracterizar o papel da unidade na evolução da Bacia Camaquã, foram desenvolvidos

estudos sobre as sucessões de topo da Formação Pedra Pintada sotoposta e uma caracterização da superfície que limita as duas unidades. Uma revisão das propostas de nomenclatura estratigráfica para o Grupo Guaritas é também apresentada, de forma a tornar clara a definição da Formação Serra do Apertado e das demais unidades relacionadas.

MÉTODOS

As análises de fácies e de elementos arquitetônicos vem sendo amplamente utilizadas na caracterização e reconstrução paleoambiental de sistemas deposicionais antigos pois permitem que a interpretação dos processos que geraram os depósitos sejam baseadas na caracterização dos conjuntos de fácies que se associam em um mesmo contexto, na geometria tridimensional dos depósitos e na hierarquia de suas superfícies limitantes (Reading e Levell, 1986; Walker, 1992; Miall, 1985, 1996, 2000).

No presente trabalho, tais métodos foram aplicados a fim de descrever e caracterizar a recém definida sucessão de topo do Grupo Guaritas da Bacia do Camaquã, cuja seção tipo ocorre na região da Serra do Apertado, assim como detalhar a porção superior da Formação Pedra Pintada, marcada por fácies eólicas e de interdunas, na região das Minas do Camaquã, município de Caçapava do Sul, Rio Grande do Sul.

CONTEXTO GEOLÓGICO

O Grupo Guaritas é a unidade de topo do Supergrupo Camaquã, que ocorre na região centro-sul do Rio Grande do Sul, no Alto Estrutural de Rio Grande (Milani e Thomaz Filho, 2002). A unidade formou-se em uma bacia distensional do tipo *rift* (Fragoso-Cesar, 1991; Fragoso-Cesar *et al.*, 1999; Paim, Chemale Jr., Lopes, 2002; Almeida, *et al.* 2009) durante o Eocambriano (Almeida, 2005). Sua área aflorante, que detém, em parte, os contornos originais da bacia, é uma faixa de direção NNE-SSW, largura em torno de 50 km e extensão superior a 150 km (suas extremidades são encobertas por depósitos permianos da Bacia do Paraná), na qual o Grupo Guaritas ocorre tectonicamente alojado entre os altos do embasamento da Serra das Encantadas e de Caçapava do Sul, localmente recobrimdo o último (Figura 1). Além dos flancos do *rift*, o embasamento do Grupo Guaritas aflora a sul, sendo constituído por unidades metamórficas e plutônicas das estruturas brasileiras da região, incluindo o flanco ocidental do Cinturão Dom Feliciano e seu limite com o Terreno Rio Vacacaí, além do extremo setentrional do Cráton do Rio de La Plata (Fragoso-Cesar, 1980, 1991). As estruturas tectônicas desse embasamento foram reativadas diversas vezes, durante e após a instalação do *rift* (Almeida, 2005).

Além de rochas metamórficas e plutônicas, o Grupo Guaritas sobrepõe mais de 10 km de sucessões não-metamórficas, rüptilmente deformadas, das unidades mais antigas do Supergrupo Camaquã, dispostas em camadas com direções em torno de NNE-SSW e mergulhos variáveis entre 20° e 50°, localmente sub-verticais. Tais sucessões, depositadas na Bacia do Camaquã durante o Ediacarano, compõem quatro unidades, da base para o topo: Grupo Maricá (siliciclástico), Grupo Bom Jardim (vulcano-sedimentar), Formação Acampamento Velho (vulcânica) e Grupo Santa Bárbara (siliciclástico). Simultaneamente à sedimentação do Grupo Santa Bárbara, a Bacia do Camaquã foi compartimentada em três sub-bacias: Camaquã Ocidental, Camaquã Central e Camaquã Oriental, sendo que a estruturação da Sub-Bacia Camaquã Central coincide em linhas gerais com a do *rift* ao tempo da deposição do Grupo Guaritas.

O Grupo Guaritas é constituído por uma espessa sucessão, de mais de 1.500 m, de arenitos conglomeráticos, conglomerados, ritmitos psamo-pelíticos e arcósios finos a

médios com estratificação cruzada de grande porte. A composição das rochas com granulação areia é essencialmente arcoseana, variando para litoarenitos de acordo com a proveniência. Interpreta-se uma origem continental para todas as unidades do Grupo Guaritas (*e.g.* Robertson, 1966; Ribeiro, 1970; Fragoso-Cesar, 1984; Lavina *et al.*, 1985; Paim, 1994; Paim, Chemale Jr., Lopes, 2002). O Grupo Guaritas é subdividido em cinco unidades (Almeida, *et al.* 2009), sendo elas, da base para o topo: (i) Formação Guarda Velha - unidade basal composta por arcósios conglomeráticos e conglomerados de sistemas fluviais dominados por carga de fundo, (ii) Formação Varzinha - ritmitos de arcósios e pelitos gretados e lentes de arcósios conglomeráticos formados em sistemas fluviais distais, (iii) Formação Pedra Pintada - arcósios finos com estratificação cruzada de grande porte depositados em campo de dunas eólicas, lateralmente equivalentes à Formação Varzinha, (iv) Formação Pedra das Torrinhas - brechas e conglomerados de leques aluviais lateralmente equivalentes às duas unidades anteriores e (v) Formação Serra do Apertado - arcósios conglomeráticos e conglomerados de sistemas fluviais dominados por carga de fundo que sobrepõe a Formação Pedra Pintada por discordância erosiva (Almeida, 2005).

Figura 1: A – Mapa geológico esquemático do Grupo Guaritas e áreas vizinhas. Modificado de Almeida (2005); B – Mapa de localização dos afloramentos descritos dentro da área de estudo na Serra do Apertado. Imagem de satélite extraída do *Google Earth*.

EVOLUÇÃO DAS PROPOSTAS DE NOMENCLATURA ESTRATIGRÁFICA PARA O GRUPO GUARITAS

A proposta de subdivisão estratigráfica ora utilizada baseia-se em Almeida *et al.* (2009) (Figura 2) e mantém os termos prioritários da literatura, porém revendo a posição estratigráfica das unidades e incluindo uma nova formação, equivalente a sucessões anteriormente consideradas dentro de uma das unidades tradicionais. Abaixo é apresentada uma breve revisão da terminologia e definições das unidades que compõem o Grupo Guaritas, com o objetivo de tornar claras a definição e o contexto da Formação Serra do Apertado.

Figura 2: Carta estratigráfica do Grupo Guaritas, segundo Almeida *et al.* (2009). Extraído de Nóbrega (2011).

Formação Guarda Velha

A Formação Guarda Velha reúne os arcósios conglomeráticos com estratificação cruzada ou estratificação plano-paralela, além de conglomerados, das porções inferiores do Grupo Guaritas, tendo por localidade referencial o Passo da Guarda Velha (Camadas Guarda Velha *sensu* Ribeiro e Lichtenberg, 1978). Esta unidade assenta em

discordância angular sobre o Grupo Santa Bárbara e em discordância litológica sobre rochas metamórficas e plutônicas do embasamento da Bacia do Camaquã, sendo sobreposta pela Formação Varzinha em contanto gradacional (Ribeiro, 1970). Apresenta espessura mínima de 1.000 m e, com exceção de fácies de conglomerados de calhaus em suas porções basais, é litologicamente homogênea, caracterizada por arcósios conglomeráticos, com seixos arredondados de quartzo de veio, rochas granitóides, vulcânicas e metamórficas.

Devido às características litológicas da unidade, suas áreas de exposição estão associadas a formas de relevo distintivas, com morros escarpados de topo plano separados por vales encaixados, como os encontrados na Serra das Guaritas. Os afloramentos mais acessíveis da unidade são cortes da BR-392 e da estrada que liga a BR-392 à BR-153 passando pelas Minas do Camaquã e Serra das Guaritas, além dos grandes afloramentos naturais expostos nas proximidades dessas vias.

Paim (1994) interpretou as sucessões da unidade como depósitos de sistemas aluviais efêmeros com base em análise de fácies sedimentares e geometria de camadas, porém considerou-as como parte da Aloformação Varzinha, na porção superior do Alogrupo Guaritas. Tal hipótese estratigráfica foi mantida por Paim (1995), Lopes *et al.* (1999) e Paim, Chemale Jr. e Lopes (2002) entre outros autores.

A hipótese alternativa de posicionamento estratigráfico da Formação Guarda Velha na base do Grupo Guaritas (*e.g.* Ribeiro e Lichtemberg, 1978; Almeida, *et al.* 2009) é evidenciada pelas abundantes exposições do contato basal da formação com unidades sotopostas do Supergrupo Camaquã, como na região das Minas do Camaquã e nas proximidades do entroncamento entre as BR-392 e BR-153, conhecidas desde Ribeiro *et al.* (1966) e Ribeiro (1970). A justaposição de fácies semelhantes das formações Guarda Velha e Serra do Apertado, esta a unidade de topo do Grupo Guaritas descrita adiante, pela zona de falhas das Minas do Camaquã *sensu* Ribeiro *et al.* (1966), também conhecida como Falha Tapera-Emiliano, pode ter contribuído para a hipótese de posicionamento das sucessões da Formação Guarda Velha acima dos arenitos eólicos da Formação Pedra Pintada. Entretanto, o mesmo lineamento que separa a Serra do Apertado das exposições da Formação Guarda Velha a nordeste das Minas do Camaquã apresenta, em estimativa conservadora, rejeito vertical superior a 800 m entre o Passo

da Mina e o Passo do Marmeleiro, 5 km a sul, com abatimento do bloco leste justapondo a Formação Pedra Pintada a sucessões do Grupo Santa Bárbara (Figura 1).

A espessura total da Formação Guarda Velha, calculada com base em seções geológicas, é de aproximadamente 1.000 m (Almeida *et al.*, 2009).

Formação Varzinha

O conjunto de arcósios laminados intercalados a siltitos gretados e arcósios conglomeráticos expostos ao longo das BR-153 (a sul do rio Camaquã) e BR-392 foi designado Camadas Varzinha por Ribeiro e Lichtenberg (1978) e incluído na Aloformação Varzinha por Paim (1994). Na subdivisão estratigráfica de Ribeiro e Lichtenberg (1978), a unidade corresponderia a toda a porção superior da então denominada Formação Guaritas, sobreposta às Camadas Guarda Velha. Paim (1995) e Fragoso-Cesar *et al.* (1999) consideraram a unidade como posterior à Aloformação ou Formação Pedra Pintada, com base em seções geológicas na BR-392 e na estrada Santana da Boa Vista-Minas do Camaquã que, entretanto, atravessam uma importante falha de direção NNE não considerada pelos autores. Esta foi denominada Falha do Rincão Brabo por Ribeiro *et al.* (1966) e apresenta componente vertical de abatimento do bloco oeste (Figura 1). Perfis geológicos em diversas áreas da bacia revelam que a posição estratigráfica da Formação Varzinha é inferior à da Formação Pedra Pintada (Almeida, 2005).

O conceito empregado no presente trabalho para a Formação Varzinha inclui sucessões de arcósios e pelitos, geralmente gretados, dispostos ritmicamente em camadas tabulares de poucos centímetros a alguns metros de espessura, intercalados a camadas métricas a decamétricas, lenticulares, de arcósios conglomeráticos com estratificação cruzada acanalada e estratificação plano paralela. A espessura mínima da unidade é de 200 m, sendo seu limite superior caracterizado por contato brusco com a Formação Pedra Pintada e o limite inferior por contato gradacional com a Formação Guarda Velha.

Paim (1994), após longa discussão sobre a hipótese de interpretação das sucessões aqui identificadas com a Formação Varzinha como sistemas de leques

terminais (*sensu* Kelly e Olsen, 1993), optou pela interpretação de um sistema deltaico lacustre, sujeito a frequentes variações do nível de base, aprimorando a proposta de Ribeiro *et al.* (1966), Ribeiro (1970), Fragoso-Cesar *et al.* (1984) e Lavina *et al.* (1985).

Formação Pedra das Torrinhas

Fácies conglomeráticas de leques aluviais ocorrem junto às bordas da Sub-Bacia Camaquã Central, destacadamente na borda leste, nos níveis estratigráficos equivalentes às formações Varzinha e Pedra Pintada. Tais depósitos conglomeráticos, que ocorrem a distâncias menores que centenas de metros a poucos quilômetros da borda leste do Grupo Guaritas, foram reunidos por Almeida (2005) e Almeida *et al.* (2009) na Formação Pedra das Torrinhas, equivalente aos Ruditos Pedra das Torrinhas de Fragoso-Cesar (1991).

Trabalhos anteriores incluíram tais fácies conglomeráticas como variações laterais de uma das unidades descritas acima, sendo que Ribeiro e Lichtenberg (1978) consideram esses “fanglomerados” como pertencentes às Camadas Guarda Velha.

Esta unidade é caracterizada por brechas de seixos a matações nas fácies mais proximais e intercalações de conglomerados estratificados com arcósios seixosos e pelitos, geralmente gretados, compondo ciclos granodecrescentes métricos. No nível estratigráfico equivalente à Formação Varzinha, a passagem lateral da Formação Pedra das Torrinhas para esta é caracterizada pela diminuição gradual da granulação e da frequência de seixos provenientes do embasamento a leste (quartzo-milonitos, granitos miloníticos e filonitos do Alto da Serra das Encantadas). No nível estratigráfico da formação Pedra Pintada, a passagem lateral dá-se por intercalação das fácies eólicas com as fácies de leques aluviais, com tendência a expansão do campo de dunas sobre os depósitos aluviais (Marconato *et al.*, 2009).

Formação Pedra Pintada

Inicialmente essa unidade foi cartografada como Formação Santa Bárbara por Ribeiro *et al.* (1966), sendo composta pelos arcósios com estratificação cruzada de

grande porte que afloram no morro da Pedra Pintada e regiões a leste das Minas do Camaquã. Esta unidade foi reconhecida como eólica pelos então professores do Curso de Pós-Graduação do IG-UFRGS Dr. Renato Rodolfo Andreis e Dr. Gerardo Bossi em 1979. Sucessões análogas foram mapeadas e descritas por Becker e Fernandes (1982), e posteriormente reconhecidas e estudadas em diversas outras exposições (*e.g.* Fragoso-Cesar, 1984; Fragoso-Cesar *et al.*, 1984, 1985; Lavina *et al.* 1985; Faccini, Paim, Fragoso-Cesar, 1987). Independentemente da categoria estratigráfica adotada, a designação Pedra Pintada (Arenitos Pedra Pintada de Fragoso-Cesar, 1991) foi consagrada para referir-se a essa unidade (*e.g.* Paim, 1995; Fragoso-Cesar *et al.* 1999; Paim, Chemale Jr., Lopes, 2002).

Quanto à posição estratigráfica das sucessões de dunas eólicas, Paim (1995) e Paim, Chemale Jr. e Lopes, (2002) relacionaram esta unidade, então denominada Aloformação Pedra Pintada, à base do Alogrupo Guaritas, enquanto Fragoso-Cesar *et al.*, (1999) a consideraram, sob a designação de Formação Pedra Pintada, como intermediária no Grupo Guaritas.

Paim (1994), em tese de doutoramento sobre todo o Supergrupo Camaquã, detalhou as fácies e as interpretações dos processos sedimentares, com destaque para as sucessões de dunas eólicas do Grupo Guaritas e para as sucessões com intercalações pelíticas, interpretadas como deltaicas, dos grupos Santa Bárbara e Guaritas.

Paim (1994) descartou a interpretação de ambiente costeiro de Faccini, Paim e Fragoso-Cesar (1987), considerando as mesmas fácies como de interdunas úmidas, e aprimorou os modelos de deposição aluvial e eólica, além de propor uma subdivisão da unidade com base na aloestratigrafia (Paim *et al.*, 1992; Paim, 1994, 1995). Paim (1995) procurou reconstituir a paleogeografia da unidade com base nos depósitos aluviais e Paim (1996) abordou especificamente as fácies eólicas, enfatizando a presença de interdunas úmidas. De Ros, Morad e Paim (1994) realizaram análise das condições de diagênese e compactação de arenitos da denominada Sequência Guaritas, e deduziram um ambiente semi-árido de deposição.

Trabalhos sobre arquitetura deposicional das sucessões de dunas eólicas da Pedra Pintada seguiram-se à tese inédita de Paim (1994), destacando as interações eólico-

fluviais (Paim, Chemale Jr., Lopes, 2002; Paim e Scherer, 2003, 2007; Scherer, Paim, Melo, 2003; Teixeira *et al.* 2004; Almeida, 2005; Marconato *et al.*, 2009).

Formação Serra do Apertado

A Formação Serra do Apertado foi inicialmente proposta por Almeida (2005) e Almeida *et al.* (2009), reconhecida na serra homônima, situada a NE da vila das Minas do Camaquã, e na região do Rincão do Inferno, situada a W da Serra das Guaritas. Caracteriza-se por sucessões de arenitos conglomeráticos aluviais com aspecto similar ao da Formação Guarda Velha, que situa-se na base do Grupo Guaritas, mas diferencia-se dessa última principalmente por sobrepor as sucessões eólicas da Formação Pedra Pintada por contato erosivo e por apresentar arquitetura deposicional distinta.

Não é possível reconhecer o limite superior da Formação Serra do Apertado, uma vez que ela ocorre até o cume dos morros de maior altitude da região, sendo a unidade de topo do Grupo Guaritas. Segundo Almeida (2005), que realizou o mapeamento dessa unidade (Figura 1), sua espessura mínima é de 200 m.

No presente trabalho descrevemos onze afloramentos da Formação Serra do Apertado (Figura 1), realizando levantamento de colunas estratigráficas para caracterizar a sucessão vertical de fácies da unidade (Figura 3), assim como a transição entre a porção superior da Formação Pedra Pintada e a base da Formação Serra do Apertado (Figura 4). A seção tipo da Formação Serra do Apertado localiza-se nos flancos da própria Serra do Apertado (Figuras 1 e 5), no cerro cuja localização é definida pelas coordenadas UTM E0277398 e N6584061.

Em trabalhos anteriores, as rochas da Formação Serra do Apertado foram agrupadas dentro de outras unidades com sucessões aluviais similares, como a Aloformação Varzinha de Paim (1994) e as Camadas Guarda Velha de Ribeiro e Lichtenberg (1978). Isso se deve principalmente ao fato de que ambas as unidades apresentam uma grande semelhança em seus litotipos, e ao não reconhecimento de falhas importantes que dificultam o estabelecimento de relações estratigráficas.

Figura 3: Colunas estratigráficas da Formação Serra do Apertado em pontos distintos. Notar que no ponto 31 ocorrem mais comumente superfícies de 2ª ordem (sensu Miall, 1996), marcadas pela transição entre fácies de arenito plano-paralelo e arenito com estratificação cruzada, do que no ponto 10, onde predominam arenitos com estratificação cruzada. Ao lado das colunas encontram-se os dados de paleocorrentes coletados para cada localidade: n – número total de medidas; VM – vetor médio.

Figura 4: Coluna estratigráfica mostrando a Formação Pedra Pintada superior e seu contato com a Formação Serra do Apertado. Notar que a passagem da Formação Pedra Pintada para a Formação Serra do Apertado é marcada pelo aparecimento de uma fácies de arenito médio com estratificação cruzada acanalada com abundantes seixos arredondados. Ao lado da coluna encontram-se os dados de paleocorrentes referentes a cada unidade: n – número total de medidas; VM – vetor médio.

Figura 5: Foto do cerro que abriga a seção tipo da Formação Serra do Apertado, cuja localização encontra-se indicada no mapa da Figura 1. Notar superfícies sub-horizontais de continuidade lateral da ordem de dezenas de metros, como indicado pelas setas, formadas principalmente por camadas da fácies **PI** (*pelito laminado*).

Os litotipos mais abundantes nos afloramentos estudados da Formação Serra do Apertado são arenitos arcósios conglomeráticos, cujos grânulos, seixos e calhaus polimíticos são sustentados pela matriz arenosa (Figura 6).

Figura 6: Foto representativa dos arenitos arcósios conglomeráticos da Formação Serra do Apertado.

FÁCIES SEDIMENTARES

Nas exposições das formações Pedra Pintada superior e Serra do Apertado na serra homônima foram descritas ao todo dez fácies distintas, que ocorrem de maneira predominante e são descritas a seguir.

Aa: *Arenito médio com estratificação cruzada acanalada* – é a fácies mais frequente da Formação Serra do Apertado e ocorre com menor frequência na Formação Pedra Pintada superior. É caracterizada por arenitos médios a grossos normalmente com grânulos, seixos e calhaus polimíticos esparsos, estratificação cruzada acanalada, com ângulo entre 15 a 25°, em *sets* que variam de alguns centímetros até cerca de 1 m (Figura 7a). As séries apresentam contato erosivo em sua base, truncando as estruturas sotopostas. Ocorrem clastos pelíticos tabulares com poucos centímetros de espessura, orientados segundo a estratificação. Por vezes acumulam-se seixos na base das séries.

Essa fácies é interpretada como produto da migração de dunas subaquáticas com crista sinuosa. Os fragmentos tabulares pelíticos foram interpretados como intraclastos oriundos do retrabalhamento de gretas da fácies **PI**, descrita adiante.

Afa: *Arenito fino com estratificação cruzada acanalada* – é caracterizado por arenito fino de cor branca, bem selecionado, com estratificação cruzada acanalada marcada por *pin stripe* em *sets* de aproximadamente 0,15 m de espessura e até 2 m de continuidade lateral. Apresenta contato erosivo na base e ocorre intercalado com a fácies **Aa**. É interpretado como resultado da preservação parcial de depósitos de dunas eólicas (*e.g.* Tirsgaard e Øxnevad, 1998).

Al: *Arenito com laminação plano-paralela* – arenito fino a grosso com laminação plano-paralela bem definida, por vezes apresentando grânulos e seixos esparsos. Ocorre em séries tabulares com centímetros a decímetros de espessura, frequentemente intercalado com a fácies **Aa**. Leitos planos podem ser formados tanto em regimes de fluxo inferior – normalmente areia média a grossa – como superior – normalmente areia fina (*e.g.* Nichols, 1999; Fielding, 2006). A presença de arenitos médios com clastos maiores, como grânulos e seixos, além de arenitos finos que não apresentam fração granulométrica mais grossa, indicam que o leito plano pode ter se

formado hora em ambiente subaquático de regime de fluxo inferior, hora de fluxo superior.

Alc: *Arenito com laminação cruzada cavalgante* – arenito médio podendo apresentar grânulos, com laminação cruzada cavalgante sub-crítica a crítica. As séries apresentam contato erosivo na base e forma lenticular, com espessura de 0,02 a 0,1 m (Figura 7b). São interpretadas como produto da migração de formas de leito de pequeno porte por correntes trativas em desaceleração (*e.g.* Boggs, 1995).

Ab: *Arenito com estratificação cruzada de baixo ângulo* – arenito médio com estratificação cruzada acanalada de baixo ângulo em séries de 0,1 a 0,25 m e até 12° de inclinação. Interpretou-se que o baixo ângulo dessas estratificações cruzadas deve-se ao desmonte da escarpa dos estratos frontais de dunas subaquáticas devido à diminuição da espessura da lâmina de água e consequente aumento da velocidade de fluxo (*e.g.* Tirsgaard e Øxnevad, 1998).

Ap: *Arenito com estratificação cruzada planar* – arenito médio com estratificação cruzada planar em séries tabulares de poucos decímetros de espessura. É interpretado como produto da migração de dunas subaquáticas de crista retilínea, formadas a uma velocidade de fluxo menor do que na fácies **Aa** (*e.g.* Nichols, 1999).

Pl: *Pelito laminado* – camadas tabulares ou lenticulares de argilito e siltito, com cores que variam entre vermelho, castanho e roxo, de espessura entre 0,02 a 0,25 m e continuidade lateral que varia desde poucos metros até mais de 10 m, com laminação plano-paralela. A parte superior das camadas pode apresentar gretas de contração com cerca de 0,02 m de espessura ou delicadas gretas enroladas no topo (Figura 7c). A fácies **Pl** normalmente ocorre intercalada com as fácies **Aa** e **Aag**.

É interpretada como produto de decantação em corpos d'água estagnados, formados em eventos de enchente, que eventualmente podem ficar sujeitos à exposição subaérea (*e.g.* Bridge, 2006).

Apc: *Arenitos e pelitos convolutos* – arenitos e pelitos com deformações plásticas na forma de dobras, podendo apresentar grânulos, com estratificação plano-paralela ou cruzada acanalada. Essas deformações apresentam amplitude e comprimento

de onda da ordem de decímetros e normalmente ocorrem de forma pontual no interior das séries compostas por arenito (Figuras 7d e 8).

Foi observada a ocorrência de uma camada tabular de coloração esverdeada, com cerca de 0,1 m de espessura, intercalada com as rochas avermelhadas da fácies **Aa**, composta por arenito fino com laminação cruzada e muscovita, intercalado com camadas milimétricas de pelito que localmente apresentam-se com uma laminação convoluta, caracterizada por pequenas dobras da ordem de milímetros.

Essa fácies é interpretada como pós-deposicional, formada pelo escape vertical da água pelos poros da areia inconsolidada (*e.g.* Selley, 1982).

Aag: *Arenito com estratificação cruzada de grande porte* – essa fácies é exclusiva da Formação Pedra Pintada e é formada por arenito médio com estratificação cruzada acanalada tangencial na base, caracterizada por *pin stripe*, em séries que variam em espessura de decímetros até cerca de 3 m e apresentam grande continuidade lateral, chegando a dezenas de metros (Figura 7e). Os contatos reconhecidos entre as séries e conjunto de séries são de três tipos: (i) superfície de reativação, (ii) superfície de superimposição e (iii) superfície de migração de interduna, conforme descrito por Mountney (2006). Pelas características descritas acima, interpretou-se que a fácies **Aag** representa depósitos de dunas eólicas barcanóides (Hunter, 1977).

Amg: *Arenito maciço com concentração de grânulos* – camadas tabulares com menos de 0,1 m de espessura e dezenas de metros de extensão, formada por arenito médio a grosso, maciço, com alta concentração de grânulos, podendo também apresentar seixos pequenos a médios (Figura 7f). Possui contato abrupto e erosivo na base e gradacional no topo, passando para a fácies **Aag**.

A fácies **Amg**, por apresentar grânulos e seixos, é interpretada como depósito subaquático, enquanto que sua espessura pequena, a alta concentração da fração granulométrica grossa e o contato gradacional com a fácies **Aag**, sugerem uma remoção da fração mais fina através de processos eólicos (*e.g.* Mountney, 2006).

Figura 7: Exemplos das fácies descritas - a) arenito médio com estratificação cruzada acanalada (**Aa**) e intraclastos de argila orientados segundo a estratificação; b) laminação cruzada em arenito com cavalcamento sub-crítico (**Alc**); c) gretas de contração em camada de pelito laminado (**Pl**); d) estrutura de escape de fluidos em arenito médio (**Apc**); e) arenito com estratificação cruzada acanalada de grande porte (**Aag**); f) camada com concentrado de grânulos e seixos (**Amg**) intercalada com séries da fácies **Aag**.

ELEMENTOS ARQUITETÔNICOS

As fácies sedimentares acima descritas encontram-se organizadas em corpos sedimentares maiores com geometria definida, aqui classificados com base no conceito de elementos arquitetônicos e hierarquia de superfícies limitantes (*e.g.* Miall, 1996). A hierarquização das superfícies limitantes para os depósitos de origem eólica segue a proposta de Mountney (2006). Um dos elementos arquitetônicos descritos neste trabalho, denominado *enchentes em lençol*, é uma nova proposta dos autores deste trabalho.

A seguir são descritos os elementos arquitetônicos encontrados em cada uma das unidades estudadas:

Formação Serra do Apertado

EL – *Enchentes em lençol*: este elemento arquitetônico apresenta geometria tabular, definida por contatos erosivos tanto em seu topo como base, grande continuidade lateral, podendo se estender por dezenas de metros, e espessura que varia aproximadamente de 1 a 3 m (Figuras 8, 9 e 10). A associação de fácies que o compõe é dada pelas seguintes fácies: *arenito médio com estratificação cruzada acanalada* (**Aa**), *arenito fino com estratificação cruzada acanalada* (**Afa**), *arenito com laminação plano-paralela* (**Al**), *arenito com laminação cruzada cavalgante* (**Alc**), *arenito com estratificação cruzada de baixo ângulo* (**Ab**), *arenito com estratificação cruzada planar* (**Ap**), *pelito laminado* (**Pl**) e *arenitos e pelitos convolutos* (**Apc**).

As fácies **Aa** e **Al** ocorrem de forma intercalada em séries limitadas por contatos erosivos e representam superfícies de 2ª ordem, que segundo Miall (1996), separam fácies formadas por processos distintos. Essa associação é predominante no elemento **EL** e a intercalação entre essas duas fácies é muito frequente (Figura 9), sugerindo um ambiente com constantes variações de vazão e espessura da lâmina d'água. As fácies **Alc**, **Ap** e **Ab** são menos frequentes e ocorrem intercaladas com a fácies **Aa**, indicando também a alternância entre regimes de maior e menor vazão durante a deposição.

O topo do elemento **EL**, quando preservado da erosão, é marcado pela fácies **Pl** que se estende lateralmente por dezenas de metros, normalmente sobrepondo séries da

fácies **Al**. No topo do elemento **EL** ocorre a transição das fácies **Aa** para **Al** e finalmente **Pl**, respectivamente de baixo para cima no empilhamento estratigráfico, indicando a passagem do regime de fluxo inferior para o superior, decorrente da diminuição da espessura da lâmina d'água, até a estagnação total do fluxo e eventual exposição subaérea (Figura 8). Acima da fácies **Pl**, as associações descritas anteriormente se repetem, formando pacotes de 1 a 3 m de espessura, que representam ciclos de aumento e diminuição de vazão (Figura 10). Segundo Miall (1996) as superfícies que delimitam esses ciclos são de 3ª ordem e indicam uma mudança de estágio, mas não uma mudança significativa no estilo de sedimentação.

Características do elemento **EL**, tais como o caráter unidirecional de corrente, formas de leito arenosas a conglomeráticas formando preenchimento de escavações pequenas e rasas que se entrecortam, a geometria tabular e os ciclos de grande variação de vazão, apontam para um modelo deposicional de canais efêmeros com fluxo desconfinado (Miall, 1985; Tirsgaard e Øxnevad, 1998; Bridge, 2006).

A fácies **Afa** ocorre intercalada com a fácies **Aa** e apresenta contatos erosivos na base e no topo, definindo superfícies que indicam períodos em que as barras do rio ficavam emersas tempo suficiente para permitir o retrabalhamento por processos eólicos (Figura 8).

A fácies **Apc** ocorre de forma pontual no interior das séries das fácies **Aa** e **Al** e foi encontrada em diversos locais ao longo de toda a sucessão estudada na Formação Serra do Apertado (Figuras 7d, 8 e 9).

Figura 8: Fotomosaico do elemento arquitetônico **EL** em afloramento da Formação Serra do Apertado (coordenadas UTM E0277301 e N6585047), em sua seção tipo nos flancos da Serra do Apertado. Predominam séries de arenito com estratificação cruzada acanalada da fácies **Aa**. Observa-se que as superfícies de 3ª ordem são sempre sobrepostas por camadas pelíticas da fácies **PI** e sobrepõe laminações plano-paralelas da fácies **AI**. Pontualmente as estratificações cruzadas acanaladas da fácies **Aa** encontram-se convolutas, (centro esquerdo da foto) assim como pelitos da fácies **PI** (canto direito superior da foto). Ordens das superfícies segundo Miall (1996).

Figura 9: Fotomosaico do elemento arquitetônico **EL** da Formação Serra do Apertado (coordenadas UTM E0283453 e N6589070). Observa-se uma frequente intercalação entre as fácies **Aa** e **Al**. No contato entre essas duas fácies predominantes ocorrem superfícies de 2ª ordem que indicam mudanças no processo de deposição, interpretadas como variações de vazão e espessura da lâmina d'água. Ordens das superfícies segundo Miall (1996).

Figura 10: Fotomosaico do elemento arquitetônico **EL** em afloramento da Formação Serra do Apertado (coordenadas UTM E0277301 e N6585047). Observa-se que as superfícies de 3ª ordem definem uma geometria tabular aos depósitos. Notar uma série de arenito fino acanalado da fácies **Afa** (canto superior esquerdo da foto), interpretada como retrabalhamento eólico de barras emersas. Intercalada com as séries da fácies **Aa** ocorrem laminações cruzadas cavalgantes da fácies **Alc** (canto inferior direito da foto). Ordens das superfícies segundo Miall (1996).

Formação Pedra Pintada superior

DB – *Dunas barcanóides*: este elemento é caracterizado pelas fácies *arenito com estratificação cruzada de grande porte (Aag)*, *arenito maciço com concentração de grânulos (Amg)* e *pelito laminado (Pl)*, possui contatos superior e inferior definidos por superfície erosiva de baixo ângulo, entre 2 a 6° de inclinação, e apresenta geometria tabular, com espessura da ordem dezenas de metros e continuidade lateral chegando a centenas de metros.

A fácies **Aag** é predominante no elemento **DB** e ocorre como uma sucessão de séries com contatos erosivos na base, que se entrecortam. Os contatos erosivos que delimitam as séries são *superfícies de superimposição* (*sensu* Mountney, 2006), que refletem a erosão causada pelo processo de migração das mesmas (Figura 11). No interior das séries também ocorrem superfícies erosivas, que separam estratificações cruzadas adjacentes com ângulos de inclinação ligeiramente distintos. Esses contatos erosivos interiores às séries são *superfícies de reativação* e são truncadas pelas superfícies de superimposição (Figura 11).

O contato erosivo na base da fácies **Amg** trunca as superfícies de superimposição da fácies **Aag**, de forma que as duas fácies ocorrem intercaladas. A superfície erosiva gerada pela fácies **Amg** possui grande continuidade lateral, apresenta baixo ângulo de mergulho e sentido de mergulho oposto ao sentido de migração das dunas da fácies **Aag**, definindo assim uma *superfície de migração de interdunas* (Figuras 11 e 12). Segundo Mountney (2006), uma superfície de migração de interduna marcada por um nível de grânulos e seixos, como é o caso da fácies **Amg**, pode representar um pavimento de deflação em interduna seca.

A fácies **Pl** ocorre na forma de lentes pouco espessas, com continuidade lateral de poucos metros e apresenta gretas enroladas, em contato no topo com a base erosiva das dunas da fácies **Aag**. Devido a essa associação no elemento **DB**, a fácies **Pl** representa interdunas úmidas e isoladas, tendo em vista sua geometria, corroborando para a hipótese de que as formas de leito da fácies **Aag** são dunas barcanóides. A espessura centimétrica desses depósitos e sua ocorrência isolada em sucessões dominadas pela fácies **Aag** não permitem sua individualização como um elemento

arquitetônico. Quando fácies semelhantes apresentam maior espessura, são individualizadas no elemento **IF**, descrito abaixo.

IF – *Interdunas fluviais*: O elemento **IF** apresenta geometria tabular, com contato erosivo tanto na base como no topo, chegando a ter espessura de pelo menos 25 m (Figura 4) e continuidade lateral da ordem de centenas de metros. As fácies que o compõe são: *arenito médio com estratificação cruzada acanalada (Aa)*, *arenito com laminação plano-paralela (Al)*, *arenito com estratificação cruzada de baixo ângulo (Ab)*, *arenito com laminação cruzada cavalgante (Alc)* e *pelito laminado (Pl)*.

As fácies **Aa** e **Al** ocorrem intercaladas, com espessura entre 0,4 a 0,9 m, **Ab**, **Alc** e **Pl**, com espessura de 0,1 a 0,4 m, em séries apresentando contatos erosivos. Essa sucessão caracteriza um ambiente subaquático com intercalação entre formas de leito de regime de fluxo inferior e superior, indicando constantes variações de vazão (Figura 12). A presença dos pelitos da fácies **Pl** indica estagnação do fluxo. Observou-se que verticalmente o elemento **IF** está intercalado com o elemento **DB**, sendo que o contato erosivo que os separa possui baixo ângulo e é paralelo às superfícies de migração de interdunas do elemento **DB** (Figura 12). Não foi possível estabelecer a relação lateral entre esses elementos, mas como **IF** e **DB** possuem geometria compatível, mesmo ângulo de mergulho e estão intercalados, interpreta-se que o elemento **IF** corresponde a um ambiente de interdunas com influência fluvial marcadas por grandes variações de fluxo.

Figura 11: Foto-mosaico do elemento arquitetônico **DB** em afloramento da Formação Pedra Pintada superior, a leste das Minas do Camaquã (coordenadas UTM E280212 e N6574898). Predominam séries de arenito com estratificações cruzadas de grande porte da fácies **Aag**. Observa-se uma superfície de migração de interduna que trunca as superfícies de superimposição, com ângulo baixo de mergulho e sentido de mergulho contrário ao das estratificações cruzadas. Ao longo de toda a superfície de migração de interduna ocorrem camadas com concentrados de grânulos. Ordens das superfícies segundo Miall (1996).

Figura 12: Foto-mosaico dos elementos arquitetônicos **DB**, abaixo, e **IF**, acima, separados por uma superfície erosiva de 4ª ordem, em afloramento da Formação Pedra Pintada superior (coordenadas UTM E280212 e N6574898). O elemento **IF** apresenta arenitos com laminação plano paralela da fácies **AI** e estratificação cruzada acanalada da fácies **Aa**, com seixos e grânulos abundantes. Observa-se que a superfície de 4ª ordem que define o contato entre os elementos **IF** e **DB** é concordante com a superfície de migração de interduna do elemento **DB**. Ordens das superfícies segundo Miall (1996).

SUPERFÍCIE LIMITANTE REGIONAL

O contato entre as formações Pedra Pintada e Serra do Apertado foi descrito como uma superfície erosiva regional por Almeida (2005) e Almeida *et al.* (2009), interpretada como o limite entre as fases de subsidência mecânica e térmica da bacia. Nas seções estudadas, a superfície basal da formação Serra do Apertado de fato se apresenta como uma discordância erosiva, ora sobre arenitos eólicos e ora sobre sucessões de interdunas fluviais da Formação Pedra Pintada. No segundo caso, uma marcante mudança na composição e forma dos seixos caracteriza o limite, sendo que fácies conglomeráticas da Formação Pedra Pintada apresentam seixos predominantemente angulosos a subangulosos de milonitos e rochas metamórficas de baixo grau – litotipos semelhantes aos encontrados no embasamento imediatamente adjacente a leste – enquanto os seixos na porção basal da Formação Serra do Apertado são predominantemente arredondados e compostos por granitos, vulcânicas ácidas e quartzo de veio. Desta forma, ficam caracterizadas fontes mais distantes para a formação Serra do Apertado, corroborando a hipótese de subsidência das ombreiras do *rift* nesta fase.

DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

A análise de fácies e de elementos arquitetônicos realizadas nas Formações Pedra Pintada superior e Serra do Apertado permitiram a caracterização dos seus depósitos e a interpretação do paleoambiente no qual se formaram.

Na Formação Serra do Apertado foi reconhecido um único tipo de elemento arquitetônico, chamado aqui de elemento **EL**, que apresenta geometria tabular, cerca de 3 m de espessura e dezenas de metros de continuidade lateral, interpretado como produto de um ambiente fluvial efêmero, devido às associações de fácies que demonstram a existência de ciclos de grande variação de vazão, que se repetem durante a deposição dessa unidade. Tal interpretação corrobora o modelo de clima árido a semi-árido proposto por De Ros, Morad e Paim (1994) para o Grupo Guaritas, pois atualmente nesse tipo de clima são comuns eventos de enchentes esporádicas que geram rios efêmeros caracterizados por uma grande variação de vazão (Tooth, 2000). Por outro lado, considerando-se a ausência de vegetação em ambientes continentais anteriores ao Siluriano, sistemas aluviais semelhantes poderiam desenvolver-se também em climas mais úmidos (*e.g.* Schumm, 1968; Tirsgaard e Øxnevad, 1998; Long, 2006; Eriksson, *et al.* 2006; Davies e Gibling, 2010).

Foram observados, no elemento **EL**, depósitos eólicos em associação com depósitos fluviais, o que foi interpretado como um retrabalhamento eólico dos sedimentos de barras fluviais emersas.

Nas exposições da Formação Pedra Pintada superior da região da Serra do Apertado foram reconhecidos dois tipos de elementos arquitetônicos: (i) **DB**, que apresenta geometria tabular, dezenas de metros de espessura e continuidade lateral de centenas de metros, é interpretado como produto de um campo de dunas eólicas barcanóides, devido à sua associação de fácies dominada por estratificações cruzadas acanaladas de grande porte e a apresentar superfícies erosivas de superimposição, reativação e migração de interdunas, e (ii) o elemento **IF**, também apresentando geometria tabular, espessura de poucas dezenas de metros e continuidade lateral de centenas de metros, cujo ambiente de formação foi interpretado como de interdunas

fluviais pelo fato de apresentar associação de fácies dominada por formas de leito subaquáticas, ocorrer intercalado com o elemento **DB** e apresentar geometria e ângulo de mergulho compatíveis com esse último.

O detalhamento da descrição da Formação Serra do Apertado, unidade de topo do Grupo Guaritas, baseou-se em estudos das fácies, elementos arquitetônicos e levantamento de colunas estratigráficas, que permitiram caracterizar essa nova unidade em sua área-tipo, localizada nos flancos da serra homônima. A caracterização da aparente exclusividade do elemento **EL** na Formação Serra do Apertado contrasta com descrições detalhadas da Formação Guarda Velha (Paim, 1994; Almeida, 2005; Santos, 2010), que relatam elementos de preenchimento de canais e abundância de lentes conglomeráticas. Desta forma, a suposição original de Almeida (2005) e Almeida *et al.* (2009) de semelhança de fácies e arquitetura deposicional entre as formações Guarda Velha e Serra do Apertado não foi confirmada pelo presente estudo, permitindo o estabelecimento de critérios descritivos de distinção entre as unidades. Tais diferenças revelam maior retrabalhamento eólico na Formação Serra do Apertado e, possivelmente, fluxo mais episódico, sugerindo, de forma preliminar, clima mais árido que aquele da Formação Guarda Velha.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, R. P. Tectônica e sedimentação do Ediacarano ao Ordoviciano: exemplos do Supergrupo Camaquã (RS) e do Grupo Caacupé (Paraguai Oriental). 2005. 203 f. Tese de doutoramento em Geologia Sedimentar – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

ALMEIDA, R. P.; JANIKIAN, L.; FRAGOSO-CESAR, A. R.; MARCONATO, A. Evolution of a rift basin dominated by subaerial deposits: the Guaritas Rift, Early Cambrian, Southern Brasil. *Sedimentary Geology*, Amsterdam, v. 217, p. 30-51, 2009.

BECKER, M. R.; FERNANDES, L. A. D. Caracterização faciológica de uma sequência vulcano-sedimentar eo-paleozóica na folha de Passo do Tigre (RS). *Acta Geológica Leopoldensia*, v. 6, n. 13, p. 287-322, 1982.

BOGGS, S. *Principles of sedimentology and stratigraphy*. Englewood Cliffs: N. J. Prentice Hall, 1995. 774 p.

BRIDGE, J. S. Fluvial facies models: recent developments. In: POSAMENTIER, H. W.; WALKER, R. G. (eds.). *Facies Models Revisited*. Oklahoma: Society for Sedimentary Geology, 2006. p. 85-170.

DAVIES, N. S. ; GIBLING, M. R. Cambrian to Devonian evolution of alluvial systems: The sedimentological impact of the earliest land plants. *Earth-Science Reviews*, 98, 171-200, 2010.

DE ROS, L. F.; MORAD, S.; PAIM, P. S. G. The role of detrital composition on the diagenetic evolution of continental molasses: evidences from the Cambro-Ordovician Guaritas Sequence, southern Brazil. *Sedimentary Geology*, Amsterdam, v. 92, p. 197-228, 1994.

ERIKSSON, P. G.; BUMBY, A. J.; BRÜMER, J. J. ; van der NEUT, M. Precambrian fluvial deposits: Enigmatic palaeohydrological data from the c. 2-1.9 Ga Waterberg Group, South Africa. *Sedimentary Geology*, 190, 25-46, 2006.

FACCINI, U. F.; PAIM, P. S. G.; FRAGOSO-CESAR, A. R. S. Análise faciológica das molassas brasileiras na região das Minas do Camaquã, Eo-paleozóico do RS. In: SBG, SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 3., 1987. Curitiba, Atas, 1, 1987. p. 75-91.

FIELDING, C. R. Upper flow regime sheets, lenses and scour fills: Extending the range of architectural elements for fluvial sediment bodies. *Sedimentary Geology*, Amsterdam 190, 227-240, 2006.

FRAGOSO-CESAR, A. R. S. Evolução paleoambiental e tectônica da Bacia do Camaquã: uma introdução. 1984. 105 f. Dissertação de mestrado, UFRGS, Porto Alegre. 1984.

FRAGOSO-CESAR, A. R. S. O Cráton Rio de La Plata e o Cinturão Dom Feliciano no Escudo Uruguaio-Sul-Riograndense. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31, 1980 Camboriu, Anais, 5, 1980. p. 2879-2892.

FRAGOSO-CESAR, A. R. S. Tectônica de placas no Ciclo Brasileiro: as orogenias dos Cinturões Dom Feliciano e Ribeira no Rio Grande do Sul. 1991. 366 f. Tese de doutoramento – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 1991.

FRAGOSO-CESAR, A. R. S.; FACCINI, U. F.; PAIM, P. S. G.; LAVINA, E. L.; ALTAMIRANO, J. A. F. Revisão na estratigrafia das molassas do Ciclo Brasileiro no Rio Grande do Sul. In: SBG, II SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 1985. Florianópolis, Anais, 1985. p. 477-491.

FRAGOSO-CESAR, A. R. S.; LAVINA, E. L.; PAIM, P. S. G.; FACCINI, U. F. A antefossa molássica do Cinturão Dom Feliciano no Escudo do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33, 1984. Rio de Janeiro, Anais, 7, 1984. p. 3272-3283.

FRAGOSO-CESAR, A. R. S.; SILVA FILHO, W. F.; FAMBRINI, G. L.; MACHADO, R.; RICCOMINI, C.; ALMEIDA, R. P.; PELOSI, A. P. M. R.; JANIKIAN, L. Significado tectônico do magmatismo Rodeio Velho no Rift Guaritas (Eopaleozóico do Rio Grande do Sul, Brasil). In: SIMPÓSIO SOBRE VULCANISMO E AMBIENTES ASSOCIADOS, 1999, Gramado, boletim de resumos, 1999. p. 16.

HUNTER, R. E. Basic types of stratification in small eolian dunes. *Sedimentology*, Oxford, v. 24, p. 361-387, 1977.

KELLY, S. B.; OLSEN, H. Terminal fans – a review with reference to Devonian examples. *Sedimentary Geology*, Amsterdam, v. 85, p. 339-374, 1993.

LAVINA, E. L.; FACCINI, U. F.; PAIM, P. S. G.; FRAGOSO-CESAR, A. R. S. Ambientes de sedimentação da Bacia do Camaquã, eo-paleozóico do Rio Grande do Sul. *Acta Geologica Leopoldensia*, v. 21, n. 9, p. 185-227, 1985.

LONG, D. G. F. Architecture of pre-vegetation sandy-braided perennial and ephemeral river deposits in the Paleoproterozoic Athabasca Group, northern Saskatchewan, Canada as indicators of Precambrian fluvial style. *Sedimentary Geology*, 190, 71-95, 2006.

LOPES, R. C.; WILDNER, W.; SANDER, A.; CAMOZZATO, E. Alogrupo Guaritas: aspectos gerais e considerações sobre o posicionamento do vulcanismo Rodeio Velho (encerramento do Ciclo Brasileiro ou instalação da Bacia do Paraná?). In: SIMPÓSIO SOBRE VULCANISMO E AMBIENTES ASSOCIADOS, 1999, Gramado, RS, Boletim de resumos, 1999. p. 17.

MARCONATO, A.; ALMEIDA, R. P.; SANTOS, M. G. M.; NÓBREGA, J. E. S.; SOUZA, R. B. Alluvial-eolian interaction in a Cambrian rift margin: the Pedra das Torrinhas and Pedra Pintada formations (Guaritas Group, RS). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, v. 81, n. 4, p. 819-836, 2009.

MIALL, A. D. Architectural-element analysis: a new method of facies analysis applied to fluvial deposits. *Earth-Science Reviews*, Amsterdam, v. 22, p. 261-308, 1985.

MIALL, A. D. Facies analysis. In: MIAL, A. D. *Principles of sedimentary basin analysis*. Berlin: Springer-Verlag, 2000. p. 141-248.

MIALL, A. D. Methods of architectural-element analysis. In: MIAL, A. D. *The geology of fluvial deposits: sedimentary facies, basin analysis and petroleum geology*. Berlin: Springer-Verlag, 1996. p. 75-98.

- MILANI, E. J.; THOMAZ FILHO, A. Sedimentary basins of South America. In: CORDANI, U. G.; MILANI, E. J.; THOMAZ FILHO, A.; CAMPOS, D. A. (eds.). *Tectonic evolution of South America*. Rio de Janeiro, 2002. p. 389-449.
- MOUNTNEY, N. P. Eolian facies models. In: POSAMENTIER, H. W.; WALKER, R. G. (eds.). *Facies Models Revisited*. Oklahoma: *Society for Sedimentary Geology*, 2006. p. 19-83.
- NICHOLS, G. Processes of transport and sedimentary structures. In: NICHOLS, G. *Sedimentology and Stratigraphy*. Oxford: Blackwell Science, 1999. p. 287-322.
- NOBREGA, J. E. S. Proveniência sedimentar do Grupo Guaritas, Cambriano da Bacia do Camaquã (RS). 2011. 47 f. Dissertação de mestrado – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.
- PAIM, P. S. G. Depositional systems and paleogeographical evolution of the Camaquã and Santa Barbara Basins, Brazil. 1994. 277 f. Doctor Thesis, Oxford. 1994.
- PAIM, P. S. G. Alluvial paleogeography of the Guaritas depositional sequence of southern Brasil. In: PLINT, A. G. (ed.). *Sedimentary Facies Analysis*. International Association of Sedimentologists Special Publication 22, 1995, p. 3-16.
- PAIM, P. S. G. O sistema desértico úmido Pedra Pintada (cambro-ordoviciano do RS). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39. 1996. Salvador, Boletim de Resumos Expandidos, 2, 1996. p. 207-209.
- PAIM, P. S. G.; CHEMALE JR. F.; LOPES, R. C. A Bacia do Camaquã. In: HOLTZ, M.; DE ROS, L. F. (eds.). *Geologia do Rio Grande do Sul*. CIGO/ UFRGS, 2002. p. 231-274.
- PAIM, P. S. G.; FACCINI, U. F.; NETTO, R. G.; NOWATZKI, C. H. Estratigrafia de sequências e sistemas deposicionais das bacias do Camaquã e Santa Bárbara, Eopaleozóico do RS (Brasil). *Série Correlación Geológica*, Universidad Nacional de Tucumán, v. 9, p. 41-45, 1992.

PAIM, P. S. G.; SCHERER, C. M. S. Arquitetura estratigráfica de sucessões flúvio-eólicas: o exemplo do Alogrupo Guaritas na região da Pedra Pintada, Rio Grande do Sul, Brasil. In: PAIM, P. S. G.; FACCINI, U. F.; NETTO, R. G. (eds.). *Geometria, arquitetura e heterogeneidades de corpos sedimentares – Estudo de casos*. Unissinos, 2003. p. 38-58.

PAIM, P. S. G.; SCHERER, C. M. S. High-resolution stratigraphy and depositional model of wind and water-laid deposits in the ordovician Guaritas rift (Southernmost Brazil). *Sedimentary Geology*, Amsterdam, v. 203, p. 776-795, 2007.

READING, H. G.; LEVELL, B. K. Controls on the sedimentary rock Record. In: READING, H. G. (ed.). *Sedimentary environments and facies*. Oxford: Blackwell Scientific, 1986. 5-36 p.

RIBEIRO, M. Geologia da folha de Bom Jardim, Rio Grande do Sul, Brasil. *Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia DNPM*, Rio de Janeiro, n. 247, p. 1-142, 1970.

RIBEIRO, M.; BOCCHI, P. R.; FIGUEIREDO F^o, P. M.; TESSARI, R. I. Geologia da quadrícula de Caçapava do Sul. Rio de Janeiro: DNPM/ DFPM, 1966, 232 p. (boletim 127).

RIBEIRO, M.; LICHTENBERG, E. Síntese da Geologia do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30, 1978, Recife, Anais, 6, 1978. p. 2451-2463.

ROBERTSON, J. F. Revision of stratigraphy and nomenclature of rock units in Caçapava-Lavras region. *Notas e estudos*, Porto Alegre, IG-UFRGS, v. 1, n. 2, p. 41-54, 1966.

SCHERER, C. M. S.; PAIM, P. S. G.; MELO, M. A. Estratigrafia de alta resolução em sucessões flúvio-eólicas: o exemplo do Alogrupo Guaritas (Bacia do Camaquã) na localidade da Pedra Pintada, Rio Grande do Sul, Brasil. In: I ENCONTRO SOBRE A ESTRATIGRAFIA DO RIO GRANDE DO SUL: ESCUDOS E BACIAS, Porto Alegre, Anais, 2003, p. 99-103.

SCHUMM, S. A. Speculations concerning the palaeo-hydraulic controls of terrestrial sedimentation. *Geological Society of America Bulletin*, 79, 1573–1588, 1968.

SELLEY, R. C.. An introduction to sedimentology. London: Academic Press, 1982. 417 p.

TEIXEIRA, A. L.; GAUCHER, C.; PAIM, P. S. G.; FONSECA, M. M.; PARENTE, C. V.; SILVA FILHO, W. F.; ALMEIDA, A. R. Bacias do estágio da transição da Plataforma Sul-Americana. In: MANTESSO NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. D. R.; BRITO NEVES, B. B. (eds). *Geologia do Continente Sul Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. Beca, 2004, p. 487-537.

TIRSGAARD, H.; ØXNEVAD, I. E. I. Preservation of pre-vegetation mixed fluvio-aeolian deposits in a humid climatic setting: an example from the Middle Proterozoic Eriksfjord Formation, Southwest Greenland. *Sedimentary Geology*, Amsterdam, v. 120, p. 295-317, 1998.

WALKER, R. G. Facies, facies models and modern stratigraphic concepts. In: WALKER, R. G.; JAMES, N. P. (eds.). *Facies models and response to sea level change*. Geological Association of Canada Geotext 1, 1992. p. 1-14.

ANEXO 2

Análise de proveniência em arenitos conglomeráticos do Grupo Guaritas (RS) e suas implicações para o paleoclima e a paleogeografia da sub-bacia Camaquã Central no Eocambriano

Provenance analysis in conglomeratic arenites from the Guaritas Group (RS) and it's implications to the paleoclimate and paleogeography of Central Camaquã sub-basin in the Eocambrian

Lucas Padoan de Sá Godinho¹ (lucaspsgodinho@gmail.com)

Renato Paes de Almeida² (rpalmeid@usp.br)

André Marconato¹ (andre.marconato@usp.br)

Mauricio Guerreiro Martinho dos Santos¹ (mauricioguerreiro@yahoo.com)

Antonio Romalino Santos Fragoso-Cesar² (romalino@usp.br)

¹Programa de Geoquímica e Geotectônica – Instituto de Geociências – Universidade de São Paulo, Rua do Lago, nº 562, CEP 05508-080, São Paulo, SP, Brasil

²Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental – Instituto de Geociências – Universidade de São Paulo, Rua do Lago, nº 562, CEP 05508-080, São Paulo, SP, Brasil

Número de palavras: 10.660 ; **total de figuras e de tabelas:** 11

Resumo

O Supergrupo Camaquã, localizado na região centro-sul do Rio Grande do Sul, Brasil, constitui uma bacia sedimentar pós-orogênica do tipo *rift*, cuja deposição ocorreu em ambiente continental entre o Ediacarano e o Eocambriano. O topo da sucessão do Supergrupo Camaquã é representado pelo Grupo Guaritas, uma unidade formada por depósitos fluviais, eólicos e de leques aluviais que abriga importantes registros da sedimentação logo após o final das orogêneses neoproterozóicas que deram origem ao supercontinente Gondwana. O objetivo do presente trabalho foi aplicar a análise de proveniência sedimentar em arenitos conglomeráticos e conglomerados do Grupo Guaritas, a fim de explorar a história da evolução tectônica e climática dessa unidade. Com base nos dados composicionais de seixos foram reconhecidas duas áreas fonte principais para os depósitos dessa unidade, uma mais distal e situada a norte, relacionada a um sistema de rio tronco paralelo ao eixo principal da bacia, e outra mais

proximal e situada a leste, relacionada a sistemas fluviais transversais e de leques aluviais da borda da bacia. O confronto dos dados de proveniência com estudos anteriores de fácies e paleocorrentes sugere que durante toda a evolução da borda leste da bacia houve um mesmo sistema fluvial transversal, cuja área de captação sofreu reduções significativas devido à reativação da falha da borda leste durante a deposição das Formações Varzinha e Pedra Pintada. Na Formação Serra do Apertado, unidade de topo do Grupo Guaritas, foi verificada uma alta correlação entre a variação dos seixos de composição quartzosa e não quartzosa, cuja causa foi atribuída a variações entre climas mais úmidos e mais áridos.

Palavras-chave: Grupo Guaritas, análise de proveniência, seixos, paleogeografia, paleoclima.

Abstract

The Camaquã Supergroup, located in the central-south region of Rio Grande do Sul, Brazil, constitutes a rift-type post-orogenic sedimentary basin, which deposition occurred in a continental environment between the Ediacaran and the Eocambrian. The upper succession of the Camaquã Supergroup is represented by the Guaritas Group, a unit formed by fluvial, eolian and alluvial fan deposits that keeps important records of the sedimentation right after the end of the neoproterozoic orogenesis that gave rise to the Gondwana supercontinent. The objective of the present work was to apply sedimentary provenance analysis in conglomeratic arenites and conglomerates of the Guaritas Group, in order to explore the climatic and tectonic evolution history of this unit. Based on the pebble compositional data, two main source areas were recognized for the deposits of this unit, a more distal one located to the north, related with a trunk river system parallel to the basin main axis, and a more proximal one located to the east, related to transversal fluvial systems and alluvial fans at the basin border. The comparison of the provenance data with previous studies on facies and paleocurrent suggests that during the entire evolution of the basin east border there was a transversal fluvial system, whose catchment area suffered significative reductions due to the reactivation of the east border fault during the deposition of the Varzinha and Pedra Pintada Formations. The Serra do Apertado Formation, the Guaritas Group upper unit, shows a high correlation between the variation of quartzose and non quartzose pebbles composition, which cause was attributed to a variation between more humid and more arid climatic conditions.

Key-words: Guaritas Group, provenance analysis, pebbles, paleogeography, paleoclimate.

INTRODUÇÃO

O Grupo Guaritas é uma unidade sedimentar formada em uma bacia do tipo *rift* durante o Eocambriano, que ocorre sobre as rochas do embasamento do Rio Grande do Sul (Fragoso-Cesar, 1991), sendo composta por depósitos continentais de ambientes de rios dominados por carga de fundo, rios dominados por carga mista, campos de dunas eólicas e leques aluviais (Paim, 1994; Almeida, 2005). Dessa forma, tais depósitos abrigam um registro muito raro e fértil para estudos das relações entre sedimentação e variações tectônicas e climáticas num período pré-vegetação terrestre (Tisgaard e Øxnevad, 1998; Long 2006; Davies e Gibling 2010).

A análise de proveniência sedimentar é um método que vem sendo muito utilizado no estudo do comportamento tectônico das áreas fonte, assim como das variações climáticas e geomorfológicas que participam do contexto da sedimentação, constituindo uma importante ferramenta na reconstituição de paleoambientes deposicionais (e.g. Graham *et al.*, 1986; Dürr, 1996; Jones, 2000). Até hoje foram realizados poucos estudos sistemáticos sobre a composição dos depósitos do Grupo Guaritas, em especial de sua unidade de topo recém descoberta, a Formação Serra do Apertado (Almeida, 2005), de forma que mais investigações científicas nesse âmbito podem contribuir para uma aproximação dos fenômenos tectônicos e climáticos que participaram de sua evolução.

No presente estudo foi realizada a análise de proveniência nas cinco unidades pertencentes ao Grupo Guaritas, sendo elas, da base para o topo, Formações Guarda Velha, Varzinha, Pedra Pintada, Pedra das Torrinhas (correlata lateralmente às duas últimas) e Serra do Apertado (*sensu* Almeida, 2005), tendo em vista dois objetivos principais: (i) comparar as características composicionais das unidades acima citadas e testar a eficácia do método utilizado para o estudo de variações tectônicas e climáticas e (ii) detalhar os estudos de proveniência e paleocorrentes da recém descoberta Formação Serra do Apertado.

MÉTODOS

Análise de proveniência macroscópica

A análise de proveniência no estudo de rochas sedimentares é utilizada para reconstituir a composição das rochas parentais que serviram como fonte para o sedimento (Weltje e Eynatten, 2004). No presente estudo a análise de proveniência macroscópica foi realizada através da contagem de seixos em arenitos conglomeráticos e conglomerados, abundantes na área de estudo. A metodologia utilizada baseia-se nas propostas de Dürr (1994) e Marconato (2010).

Para cada sítio de observação foram contados todos os clastos maiores que 0,5 cm, como seixos, calhaus e matacões, contidos em uma ou mais áreas retangulares, totalizando aproximadamente 300 seixos por estação de medida. Trinta e cinco (35) estações foram analisadas, com um total de 10.800 seixos contados. Apesar da proposta original de Dürr (1994) sugerir que a contribuição de cada litotipo para o depósito seja expressa em grandeza de volume, no presente estudo essa variável foi expressa em grandeza de área, pois os afloramentos não permitem uma exposição tridimensional dos seixos. Segundo Marconato (2010) a estimativa da contribuição dos litotipos em área, similarmente a estimativa por volume, minimiza os possíveis erros advindos da simples contagem de frequência, que por sua vez não considera a relação entre o tamanho do clasto e o litotipo que representa. A estimativa por área pode ser feita atribuindo-se um parâmetro de forma para o seixo e medindo-se seus eixos maior e menor (Marconato, 2010).

Análise estatística dos dados de proveniência

Os dados de composição de seixos foram tratados através da análise estatística multivariada, pois essa permite facilitar a interpretação acerca dos dados quando há uma grande quantidade de variáveis atribuídas a cada unidade de observação (Davis, 1986). Os dados foram tratados como composicionais, ou seja, todas as variáveis de uma mesma unidade de observação estão inter-relacionadas e a variação em uma delas acarreta obrigatoriamente na variação das demais, sendo que a soma de todas elas

chegam a uma dada constante, como por exemplo 100, se forem expressas em porcentagem, ou 1, se forem expressas como partes por unidade (Pawlowsky-Glahn e Egozcue, 2006).

Uma vez que os dados composicionais não podem ser diretamente tratados através de métodos estatísticos convencionais, devido à suas propriedades intrínsecas, utilizou-se a transformação logarítmica (Aitchson, 1986; Pawlowsky-Glahn e Egozcue, 2006) a fim de representá-los como dados independentes de vetores e que podem ser aplicados à análise multivariada de dados. A técnica de transformação adotada foi a razão logarítmica centrada (clr) por se aplicar melhor à análise multivariada de dados (Pawlowsky-Glahn e Egozcue, 2006). Anteriormente ao procedimento de transformação logarítmica acima mencionado, os valores iguais a zero, que representam litotipos que possivelmente não ocorrem na unidade de observação ou não foram detectados pelo método de amostragem utilizado, foram substituídos pelos valores do mínimo erro amostral relacionado à sua ocorrência, segundo o método introduzido por Marconato (2010).

GEOLOGIA REGIONAL

O Grupo Guaritas é uma unidade sedimentar com mais de 1.500 m de espessura (Almeida, 2005) que ocorre na região sul do estado do Rio Grande do Sul, com depósitos siliciclásticos de ambiente continental que se formaram no Eocambriano, em bacia do tipo *rift* (Fragoso-Cesar, *et al.* 2003; Paim e Scherer, 2007; Almeida, *et al.* 2009). Constitui a unidade de topo do Supergrupo Camaquã, que por sua vez apresenta ao todo mais de 10.000 m de espessura e é subdividida em cinco unidades principais, sendo elas, da base para o topo: Grupo Maricá (depósitos fluviais e de mar raso continental), Grupo Bom Jardim (depósitos fluviais intercalados a rochas vulcânicas), Formação Acampamento Velho (rochas vulcânicas e vulcanoclásticas ácidas e básicas), Grupo Santa Bárbara (depósitos fluviais e de leques aluviais) e Grupo Guaritas (depósitos fluviais, eólicos e de leques aluviais) (Ribeiro *et al.*, 1966; Fragoso-Cesar *et al.*, 2000; Almeida, 2005; Janikian *et al.*, 2008).

A área onde aflora o Grupo Guaritas possui formato alongado, com cerca de 50 km de largura e mais de 150 km de comprimento, e seu eixo longitudinal é orientado segundo a direção NE-SW (Figura 1). Segundo estudos de mapeamento de detalhe realizados por Almeida (2005), o Grupo Guaritas se subdivide em cinco unidades (Figura 2). Da base para o topo, tais unidades são as formações Guarda Velha (ambiente fluvial dominado por carga de fundo), Varzinha (ambiente fluvial dominado por carga mista), Pedra Pintada (ambiente eólico com interdunas), Pedra das Torrinhas (ambiente de leques aluviais, lateralmente correlato às Formações Varzinha e Pedra Pintada) e Serra do Apertado (ambiente fluvial dominado por carga de fundo) (Almeida, 2005). Dentro do Grupo Guaritas ocorrem também intrusões de magmas básicos a intermediários, denominados Suíte Intrusiva Rodeio Velho (Almeida, 2005; Paim e Scherer, 2007).

Figura 1: Mapa geológico da Bacia do Camaquã e áreas adjacentes. Extraído de Almeida (2005).

Durante a história de deposição do Supergrupo Camaquã ocorreram eventos tectônicos que culminaram no soerguimento de altos estruturais internos à bacia, dividindo-o em três Sub-Bacias, denominadas Camaquã Ocidental, Camaquã Central e Camaquã Oriental (Fragoso-Cesar *et al.*, 2000; Almeida, 2005). A Sub-Bacia Camaquã Central, onde encontra-se o Grupo Guaritas, é delimitada tanto a leste como a oeste por zonas de falhas de alto ângulo e direção NNE-SSW. No contato a leste situa-se o alto da

Serra das Encantadas, com rochas do Cinturão Dom Feliciano, e a oeste ocorre o Alto de Caçapava do Sul, com rochas do Terreno Rio Vacacaí e intrusivas mais jovens (Fragoso-Cesar, 1991). Ao norte a Sub-Bacia Camaquã Central apresenta contato com rochas Paleozóicas da Bacia do Paraná, definido por uma discordância erosiva, e a sul o contato é tectônico com rochas do Cinturão Dom Feliciano e Terreno Rio Vacacaí (Almeida, 2005).

Estágios	W	Arquitetura da Bacia	E
Pós-rifte inicial	<p>Fm. Serra do Apertado</p>		
Rifte-clímax intermediário a tardio	<p>Fm. Pedra das Torrinhas Fm. Varzinha</p> <p>Fm. Pedra Pintada</p> <p>Fm. Pedra das Torrinhas Fm. Varzinha</p>		
Rifte-clímax inicial	<p>Fm. Guarda Velha</p>		
Início do rifte

Adaptada de Almeida *et al.* (2009)

Figura 2: Carta estratigráfica do Grupo Guaritas, mostrando as relações laterais e verticais entre suas unidades, segundo Almeida *et al.* (2009). Extraído de Nóbrega (2011).

A seguir será apresentado um breve panorama das unidades geológicas que afloram adjacentes ao Supergrupo Camaquã, para que possa servir de embasamento para as discussões posteriores a respeito dos resultados obtidos da proveniência sedimentar.

O Cinturão Dom Feliciano

O Cinturão Dom Feliciano é uma faixa de dobramentos que data do Proterozóico Médio a Superior e, dentro do Rio Grande do Sul, é subdividida em três unidades principais: Faixa Tijucas, Batólito Pelotas e Batólito Encruzilhada do Sul (Fragoso-

Cesar, 1991). A Faixa Tijucas é constituída por terrenos metamórficos alóctones, ou *nappes*, possui formato alongado com eixo maior orientado segundo NE-SW. O Terreno Serra das Encantadas é sua unidade mais proximal com relação ao Grupo Guaritas, apresentando contato tectônico direto com o mesmo, e é formado predominantemente pelos Granitos Miloníticos Porongos, que reúnem granitos miloníticos, quartzomilonitos e quartzomica-xistos, além de escamas tectônicas de gnaisses do embasamento antigo e metassedimentos, como mármore, quartzitos e metapelitos. As demais unidades são compostas essencialmente por xistos micáceos com protólitos vulcânicos e sucessões rítmicas de metapelitos, essencialmente xistos (Fragoso-Cesar, 1991).

O Batólito Pelotas é uma unidade multi-intrusiva que data do Pré-Cambriano Superior, representando uma área mais distal em relação ao Grupo Guaritas (Fragoso-Cesar, 1991). Sua maior unidade, a Suíte Granítica Dom Feliciano, que se estende de Santa Catarina ao Uruguai, é composta por diversos corpos intrusivos limitados por falhas, tipicamente com sienogranitos e, em menor quantidade, monzogranitos, que variam texturalmente entre granitos porfíricos róseos-acinzentados e granitos equigranulares grossos avermelhados-róseos. Na borda oeste do Batólito Pelotas, que apresenta contato com a Faixa Tijucas, ocorre uma faixa estreita e alongada de sienogranitos e monzogranitos de cor branca, denominados Leucogranitos Cordilheira. Outras unidades importantes do Batólito Pelotas são o Complexo Granítico-Gnáissico Pinheiro Machado, Gabros Passo da Fabiana, pequenos Plútons Alcalinos e Rochas Hipoabissais e Efusivas, dentre as quais se destacam os Diques Riolíticos Asperezas - enxames de diques com espessura de centímetros a dezenas de metros e extensão de até alguns quilômetros (Fragoso-Cesar, 1991).

O Batólito Encruzilhada do Sul localiza-se a NE do Grupo Guaritas, podendo ser considerado também uma área mais distal com relação ao último, apresenta contato a leste com o Batólito Pelotas, a oeste com a Faixa Tijucas, a norte com a Bacia do Paraná e, a noroeste, com o a Sub-Bacia Camaquã Oriental. O Batólito Encruzilhada do Sul é subdividido nas seguintes unidades: Gnaisses Chanã, Anortosito Capivari, Monzogranito Pitangueiras, Suíte Granítica Encruzilhada do Sul, Sienito Piquiri e stocks graníticos tardios (Fragoso-Cesar, 1991). Sua unidade granítica mais abundante, a Suíte Granítica Encruzilhada do Sul, é composta por sienogranitos e monzogranitos

com textura grossa e porfírica, que localmente passa de forma gradacional para fácies equigranulares rosadas, similares às rochas graníticas da Suíte Dom Feliciano (Fragoso-Cesar, 1991).

O Cinturão Ribeira no Rio Grande do Sul

O Cinturão Ribeira é um orógeno com idade Meso-Proterozóica a Eo-Paleozóica, que se estende desde o estado da Bahia até o Uruguai (Hasui, Carneiro, Coimbra, 1975; Almeida e Hasui, 1984), sendo subdividido em sua porção meridional, no Rio Grande do Sul, nas unidades Terreno Rio Vacacaí, Orógeno Bom Jardim e Plataforma Carbonática Pedreiras (Fragoso-Cesar, 1991). A Plataforma Carbonática Pedreiras aflora em uma pequena área a leste do Alto de Caçapava do Sul, estando diretamente em contato com a borda oeste da Sub-Bacia Camaquã Central. É constituída essencialmente por mármore dolomíticos, com intercalações de quartzitos, meta-margas e rochas básicas (Fragoso-Cesar, 1991).

O Terreno Rio Vacacaí reúne ofiolitos, escamas tectônicas dos Gnaisses Cambaí e rochas supracrustais. As Supracrustais Vacacaí, caracterizadas por rochas metavulcano-sedimentares, metagrauvacas, xistos e filitos, e o Granito Caçapava do Sul, unidade heterogênea predominantemente composta por granodioritos e monzogranitos com foliação metamórfica, ocorrem na região do Alto de Caçapava do Sul, portanto localizadas em uma área proximal em relação ao Grupo Guaritas (Fragoso-Cesar, 1991; Almeida, 2005). Nas áreas a oeste da Sub- Bacia Camaquã Ocidental ocorrem rochas vulcânicas ácidas a intermediárias da Formação Acampamento Velho e Grupo Bom Jardim, rochas siliciclásticas do Grupo Maricá e granitóides dos *stocks* Lavras do Sul, Jaguari e Santo Afonso, que podem ser diferenciados do Granito Caçapava do Sul por apresentarem granulação mais grossa, estrutura maciça e localmente textura *rapakivi* (Almeida, 2005).

TRABALHOS ANTERIORES SOBRE A PROVENIÊNCIA SEDIMENTAR DO GRUPO GUARITAS

Robertson (1966) foi um dos pioneiros na pesquisa da Bacia do Camaquã e definiu a Formação Guaritas, descrevendo-a como rochas de estrutura acamadada predominantemente horizontal, constituídas por brechas de talus, fanglomerados e arcósios de granulação grossa. Desde então já descreve que as brechas de talus basais da unidade são compostas por seixos e blocos de xistos e granitos, com contribuições locais de clastos provenientes do Membro Andesito Martins. Também descreve que as camadas superiores apresentam seixos com composição representativa de toda a região no entorno e que apresentam maior grau de seleção, com seixos mais bem arredondados, o que interpreta como retrabalhamento de sedimentos da Formação Santa Bárbara.

Posteriormente Ribeiro *et al.* (1966) descrevem que na Formação Guaritas as áreas fonte tiveram controle secundário na composição dos seixos, que é dominada por quartzo, quartzito ou rochas resistentes e que são geralmente bem arredondados, exceto em regiões muito próximas a área fonte. Segundo o mesmo autor, os sedimentos das porções superiores da Formação Guaritas possuem contribuição de rochas metamórficas.

O primeiro trabalho sistemático que trata da proveniência das fácies fluviais, eólicas e de leques aluviais do Grupo Guaritas é o de De Ros, Morad e Paim (1994). Esses autores classificaram os depósitos do Grupo Guaritas como molássicos, majoritariamente constituídos por arcósios líticos e litoarenitos, com fragmentos líticos de rochas vulcânicas ácidas (principalmente riolitos), rochas metamórficas (metapelitos e mármore) e rochas plutônicas (granitos e gnaisses). Também atestaram que processos diagenéticos, como dissolução de feldspatos, podem influenciar na interpretação de ambientes de proveniência por alterar a composição original dos sedimentos e interpretaram, com base em minerais diagenéticos precoces, clima árido a semi-árido durante a deposição do Grupo Guaritas.

Borba *et al.* (2003) realizam análises isotópicas pelos métodos Rb-Sr e Sm-Nd em depósitos pelíticos fluviais, lateralmente correlatos às fácies de arenitos eólicos, na borda leste do Grupo Guaritas. Valores elevados da razão isotópica $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ indicam áreas fonte muito ricas em potássio. Comparando seus resultados com demais dados isotópicos das áreas adjacentes, reconhecem similaridade com rochas do Cinturão Dom Feliciano situadas a leste, principalmente os metagranitos Quitéria, Arroio Francisquinho e Cordilheira, e subordinadamente rochas vulcânicas da Formação Acampamento Velho e das suítes graníticas Pinheiro Machado e Encruzilhada do Sul. Não reconhecem similaridade com as rochas metamórficas do Complexo Porongos e com o Gnaiss Encantadas, interpretando que tais unidades poderiam estar soterradas ou impedidas de sofrer erosão.

Almeida (2005) descreve em linhas gerais a composição de seixos em sucessões aluviais do Grupo Guaritas e compara algumas diferenças apresentadas entre suas unidades, levando em conta seus elementos arquitetônicos. O autor descreve que ambas as Formações Guarda Velha e Serra do Apertado apresentam sentido de paleocorrentes para SW e geralmente seixos arredondados, dominados por rochas vulcânicas ácidas, granitos e quartzo de veio, o que interpreta como indicativo de fontes mais distais situadas ao norte da bacia. Diferentemente, na Formação Pedra das Torrinhas e porções proximais da Formação Varzinha, predominam clastos angulosos de quartzo milonitos e filonitos, cuja área fonte reside a leste, na Serra das Encantadas. Na Formação Pedra das Torrinhas a proveniência dos seixos também pode ser controlada pelos tipos de ambientes deposicionais, como os elementos arquitetônicos **LD** (lobos de fluxo de detritos), com predomínio de filitos, e **CE** (canais de rios efêmeros), com granitos e vulcânicas ácidas (Almeida, 2005).

Em seguida, Hartmann, Santos e McNaughton (2008) aplicam o método de datação U-Pb em cristais de zircão de um arenito pertencente ao Grupo Guaritas, encontrando duas populações principais de zircões, a mais abundante com idade entre 2260 e 2004 Ma, que relacionam ao ciclo Transamazônico, e outra com idade entre 844 e 535 Ma, que relacionam ao ciclo Brasileiro, além de uma quantidade menor de cristais com idades Arqueana (2525-2766 Ma), Paleoproterozóica (1995-1634 Ma) e Mesoproterozóica (1352-1369 Ma). Com base nesse estudo interpretam que a principal

fonte para os sedimentos do Grupo Guaritas foram rochas do ciclo Transamazônico, com idades entre 2260 e 2004 Ma.

Nóbrega, Sawakushi e Almeida (2008) fazem um estudo de proveniência através de minerais pesados, definindo alguns critérios comparativos entre as unidades do Grupo Guaritas. A Formação Serra do Apertado se diferencia das Formações Pedra Pintada e Varzinha por possuir maior grau de retrabalhamento sedimentar, acusado por valores de índice ZTR mais elevados, e maior contribuição direta de fontes ígneas, devido à maior abundância de cristais euédricos de zircão. Segundo Nóbrega, Sawakushi e Almeida (2008), rochas graníticas teriam atuado como principal área fonte para o Grupo Guaritas, devido ao predomínio da associação mineralógica zircão-apatita-turmalina-granada encontrada.

Posteriormente, Marconato *et al.* (2009) apresentam estudos de proveniência em depósitos de leques aluviais, referentes à Formação Pedra das Torrinhas, e fluviais entrelaçados, pertencentes à Formação Serra do Apertado, próximos da borda leste do Grupo Guaritas. Identificam que apesar das paleocorrentes similares em ambos ambientes de sedimentação, com sentido do vetor resultante para NW, na Formação Pedra das Torrinhas predominam seixos compostos por quartzo milonito e granito milonítico, com menor contribuição de clorita xistos, enquanto na Formação Serra do Apertado a proveniência é mais diversificada, com seixos e calhaus de granitos, granitos miloníticos, riolitos e quartzo milonitos. A partir desses dados, interpretam que a área fonte dos leques aluviais situava-se próxima à borda da bacia, onde afloram os Granitos Miloníticos Porongos (*sensu* Fragoso-Cesar, 1991), enquanto os rios entrelaçados apresentavam maior área de captação, devido à diversidade de litotipos encontrada.

Almeida *et al.* (2009) realizam contagens de seixos em cada uma das unidades do Grupo Guaritas, utilizando tais dados como um dos suportes na interpretação da evolução da bacia do “*rift* Guaritas” e de sua paleogeografia. Segundo seus estudos, as fases de iniciação e clímax primário do *rift*, representadas pela Formação Guarda Velha, são marcadas por um sistema fluvial axial, com transporte para SW, e seixos compostos predominantemente por granitos e rochas vulcânicas arredondadas, indicando proveniência de fontes distais situadas a norte. As fases de clímax médio a tardio do *rift*, representadas pelas Formações Varzinha, Pedra das Torrinhas e Pedra Pintada,

apresentam sistemas de leques aluviais e de rios efêmeros com transporte para W, com abundância de seixos de granitos miloníticos e quartzo milonitos, indicando fontes situadas a leste. Em algumas porções da Formação Varzinha e nas fácies de interdunas do sistema eólico da Formação Pedra Pintada, ocorrem seixos de granitos e rochas vulcânicas, similares à proveniência do sistema fluvial axial. Por fim, no estágio pós-*rift*, representado pela Formação Serra do Apertado, tornariam a ocorrer seixos arredondados dominados por rochas graníticas e vulcânicas, com transporte para SW, indicando novamente o domínio de um sistema fluvial axial.

ANÁLISE DE PROVENIÊNCIA

Foram coletados dados de proveniência em 35 sítios de amostragem distintos, nas Formações Guarda Velha, Varzinha, Pedra Pintada, Pedra das Torrinhas e Serra do Apertado (*sensu* Almeida, 2005; Almeida *et al.*, 2009). A distribuição espacial dos sítios de amostragem na área de estudo, assim como as unidades estratigráficas às quais pertencem, estão representadas no mapa da Figura 3.

Os seixos, calhaus e matações descritos em arenitos conglomeráticos e conglomerados foram agrupados em treze classes de litotipos distintas, sendo elas: *andesito*, *aplito*, *arenito*, *metassedimentos* – que inclui filitos, xistos, filonitos, metaconglomerados e metarenitos, *granitos* – que inclui granitos, sienogranitos, monzogranitos e monzodioritos, podendo apresentar biotita ou anfibólio, *granitos miloníticos* – granitos, monzogranitos, sienogranitos e quartzo monzonitos milonitizados, *leucogranito*, *pegmatito*, *quartzito* – que inclui quartzitos maciços e orientados, *quartzo de veio*, *quartzo milonito*, *riolito* – que inclui riolitos e vulcânicas ácidas, e *sienito*.

Os dados composicionais obtidos a partir da contagem de seixos serão representados a seguir através da estatística descritiva, como gráficos de porcentagem das classes de seixos observadas (Tabelas 1 e 2), e da análise estatística multivariada, que permite uma melhor visualização dos diferentes grupos de dados quando se tem uma grande quantidade de variáveis que interagem entre si, que representam as diversas classes de seixos descritas no caso deste estudo. A técnica multivariada que melhor se adequou para representar o conjunto de dados do presente estudo foi a análise por principais componentes, que é utilizada para mostrar a importância relativa de cada variável de um sistema, segundo a equação (1) (Davis, 1986). Essa técnica consiste em reduzir o número de variáveis, a fim de facilitar a comparação entre os conjuntos de dados, sem que ocorra uma perda de parte significativa da variância total.

$$Y_1 = \alpha_1 X_1 + \alpha_2 X_2 + \dots + \alpha_n X_n \quad (1)$$

$$Y_2 = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n$$

Onde Y corresponde às principais componentes, sendo que Y_1 contém uma maior porcentagem de variância que Y_2 e assim sucessivamente até Y_n , α e β correspondem a fatores de pesos proporcionais aos autovalores (*eigenvalues*) da matriz de variância-covariância, que somados resultam na variância total, e X corresponde às variáveis originais.

Formação Guarda Velha

Os depósitos da Formação Guarda Velha são interpretados como de ambiente fluvial dominado por carga de fundo (Almeida, 2005; Paim e Scherer, 2007) e nela foram realizadas contagens de seixos em dezesseis sítios de amostragem distintos com ampla distribuição lateral (Figura 2). Os seixos desta unidade são dominados pelas classes granito e riolito, que variam de 10,45 a 50,41% e 9,19 a 61,79% da composição total, respectivamente. Também ocorrem de forma expressiva as classes quartzo de veio, quartzo milonito, metassedimentos e granitos miloníticos e, em menor proporção, arenito, sienito, aplito, andesito, leucogranito e quartzito (Figura 4).

De acordo com os trabalhos de Paim (1995), Almeida (2005) e Santos (2010), a Formação Guarda Velha apresenta diferentes ambientes deposicionais que coexistiram lateralmente. Na região oeste e noroeste da unidade o ambiente deposicional é caracterizado por um sistema de rio tronco que corria paralelo à direção do eixo maior da bacia, como indicado pelas paleocorrentes com sentido de transporte para SW (Paim, 1995; Almeida, 2005). Nos depósitos situados a leste, na região da Serra das Guaritas, o ambiente deposicional é marcado por um sistema de rios transversais distributários, marcados por altas variações de vazão e paleocorrentes com sentido de transporte para NW (Paim, 1995; Santos, 2010). Os depósitos da base da Formação Guarda Velha são caracterizados por espessas camadas de conglomerados intercalados com arenitos conglomeráticos, que são interpretados por Almeida (2005) e Santos (2010) como depósitos da fase de iniciação do *rift*.

Figura 3: Mapa de localização dos pontos de amostragem dos dados para análise de proveniência macroscópica. Os pontos, na região central do mapa, localizam-se dentro do Grupo Guaritas, na Sub-Bacia Camaquã Central, que é delimitado a leste e a oeste respectivamente pelos altos da Serra das Encantadas e da Serra de Caçapava do Sul, que são visíveis no mapa como duas faixas de maior elevação, alongadas segundo a direção NNE-SSW. A legenda mostra as unidades estratigráficas às quais os pontos de amostragem pertencem. Imagem SRTM extraída de: <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/download/index.htm>

Tabela 1: Tabela de porcentagem das classes de seixos presentes em cada ponto de amostragem.

Pontos	Unidade	Andesito	Aplito	Arenito	Metassedimentos	Granitos Miloníticos	Granitos	Leucogranitos	Pegmatito	Quartzitos	Quartzo de Veio
1	Guarda Velha	5	0	0	0	2,34	23,93	14,22	0	0	9,71
2	Guarda Velha	0	0	0	2,26	7,62	10,45	2,64	0	1,28	15,09
3	Guarda Velha	1,99	0	0,1	0	22,68	15,15	0,24	0	0	14,68
4	Guarda Velha	0	0	0	0	11,95	22,1	1,64	0	0	10,29
5	Guarda Velha	1,03	0	0	0	10,37	25,01	0	0	2,26	4,01
6	Guarda Velha	3,61	0	0	0	13,27	31,57	0	0	3,73	1,66
7	Guarda Velha	0,09	0	0	0	10,24	23,37	0	0	4,23	9,2
9	Guarda Velha	0,11	0	0,23	0	7,45	29,83	0	0	0,76	21,34
10	Serra do Apertado	0	0,93	0	2,73	3,74	28,53	0	0,03	1,27	6,8
12	Serra do Apertado	0,45	0,38	0	0,8	7,51	40,62	0,66	0,68	4,59	11,65
13	Guarda Velha	0	0	7,57	1,24	1,26	14,7	0	0	4,2	14,43
15	Pedra das Torrinhas	0	0	0	2,28	5,8	0	0	0	0	0
16	Varzinha	1,04	0	2,83	22,78	22,18	0	0	0	0	0
17	Varzinha	1,27	4,62	0,17	5,07	7,46	16,38	5,17	0	0	5,5
18	Varzinha	0	5,72	0	4	11,14	21,82	2,12	0	0	6,47
19	Guarda Velha	1,04	0	1,57	6,66	0,99	40,32	0	0	0,16	21,89
19	Pedra das Torrinhas	0	0	0,31	80,41	1,23	9,9	0	0	0	0
20	Guarda Velha	0	2,55	4,71	5,42	2,14	12,69	0	0	0	10,13
21	Guarda Velha	0	0	1,36	8,56	5,22	42,99	0	0	0	6,86
22	Guarda Velha	0	0,2	0	5,77	0,44	24,71	1,12	0	0	33,92
23	Guarda Velha	0	2,68	0	0,28	12,43	50,41	0	0	0	16,31
24	Varzinha	0	2,82	0	3,13	0,99	11,58	0	0	0	72,42
25	Guarda Velha	0	2,81	0,41	5,36	1,93	31,57	9,2	0	0	15,07
26	Guarda Velha	0	0,65	0,16	4,78	6,89	35,58	1,38	0	0	13,3
27	Pedra Pintada	0	0	0	39,2	2,67	1,72	0	0	0	4,86
28	Serra do Apertado	0	0	0	1,72	2,57	34,41	1,94	0	0	8,89
29	Pedra Pintada	0	0	0	2,2	13,59	1,31	0	0	0	10,97
29	Serra do Apertado	0	0	0	1,52	6,05	19,4	0	0	0	8,06
30	Pedra Pintada	0	0	0	2,58	4,23	6,68	0	0	0	7,64
30	Serra do Apertado	0	0,41	0	0,19	2,73	27,37	0	0	0	25,54
31	Serra do Apertado	0	0	0	0,85	0,38	57,54	4,88	0	0	5,61
32	Serra do Apertado	0	0	0	3,04	3,19	29,25	0,15	0	0	21,54
33	Serra do Apertado	0	0	0	4,37	6,4	23,61	0	0	0	35,12
34	Serra do Apertado	0	0,16	0	0,72	2,93	42,01	0	0	0	25,8
35	Serra do Apertado	0	0	0	1,42	2,33	47,43	0	0	0	13,31

Figura 4: Tabela de porcentagem das classes de seixos destacando as proporções relativas entre cada ponto de amostragem. A ordem dos pontos encontra-se aproximadamente de acordo com a estratigrafia do Grupo Guaritas, sendo que os depósitos mais antigos encontram-se na base e os mais recentes no topo. *a* – depósitos da fase de iniciação do *rift*; *b* – depósitos do sistema de rios transversais distributários; *c* – depósitos do sistema de rio tronco; *d* – depósitos da borda leste da unidade; *e* – depósitos da região central da unidade; *f* – depósitos da porção estratigraficamente intermediária da unidade; *g* – depósitos do topo da unidade; *h* – depósitos da borda leste da unidade; *i* – depósitos da borda oeste da unidade.

A análise por principais componentes foi realizada para comparar a composição de seixos entre os diferentes sítios de amostragem e avaliar se ocorrem agrupamentos composicionais internos a essa unidade. As principal componente 1 (PC1) e a principal componente 2 (PC2), que correspondem respectivamente a 32,3% e 18,2% da variância total do conjunto de dados, podem ser descritas pelas seguintes equações:

$$PC1 = 0,354and - 0,324apl - 0,265arn - 0,416mts + 0,337grn\ mil + 0,082grn - 0,124leuc + 0,316peg + 0,293qtzt - 0,202qtz\ veio + 0,217qtz\ mil - 0,025rio + 0,340sie$$

$$PC2 = 0,017and + 0,068apl - 0,336arn - 0,210mts + 0,235grn\ mil + 0,255grn + 0,484leuc + 0,031peg - 0,351qtzt + 0,326qtz\ veio + 0,352qtz\ mil + 0,239rio - 0,271sie$$

Onde *and* = andesito; *apl* = aplito; *arn* = arenito; *mts* = metassedimentos; *grn mil* = granito milonítico; *grn* = granito; *leuc* = leucogranito; *peg* = pegmatito; *qtzt* = quartzito; *qtz veio* = quartzo de veio; *qtz mil* = quartzo milonito; *rio* = riolito; *sie* = sienito.

O gráfico da Figura 5 mostra o resultado obtido através dessa análise multivariada.

Com base na Figura 5 é possível observar que dois agrupamentos principais foram gerados pela composição de seixos: um que apresenta valores exclusivamente positivos da primeira componente, variando entre valores positivos e negativos da segunda componente, e outro com valores exclusivamente negativos da primeira componente, que varia entre valores negativos e positivos da segunda. O gráfico da Figura 3 também mostra que há uma forte correlação entre os agrupamentos e os ambientes deposicionais de sistema de rio tronco, sistema de rios transversais e fase de iniciação de *rift* descritos na literatura.

Figura 5: Gráficos de espalhamento (*scatter plot*) (A) e de pesos (*loading plot*) (B) da análise por principais componentes a partir dos dados composicionais de seixos da Formação Guarda Velha. No gráfico é possível observar dois agrupamentos principais, um com valores positivos da primeira componente e outro com valores negativos da mesma, que se correlacionam com os diferentes tipos de ambientes deposicionais.

A oeste e noroeste os depósitos apresentam proporções mais baixas de granitos miloníticos e quartzo milonitos, variando de 0,44 a 12,43% e 0,00 a 22,32% respectivamente, enquanto na região da Serra das Guaritas as proporções dessas classes de seixos são mais elevadas, variando de 7,45 a 22,68% e 11,84 a 39,59% respectivamente, como pode ser observado no gráfico de pesos (*loading plot*) da Figura 5 (B) e na (Figura 4). Os depósitos das regiões oeste e noroeste também são mais polimíticos em relação aos depósitos situados a leste, ocorrendo comumente classes de seixos como metassedimentos, arenitos e, em menor proporção, aplitos. Já os depósitos situados na base da Formação Guarda Velha apresentam baixas proporções de classes de rochas miloníticas, variando de 7,4 a 10,44% e 1,93 a 6,89% para quartzo milonito e granitos miloníticos respectivamente, e são tão polimíticos como os depósitos do sistema de rio tronco, apresentando classes de seixos como aplito, andesito, arenito e leucogranito, mas se diferenciam desse último sistema por apresentarem proporções

mais elevadas de aplito e leucogranito, como pode ser observado no gráfico de pesos (*loading plot*) da Figura 5 (B) e na (Figura 4).

Dessa forma, as altas proporções de granitos miloníticos e quartzo milonitos observadas nos depósitos da Serra das Guaritas são interpretadas como contribuições de fontes situadas a leste, como os Granitos Miloníticos Porongos (*sensu* Fragoso-Cesar, 1991), correspondendo positivamente às interpretações de Santos (2010) sobre a presença de um sistema fluvial distributário transversal. A maior diversidade de litotipos nos depósitos das regiões oeste e noroeste indicam um sistema fluvial com maior área de captação e corrobora a interpretação de estudos anteriores da presença de um rio tronco nessa região (Paim, 1995; Almeida, 2005), com áreas fonte situadas a norte.

Nos depósitos da fase de iniciação do *rift* foi observado que a proveniência apresenta uma certa dicotomia, pois como pode ser observado no gráfico da Figura 5 os pontos 25 e 26, localizados no Passo da Guarda Velha, se assemelham mais aos depósitos de sistema de rio tronco, enquanto que o ponto 01, localizada no Passo do Cação, se assemelha aos depósitos do sistema de rios transversais distributários. Os estudos de Santos (2010) mostram que na região do Passo do Cação o elemento arquitetônico dominante é caracterizado por barras conglomeráticas espessas, com algumas intercalações com *sets* de arenitos conglomeráticos com estratificação cruzada acanalada, enquanto que na região do Passo da Guarda Velha a sucessão sedimentar se inicia com depósitos conglomeráticos espessos, mas seção acima grada para elementos mais ricos em fácies arenosas, caracterizando uma fase de transição para elementos arquitetônicos dominados por uma granulometria mais fina. Além de ter sido observada uma diferença de composição nos depósitos da fase de iniciação do *rift* Guaritas, os estudos de Santos (2010) mostram que ocorre uma diferenciação por tipos de fácies e granulometria dominantes.

Dessa forma, consideramos a hipótese de que a fase de iniciação do *rift* Guaritas apresenta diferentes áreas fonte que contribuíram para a formação de seus depósitos, com área fonte situadas a leste para depósitos dominados por fácies conglomeráticas, com presença de matacões, característicos de fontes mais proximais e com composição de seixos que se assemelha aos depósitos dos sistemas de rios transversais distributários,

e fontes situadas a norte para os depósitos com maior ocorrência de fácies areno-conglomeráticas, características de uma maior maturidade do sedimento transportado e com composição que se assemelha mais ao sistema de rio tronco.

Formação Varzinha

Os depósitos da Formação Varzinha são interpretados como de ambiente fluvial dominados por carga mista (Almeida, 2005; Paim e Scherer, 2007) e nela foram realizadas contagens de seixos em quatro sítios de amostragem, sendo três localizados na borda leste da unidade, próximos ao alto da Serra das Encantadas, e um na porção central da unidade. Nos depósitos da borda leste, correspondentes aos pontos de amostragem 17, 16 e 18 (Figura 3), a classe de seixos dominante é o quartzo milonito, que varia entre 26,51 e 48,54% da composição total, ocorrendo também em significativas proporções seixos das classes granitos miloníticos, granitos, riolitos e metassedimentos, e em menor proporção as classes aplitos, andesitos, arenitos, leucogranitos e sienitos (Tabela 2). Os depósitos da porção central, representados pelo ponto de amostragem 24 (Figura 2), são dominados por seixos de quartzo de veio, representando 72,42% da composição total, ocorrendo também quartzo milonitos, granitos, granitos miloníticos, aplitos, metassedimentos e sienitos (Figura 4).

A elevada proporção de quartzo de veio observada nos depósitos da porção central da Formação Varzinha possivelmente indica fontes mais distais e maior retrabalhamento. Como o quartzo de veio representa uma porcentagem muito pequena da rocha fonte, deve haver grandes distâncias de transporte para que se acumule em grandes quantidades no depósito, e possivelmente policiclicidade. Os depósitos situados a leste apresentam proporções mais elevadas de rochas miloníticas e metassedimentos, sugerindo que suas áreas fontes situam-se a leste, na Serra das Encantadas.

Segundo Almeida (2005) a Formação Varzinha apresenta paleocorrentes com sentido de transporte para sudoeste na região central da unidade, enquanto na borda leste da mesma o sentido de transporte é para noroeste. Dessa forma, as diferenças observadas entre as composições de seixos para as regiões central e leste da Formação Varzinha corroboram os dados de paleocorrentes de Almeida (2005), indicando

diferentes áreas fonte para a unidade. Os clastos depositados na região central provavelmente sofreram maior transporte e foram trazidos para a bacia por um rio com área de captação mais distal, provavelmente situadas a norte, enquanto os sedimentos depositados na região leste sofreram transporte mais curto e preservam bem a assembléia de litotipos de sua área fonte a leste, na Serra das Encantadas.

Formação Pedra Pintada

Os depósitos da Formação Pedra Pintada são interpretados como de ambiente de campos de dunas eólicas (Fragoso-Cesar, 1991; Paim, 1994; Almeida, 2005) com interdunas fluviais (Almeida, 2005; Paim e Scherer, 2007) e nela foram realizadas contagens de seixos apenas nas fácies subaquáticas em três sítios de amostragem, dois pertencentes ao topo da unidade, em contato com a Formação Serra do Apertado sotoposta, que correspondem aos pontos 29 e 30, e um situado em uma porção estratigraficamente intermediária da unidade, correspondente ao ponto 27 (Figura 3). Os depósitos de topo apresentam franco predomínio de seixos de quartzo milonito, que variam de 48,9 a 71,93% da composição total, ocorrendo em menores proporções clastos de granitos, granitos miloníticos, quartzo de veio, riolitos e metassedimentos (Figura 4). Os depósitos da porção intermediária da unidade apresentam significativa contribuição de metassedimentos e quartzo milonitos, que representam respectivamente 39,2 e 48,9% da composição total, ocorrendo também riolitos, granitos, granitos miloníticos e quartzo de veio (Figura 4).

Segundo dados de Almeida (2005), os depósitos de interdunas fluviais da Formação Pedra Pintada apresentam paleocorrentes com sentido de transporte principal para noroeste. A grande quantidade de quartzo milonito encontrada nos depósitos dessa unidade, assim como a presença em menor quantidade de rochas metamórficas de baixo grau, granitos e riolitos, indicam área fonte situada a leste, na Serra das Encantadas. Como as rochas pertencentes à classe metassedimentos são pouco resistentes ao transporte, sua maior presença em depósitos da porção intermediária da Formação Pedra Pintada pode indicar fontes mais proximais, ou climas mais áridos, enquanto que a diminuição em porcentagem da classe metassedimentos e aumento na de quartzo

milonito, quartzo de veio, granitos e riolitos para o topo da unidade pode representar fontes mais distais, ou climas mais úmidos.

Formação Pedra das Torrinhas

Os depósitos da Formação Pedra das Torrinhas são interpretados como de ambiente de leques aluviais e ocorrem predominantemente na borda leste da bacia do Grupo Guaritas, com ocorrências mais escassas na borda oeste (Almeida, 2005). Foram feitas contagens de seixos em dois sítios de amostragem, um situado na borda leste do Grupo Guaritas e outro situado na borda oeste. A leste, próximo ao Alto da Serra das Encantadas, predominam seixos de quartzo milonitos, que compõe 91,93% do total, ocorrendo também clastos de granitos miloníticos e metassedimentos (Figura 4). A oeste, próximo ao Alto de Caçapava do Sul, predominam seixos de metassedimentos, compondo 81,41% do total, ocorrendo também as classes granitos, riolitos, quartzo milonitos, granitos miloníticos e arenitos (Figura 4).

Os resultados indicam que os depósitos da Formação Pedra das Torrinhas provavelmente sofreram pouco transporte, como é mostrado pela alta angulosidade dos clastos e pela predominância de seixos das unidades localizadas nas bordas da bacia, como quartzo milonito a leste, no Alto da Serra das Encantadas, e metassedimentos a oeste, no Alto de Caçapava do Sul.

Formação Serra do Apertado

Os depósitos da Formação Serra do Apertado são interpretados como de ambiente fluvial dominado por carga de fundo (Almeida, 2005) e nela foram realizadas contagens de seixos em dez sítios de amostragem, sendo que oito estão localizados na região da Serra do Apertado, onde ocorre a seção tipo dessa unidade, e outros dois mais a sul, próximos ao Passo do Moinho, correspondentes aos pontos 28 e 29 (Figura 3). A composição dos seixos é tipicamente dominada pelas classes riolito e granito, que variam de 6,01 a 44,23% e 19,4 a 57,54% respectivamente, ocorrendo também quartzo de veio, quartzo milonito, granitos miloníticos, metassedimentos e, em menores proporções, leucogranito, pegmatito, quartzito, aplito e andesito (Figura 4).

Foi realizada a análise multivariada por principais componentes nesta unidade a fim de avaliar a possível ocorrência de agrupamentos composicionais por classes de seixos. As PC1 e PC2 correspondem respectivamente a 60,2% e 15,7% da variância total dos dados e são descritas pelas seguintes equações:

$$PC1 = -0,213and - 0,178apl + 0,336arn + 0,262mts + 0,215grn\ mil + 0,318grn - 0,025leuc - 0,335peg - 0,320qtzt + 0,315qtz\ veio + 0,341qtz\ mil + 0,224rio + 0,336sie$$

$$PC2 = 0,178and - 0,459apl + 0,009arn - 0,029mts - 0,415grn\ mil + 0,121grn + 0,681leuc - 0,151peg - 0,206qtzt - 0,186qtz\ veio - 0,058qtz\ mil - 0,056rio + 0,009sie$$

Onde *and* = andesito; *apl* = aplito; *arn* = arenito; *mts* = metassedimentos; *grn mil* = granito milonítico; *grn* = granito; *leuc* = leucogranito; *peg* = pegmatito; *qtzt* = quartzito; *qtz veio* = quartzo de veio; *qtz mil* = quartzo milonito; *rio* = riolito; *sie* = sienito.

O gráfico da Figura 4 mostra o resultado obtido através dessa análise estatística multivariada.

Com base no gráfico da Figura 6 é possível observar que ocorrem dois agrupamentos principais internos à Formação Serra do Apertado. O agrupamento que reúne a maior quantidade de pontos de amostragem apresenta valores positivos da primeira componente e possui uma grande variação ao longo do eixo da segunda componente, que se deve a uma variação nas proporções das classes de seixos que ocorrem entre os leucogranitos e os granitos miloníticos, como pode ser observado no gráfico de pesos (*loading plot*) da Figura 6 (B). O outro agrupamento, que reúne apenas dois pontos de amostragem, correspondentes aos pontos 10 e 12 (Figura 6 (A)), apresenta valores negativos da primeira componente devido à presença de classes de seixos raras como andesitos, aplitos e quartzitos que o torna mais polimítico que o outro agrupamento, como pode ser observado no gráfico de pesos (*loading plot*) da Figura 6 (B) e na Tabela 2, e varia entre valores positivos e negativos da segunda componente.

Figura 6: Gráficos de espalhamento (*scatter plot*) (A) e de pesos (*loading plot*) (B) da análise por principais componentes a partir dos dados composicionais de seixos da Formação Serra do Apertado. Ocorrem dois agrupamentos, um com valores positivos da primeira componente, que abrange a maior quantidade de pontos, e outro com valores negativos da primeira componente.

A análise de paleocorrentes nos depósitos da Formação Serra do Apertado, realizada neste trabalho, reuniu ao todo 139 medições distribuídas por seis estações de medidas. As paleocorrentes medidas a partir de estratificações cruzadas acanaladas apresentam uma grande dispersão, mas o vetor médio indica sentido de transporte predominante para noroeste, como pode ser observado no mapa de distribuição das paleocorrentes da Figura 7. A presença de seixos das classes quartzo milonito, granito milonítico e metassedimentos em praticamente todos os sítios onde foram feitas contagens de seixos remetem a uma área fonte situada a leste, corroborando assim os dados de paleocorrente obtidos.

Figura 7: Mapa da distribuição das paleocorrentes da Formação Serra do Apertado na região da serra homônima. As paleocorrentes foram medidas a partir de estratificações cruzadas acanaladas e laminações cruzadas cavalgantes. Os diagramas em roseta mostram que em todos os afloramentos analisados o sentido principal do transporte é para NW ou NNW. *n* – número de medições.

Seis dos sítios de amostragem na região da Serra do Apertado encontram-se alinhados perpendicularmente à direção do acamamento local (N27E/8NW), na seção geológica A- A' (Figuras 8 e 9), e compreendem depósitos desde a base da Formação Serra do Apertado, que apresenta contato com a Formação Pedra Pintada sotoposta, até uma porção intermediária da unidade que neste local apresenta espessura mínima de 695 m (Figura 9).

Figura 8: Mapa de pontos da seção geológica A – A'. Na porção W da imagem situa-se a Serra do Apertado, alinhada segundo a direção NE – SW, e é possível observar que os pontos de amostragem encontram-se alinhados perpendicularmente à direção principal da mesma. Imagem de satélite extraída de: <http://maps.google.com.br>

A Figura 9 mostra que ao longo da seção geológica A – A', indicada no mapa de pontos da Figura 8, a proporção entre seixos de composição quartzosa e não quartzosa apresentam uma variação vertical significativa. Do ponto SA-30 que está situado na base da Formação Serra do Apertado até o ponto SA-31, que representa a região estratigraficamente intermediária da seção geológica, a proporção de seixos da classe quartzo de veio passa gradativamente de 25,54 para apenas 5,61%, enquanto a classe quartzo milonito sofre um aumento do ponto SA-30 ao SA-35, variando de 9,56 para 21,37%, mas no ponto SA-31 diminui abruptamente para 8,83%. As proporções das classes quartzo de veio e quartzo milonito começam a aumentar gradativamente a partir do ponto SA-31 indo sentido ao ponto SA-33, que representa a porção mais recente dos depósitos na seção, variando de 5,61 e 8,83% para 35,12 e 24,48%, respectivamente.

Figura 9: Seção geológica A – A' e gráfico de porcentagem de seixos por sítios de amostragem. Na seção geológica é possível observar que os sítios de amostragem estão alinhados segundo o rumo de mergulho do acamamento local, de forma que os depósitos tornam-se progressivamente mais recentes para NW. O gráfico de porcentagem em barras mostra a variação na composição dos seixos ao longo da estratigrafia da Formação Serra do Apertado neste local.

Ainda na Figura 9 é possível observar que do ponto SA-30 ao SA-31 a proporção da classe granitos aumenta gradativamente, passando de 27,37 para 57,54%, enquanto a classe riolito sofre uma diminuição do ponto SA-30 ao SA-35, variando de 34,2 a 14,14%, mas aumenta abruptamente para 21,82% no ponto SA-31. No ponto SA-31 ocorre o aparecimento de mais uma classe de seixos não quartzosos, os leucogranitos, com expressão de 4,98%. A partir do ponto SA-31 em sentido ao ponto SA-33 ambas as proporções das classes granitos e riolito sofrem uma diminuição

gradual, passando de 57,54 e 21,82% para 23,61 e 6,01% respectivamente, e a classe leucogranitos desaparece.

A variação descrita acima mostra que do ponto SA-30 para o ponto SA-31 a proporção de seixos não quartzosos, como granitos e riolito, sofre um aumento significativo enquanto a proporção dos seixos quartzosos, como quartzo de veio e quartzo milonito, sofrem uma diminuição. Essa tendência se inverte do ponto SA-31 para o SA-33, onde a proporção de seixos não quartzosos diminui gradativamente e a de seixos quartzosos aumenta.

Comparação da proveniência entre as unidades do Grupo Guaritas

Através da análise estatística multivariada por principais componentes foi possível realizar uma comparação entre todas as variáveis de classes de seixos das unidades estratigráficas do Grupo Guaritas, a fim de testar a hipótese preliminar de que as informações providas pela análise de proveniência sedimentar poderiam apontar critérios de descrição das unidades estratigráficas com base na composição dos seixos, podendo assim ser utilizadas para auxiliar no reconhecimento e distinção no campo de cada unidade estratigráfica do Grupo Guaritas. As PC1 e PC2 correspondem respectivamente a 25,6% e 17,2% da variância total do conjunto de dados e são expressas pelas seguintes equações:

$$PC1 = 0,176and - 0,106apl + 0,075arn + 0,133mts + 0,437grn\ mil - 0,452grn - 0,157leuc + 0,216peg + 0,074qtzt - 0,384qtz\ veio + 0,344\ qtz\ mil - 0,380rio + 0,227sie$$

$$PC2 = 0,450and - 0,408apl - 0,088arn - 0,490mts + 0,057grn\ mil + 0,116grn - 0,156leuc + 0,189peg + 0,515qtzt + 0,069qtz\ veio - 0,102qtz\ mil + 0,158rio - 0,020sie$$

Onde *and* = andesito; *apl* = aplito; *arn* = arenito; *mts* = metassedimentos; *grn mil* = granito milonítico; *grn* = granito; *leuc* = leucogranito; *peg* = pegmatito; *qtzt* = quartzito; *qtz veio* = quartzo de veio; *qtz mil* = quartzo milonito; *rio* = riolito; *sie* = sienito.

O gráfico da Figura 10 mostra o resultado obtido para o teste estatístico supracitado.

Figura 10: Gráfico de espalhamento (*scatter plot*) e de pesos (*loading plot*) da análise estatística por principais componentes dos dados composicionais de seixos de todo o Grupo Guaritas. A legenda mostra os agrupamentos de cada unidade. A grande dispersão dos dados, mesmo dentro de uma mesma unidade, deve-se provavelmente à diversidade de sistemas deposicionais e/ ou áreas fonte.

Com base no gráfico da Figura 10 é possível observar que a Formação Guarda Velha é a que apresenta maior variação composicional, com valores predominantemente negativos da primeira componente, que se deve às grandes quantidades de seixos das classes granitos e riolito nessa unidade, com a exceção dos pontos 03, 05, 06 e 07, pertencentes à região leste da unidade, na Serra das Guaritas, que possuem valores positivos devido a presença das classes andesito, quartzito milonito e granitos miloníticos na sua composição (Figura 10 (B)). A Formação Guarda Velha apresenta grande variação ao longo do eixo da segunda componente, com valores negativos e positivos, que se deve principalmente pelas variações entre as classes quartzito e metassedimentos (Figura 10 (B)). Essa grande dispersão apresentada pela Formação Guarda Velha pode

refletir seus diferentes ambientes deposicionais, que acarretam em diferentes áreas fonte e processos de transporte, no entanto, outra explicação para a dispersão de dados observada seria a maior amostragem realizada nessa unidade, assim como sua maior espessura e área aflorante com relação às demais formações.

A maioria dos pontos de amostragem da Formação Varzinha encontram-se em um agrupamento com valores negativos da primeira componente, devido à presença de classes de seixos como granitos, riolito e quartzo milonito em sua composição, e negativos da segunda componente, principalmente devido à presença das classes aplito e leucogranito (Figura 10 (B)). Apenas o ponto de amostragem 16 apresenta valores positivos da primeira componente e não está inserido no mesmo agrupamento que os demais pontos, pois apresenta proporções mais elevadas de quartzo milonito, granitos miloníticos e metassedimentos, demonstrando uma forte contribuição das áreas proximais situadas a leste, no alto da Serra das Encantadas. Nota-se que o ponto de amostragem 24, pertencente à Formação Varzinha, se assemelha ao ponto 23, pertencente à Formação Guarda Velha, devido à presença da classe de seixos aplito na composição de ambos, como pode ser observado no gráfico de pesos da Figura 10 (B) e na Figura 4.

Todos os pontos de amostragem da Formação Pedra Pintada apresentam-se em um mesmo agrupamento, com valores positivos da primeira componente e negativos da segunda componente, o que reflete a grande influência da classe quartzo milonito, que é predominante, na composição dos seixos dessa unidade (Figura 10 (B) e Figura 4). Tal assinatura composicional indica uma área fonte muito proximal à leste no alto da Serra das Encantadas.

Na Formação Pedra das Torrinhas, os pontos de amostragem apresentam valores positivos da primeira componente, com uma grande variação ao longo desse eixo, e valores negativos da segunda componente. A grande variação ao longo do eixo da primeira componente é reflexo da presença das classes metassedimentos ou quartzo milonito como tipo de seixo predominante no depósito (Figura 10 (B) e Figura 4), indicando que a unidade possui áreas fonte distintas, situadas nas bordas oeste e leste da bacia do Grupo Guaritas, respectivamente. Vale notar que o ponto 19, pertencente à Formação Pedra das Torrinhas, se assemelha ao ponto 27, pertencente à Formação

Pedra Pintada, que se deve à expressiva proporção de seixos da classe metassedimentos em ambos os pontos de amostragem, como pode ser observado no gráfico de pesos da Figura 10 (B) e na Figura 4.

A maioria dos pontos de amostragem da Formação Serra do Apertado formam um agrupamento principal que apresenta valores negativos da primeira componente, devido à expressiva quantidade das classes granitos, riolito e quartzo de veio na unidade, e valores negativos ou próximos à origem da segunda componente, por conta de pequenas contribuições das classes aplito e leucogranito (Figura 10 (B) e Figura 4). Os pontos de amostragem 10 e 12 destoam dos demais, apresentando valores positivos da segunda componente, o que se deve principalmente pela presença da classe quartzitos em sua composição. Vale ressaltar que os pontos 10 e 12 assemelham-se muito aos pontos 02 e 03 pertencentes à Formação Guarda Velha, respectivamente, por também apresentarem seixos da classe quartzito em sua composição além de uma forte influência das classes granitos, riolito e quartzo de veio, como pode ser observado no gráfico de pesos da Figura 10 (B) e na Figura 4.

PALEOGEOGRAFIA E PALEOCLIMA

Com base nos estudos de proveniência e análise de paleocorrentes realizados no presente trabalho, somados às descrições e análises de paleocorrentes disponíveis na literatura, percebe-se que os depósitos fluviais da região leste das Formações Guarda Velha, Varzinha e Serra do Apertado, assim como os depósitos de interdunas fluviais da Formação Pedra Pintada e os depósitos de leques aluviais da borda leste da Formação Pedra das Torrinhas, possuem sentido de transporte principal para noroeste e áreas fontes situadas a leste, nas regiões da Serra das Encantadas e/ ou do Batólito Pelotas. Dessa forma, nos parece plausível supor que desde o início ao fim da deposição do Grupo Guaritas houve a contribuição de sedimentos de um mesmo sistema fluvial com área de captação situada nos altos orográficos a leste, com sentido de transporte para noroeste e direção perpendicular ao eixo principal da bacia.

Desde os depósitos da base da Formação Guarda Velha ocorrem seixos de quartzo milonitos, metassedimentos e granitos miloníticos, sendo todas essas litologias típicas das rochas que atualmente afloram adjacentes à bacia, no alto da Serra das Encantadas. Somado aos padrões de paleocorrentes da borda leste da unidade, que apontam sentido de transporte predominante para noroeste (Paim, 1995; Almeida, 2005; Santos, 2010), é possível inferir que o alto da Serra das Encantadas já estava instalado na borda leste da bacia desde o princípio da deposição da Formação Guarda Velha. No entanto, foram observadas variações entre as proporções de seixos característicos de fontes proximais e distais ao longo da estratigrafia do Grupo Guaritas, que podem ser reflexos de mudanças tectônicas e climáticas na borda leste da bacia.

Comparando os dados de proveniência da porção leste da Formação Guarda Velha com os da porção leste da Formação Varzinha, observa-se que a primeira possui proporções menores das classes de seixos que representam áreas fonte mais proximais, como quartzo milonito e metassedimentos, e maior de outras classes que representam áreas mais distais, como granitos, quartzo de veio e riolitos. Sendo assim, a proveniência de seixos aponta para uma aparente mudança de área fonte mais distal na Formação Guarda Velha para uma área fonte mais proximal na Formação Varzinha (Figura 11 I).

Após a deposição da Formação Varzinha a proveniência de seixos continua tornando-se cada vez mais proximal, de forma que a Formação Pedra Pintada é muito mais rica em classes de seixos como quartzo milonitos e metassedimentos, e mais pobre em classes de seixos que representam áreas mais distais, como granitos, leucogranitos e riolitos. Dessa forma observa-se que da Formação Guarda Velha para a Formação Pedra Pintada o sistema fluvial apresenta um aumento gradativo na proporção de seixos provenientes de áreas proximais, o que não seria o esperado em um processo de evolução de relevo normal com erosão remontante e, conseqüentemente, contribuições de fontes cada vez mais distais. Uma hipótese que explicaria esse comportamento inverso de evolução da área fonte seria a reativação da falha da borda leste do *rift* durante a deposição das Formações Varzinha e Pedra Pintada, uma vez que coincidem com a fase de clímax da subsidência mecânica (Almeida, 2005), marcada pelos leques aluviais de borda da Formação Pedra das Torrinhas, soerguendo as áreas mais proximais à bacia e obrigando o sistema fluvial a retrabalhá-las (Figuras 11 II e III).

Os depósitos da Formação Pedra Pintada apresentam maior quantidade de seixos característicos de fontes proximais como quartzo milonitos, metassedimentos e granitos miloníticos (Figura 4), que ocorrem principalmente na Serra das Encantadas, em comparação com os depósitos da Formação Serra do Apertado, que apresentam mais seixos característicos de fontes distais como granitos, provenientes do Batólito Pelotas, e quartzo de veio, que indicam maior transporte. Dessa forma, da Formação Pedra Pintada, mais antiga, para a Formação Serra do Apertado, mais nova, é possível observar que as áreas fonte tornam-se mais distais, sugerindo que a área de captação do sistema fluvial aumenta sentido a montante (Figura 11 IV).

Figura 11: Modelo de evolução paleogeográfica da borda leste da bacia do Grupo Guaritas. As áreas circundadas em cinza representam as principais áreas de captação dos sistemas fluviais transversais. A, B e C representam mudanças relativas na altura do bloco soerguido pela falha normal. Todas as dimensões são relativas e não possuem escala. Com base na figura observa-se que da Formação Guarda Velha (I) para as Formações Varzinha (II) e Pedra Pintada (III) ocorre um aumento gradual da declividade da escarpa e consecutiva diminuição da área de captação dos sistemas fluviais, devido à reativação da falha de borda da bacia. Entre as Formações Pedra Pintada (III) e Serra do Apertado (IV) a reativação da falha é interrompida e o sistema fluvial torna a avançar sentido a montante, aumentando novamente sua área de captação.

Os depósitos das regiões oeste e noroeste das Formações Guarda Velha e Varzinha apresentam registros de paleocorrentes com sentido de transporte para

sudoeste e são interpretados como um sistema de rio tronco com direção paralela ao eixo principal da bacia do Grupo Guaritas (Paim, 1995; Almeida, 2005; Santos, 2010). Nos depósitos fluviais da Formação Serra do Apertado, na região da serra homônima, não foram encontradas evidências que apontassem para a existência desse sistema fluvial durante o fim da deposição do Grupo Guaritas. No entanto, ainda não foram realizadas pesquisas de análises de fácies, de elementos arquitetônicos e de paleocorrentes nos depósitos da região oeste da Formação Serra do Apertado, conhecida como Rincão do Inferno, sendo que mais estudos são necessários para averiguar se o sistema de rio tronco identificado nas unidades sotopostas teria ou não coexistido com a deposição de sistemas fluviais transversais na Formação Serra do Apertado.

A variação composicional dos seixos observada ao longo da estratigrafia da Formação Serra do Apertado na região da seção A – A', como demonstrado pela Figura 9 não pode ser explicada satisfatoriamente através de mudanças na área de captação do sistema fluvial, como ocorreria num processo de erosão remontante ou reativação de uma falha de borda da bacia, que acarretariam no aumento ou diminuição geral dos clastos provenientes de fontes distais, respectivamente, pois a partir da Figura 9 observa-se que enquanto a proporção de uma classe de seixos de área fonte distal aumenta, como a dos granitos, por exemplo, a proporção de outra classe de seixos distal, como quartzo de veio, diminui. O mesmo padrão ocorre no caso de classes de seixos proximais, como riolito e quartzo milonito (Figura 9).

Dessa forma, considerando a menor susceptibilidade dos seixos quartzosos a sofrer alterações intempéricas durante o processo de transporte sedimentar em relação aos não quartzosos, interpretamos que as variações composicionais observadas são provavelmente reflexos de mudanças climáticas. Na região da seção geológica A – A' (Figura 9) a maior quantidade de seixos de composição granítica e riolítica é interpretada como resultado de clima mais árido, uma vez que tais litotipos são mais facilmente alteráveis em climas mais úmidos, enquanto a maior quantidade de seixos de composição quartzosa é interpretada como clima mais úmido. Os estudos de análise de elementos arquitetônicos realizados nos depósitos da Formação Serra do Apertado mostram que na porção intermediária da seção geológica A – A', que corresponde à menor proporção de seixos quartzosos em toda a seção, os depósitos fluviais apresentam variações de vazão mais frequentes (Figura 9 do Anexo 1) do que os demais depósitos

da região da Serra do Apertado (Figuras 8 e 10 do Anexo 1), corroborando a interpretação da presença de um clima mais árido onde há ocorrência maior de seixos quartzosos.

Vale destacar que as mudanças tectônicas e climáticas acima interpretadas ocorrem em escalas diferentes de tempo. A reativação da falha da borda leste da bacia foi interpretada com base em dados de composição de clastos ao longo de todas as formações do Grupo Guaritas, que juntas formam um pacote sedimentar de cerca de 2.000 m de espessura. Já as variações entre climas mais úmidos e mais áridos na Formação Serra do Apertado encontram-se preservadas em apenas algumas centenas de metros de espessura dessa unidade. Desse modo, observa-se que os estudos de proveniência numa escala mais abrangente, neste caso considerando todo o Grupo Guaritas, refletem ciclos temporais mais duradouros, como eventos tectônicos expressivos, enquanto os estudos de detalhe, que neste caso abrangem apenas a Formação Serra do Apertado, evidenciam ciclos temporais relativamente menos duradouros, como variações climáticas.

O diagrama em roseta que mostra o total de paleocorrentes medidas na Formação Serra do Apertado (Figura 7) mostra que o padrão de sentido de transporte se assemelha com um leque, sugerindo que ao sair da região dos altos do embasamento e adentrar na bacia sedimentar, os canais do rio se dispersavam lateralmente, mantendo um sentido principal de transporte para noroeste, como já descrito por Paim (1994).

CONCLUSÕES

O estudo da análise de proveniência de seixos nas unidades do Grupo Guaritas permitiu uma descrição detalhada da composição de seus depósitos, assim como o estabelecimento das relações entre diferentes áreas fonte e ambientes deposicionais distintos.

Na Formação Guarda Velha foi verificado que a ampla distribuição dos dados de composição de seixos é fruto da coexistência de ambientes deposicionais e tectônicos distintos (Paim, 1995; Almeida, 2005), sendo eles: (i) sistema de rio tronco, com áreas fonte distais localizadas a norte, (ii) sistema de rios transversais distributários, com área fonte mais proximal situada no alto da Serra das Encantadas a leste, e (iii) fase de iniciação do *rift*, com proveniência mista, tanto de áreas fonte a norte como a leste.

Na Formação Varzinha também notaram-se diferenças na composição dos seixos de acordo com áreas fonte distintas. Os depósitos da porção central da unidade, que apresentam paleocorrentes com sentido de transporte para SW (Almeida, 2005), possuem classes de litotipos características de fontes mais distais, atribuídas a presença de um sistema de rio tronco com áreas fonte situadas a norte. Já os depósitos da borda leste, que por sua vez apresentam paleocorrentes com sentido para NW, apresentam composição que indica área fonte situada a leste, no alto da Serra das Encantadas, relacionado a um sistema de rios transversais.

Nos depósitos de interdunas fluviais da Formação Pedra Pintada, com sentido de transporte das paleocorrentes para NW (Almeida, 2005), a assinatura da proveniência torna-se muito proximal e característica de áreas fonte a leste. Para a Formação Pedra das Torrinhas, restrita às bordas leste e oeste da Sub-Bacia Camaquã Central, verificaram-se áreas fonte extremamente proximais localizadas nas adjacências das bordas da bacia.

Os estudos de paleocorrentes realizados no presente trabalho para a Formação Serra do Apertado, juntamente com a análise de proveniência de seixos, mostram que o sentido de transporte predominante nessa unidade se dá para NW, com áreas fonte situadas a leste nas regiões do alto da Serra das Encantadas e do Batólito Pelotas. As

contagens de seixos realizadas ao longo de uma seção geológica transversal a Serra do Apertado mostraram variação nas proporções de seixos quartzosos e não-quartzosos. Essa variação foi atribuída a mudanças climáticas, sendo que a maior presença de seixos não-quartzosos indica regime de clima mais árido e a maior presença de seixos quartzosos indica clima mais úmido. A seção geológica levantada também confere uma nova espessura mínima de 695 m para a Formação Serra do Apertado, que anteriormente era considerada de 200 m (Almeida, 2005).

O estudo das áreas fonte dos depósitos da borda leste do Grupo Guaritas, realizado através das contagens de clastos, como seixos, calhaus e matacões no presente trabalho, e da compilação dos dados de paleocorrentes de estudos anteriores (Paim, 1995; Almeida, 2005; Santos, 2010), mostraram que todas as unidades do Grupo Guaritas apresentam um sistema fluvial transversal, com área fonte situada a leste e sentido de transporte para noroeste, nos levando a interpretação de que tratam-se do mesmo sistema fluvial que teria existido ao longo de toda a história deposicional preservada da bacia.

A descrição detalhada da composição dos seixos na borda leste do Grupo Guaritas permitiu um estudo de suas variações ao longo da estratigrafia, desde a base até o topo da unidade, permitindo detectar eventos tectônicos que influenciaram na evolução paleogeográfica da região. Durante a deposição das Formações Varzinha e Pedra Pintada, que coincidem com o estágio de clímax do *rift* Guaritas (Almeida, 2005), ocorre um aumento gradativo de seixos provenientes de áreas proximais, o que não seria esperado em um processo normal de erosão remontante, no qual deveria ocorrer um aumento gradativo de seixos provenientes de áreas cada vez mais distais. O comportamento inverso observado foi interpretado como decorrência da reativação da falha da borda leste da bacia, corroborando as interpretações de Almeida (2005) acerca dos estágios de evolução do *rift*.

Foi observado que o estudo de proveniência realizado em uma escala mais abrangente, comparando todas as unidades do Grupo Guaritas, detectou ciclos de maior duração, como eventos de reativação de falha, enquanto os estudos de detalhe, ao longo de um perfil na Formação Serra do Apertado, evidenciaram ciclos de menor duração, como variações climáticas.

Durante o presente estudo foi dada maior ênfase na coleta de dados das Formações Guarda Velha e Serra do Apertado, a fim de testar a hipótese de que tais unidades poderiam ser distinguidas com base na composição dos seixos. Foi verificado pelo método estatístico da análise por principais componentes que a maior semelhança entre essas unidades são as altas proporções das classes de seixos granitos, riolito e quartzo de veio, que são predominantemente características de fontes distais. No entanto, não foi verificado que ambas as unidades compartilham o mesmo agrupamento, sendo que a hipótese inicial da distinção entre as Formações Guarda Velha e Serra do Apertado pela composição dos seixos foi confirmada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AITCHSON, J. *The Statistical analysis of compositional data*. London: Chapman and Hall, 1986. 416 p.

ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y. *O Pré-cambriano do Brasil*. São Paulo: Edgard Blücher LTDA, 1984. 378 p.

ALMEIDA, R. P. Tectônica e sedimentação do Ediacarano ao Ordoviciano: exemplos do Supergrupo Camaquã (RS) e do Grupo Caacupé (Paraguai Oriental). 2005. 203 f. Tese de doutoramento em Geologia Sedimentar – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

ALMEIDA, R. P.; JANIKIAN, L.; FRAGOSO-CESAR, A. R.; MARCONATO, A. Evolution of a rift basin dominated by subaerial deposits: the Guaritas Rift, Early Cambrian, Southern Brasil. *Sedimentary Geology*, Amsterdam, v. 217, p. 30-51, 2009.

BORBA, A. W.; MIZUSAKI, A. M. P.; SILVA, D. R. A.; KAWASHITA, K. Razões isotópicas $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ e $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ como traçadores de proveniência de rochas sedimentares siliciclásticas: exemplos no Grupo Camaquã (Paleozóico inferior, RS, Brasil). *Pesquisas em Geociências*, Porto Alegre, v. 30, n. 2, p. 39 – 50, 2003.

DAVIES, N. S. & GIBLING, M. R. Cambrian to Devonian evolution of alluvial systems: The sedimentological impact of the earliest land plants *Earth-Science Reviews*, 98, 171-200, 2010.

DAVIS, J. C. *Statistics and Data Analysis in Geology*. New York: Wiley & Sons, 1986. 646 p.

DE ROS, L. F.; MORAD, S.; PAIM, P. S. G. The role of detrital composition on the diagenetic evolution of continental molasses: evidences from the Cambro-Ordovician Guaritas Sequence, southern Brazil. *Sedimentary Geology*, Amsterdam, v. 92, p. 197-228, 1994.

DÜRR, S. B. Quick estimation of pebble volumes. *Journal of Sedimentary Research*, Lawrence, Kansas, v. A64, n. 3, p. 677 – 679, 1994.

DÜRR, S. B. Provenance of the Xigaze fore-arc basin clastic rocks. *Geological Society of America Bulletin*, Boulder, Colorado, v. 108, n. 6, p. 669 – 684, 1996.

FRAGOSO-CESAR, A. R. S. Tectônica de placas no Ciclo Brasileiro: as orogenias dos Cinturões Dom Feliciano e Ribeira no Rio Grande do Sul. 1991. 366 f. Tese de doutoramento – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 1991.

FRAGOSO-CESAR, A. R. S.; FAMBRINI, G. L.; ALMEIDA, R. P.; PELOSI, A. P. M. R.; JANIKIAN, L.; RICCOMINI, C.; MACHADO, R.; NOGUEIRA, A. C. R.; SAES, G. S. The Camaquã extensional basin: Neoproterozoic to Early Cambrian sequences in southernmost Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 30, n. 3, p. 442 – 445, 2000.

FRAGOSO-CESAR, A. R. S.; PAES-DE-ALMEIDA, R.; FAMBRINI, G. L.; PELOSI, A. P. M. R.; JANIKIAN, L. A Bacia Camaquã: um sistema intracontinental anorogênico de rifts do Neoproterozóico III – Eopaleozóico no Rio Grande do Sul. In: I ENCONTRO SOBRE ESTRATIGRAFIA DO RIO GRANDE DO SUL: ESCUDOS E BACIAS, 2003, Porto Alegre. *Anais...* Porto Alegre: LÉO A. HARTMANN, 2003. p. 139 – 144.

GRAHAM, S. A.; TOLSON, R. B.; DECELLES, P. G.; INGERSOLL, R. V.; BARGAR, E.; CALDWELL, M.; CAVAZZA, W.; EDWARDS, D. P.; FOLLO, M. F.; HANDSCHY, J. F.; LEMKE, L.; MOXON, I.; RICE, R.; SMITH, G. A.; WHITE, J. Provenance modelling as a technique for analysing source terrane evolution and controls on foreland sedimentation. In: PHILIP A. ALLEN; PETER HOMEWOOD (eds.). *Foreland Basins*: Special Publication of the International Association of Sedimentologists, n° 8. Oxford, London, 1986.

HARTMAN, L. A.; SANTOS, J. O. S.; McNAUGHTON, A. N. J. Detrital zircon U-Pb age data, and Precambrian provenance of the Paleozoic Guaritas Formation, Southern Brazilian Shield. *International Geology Review*, Columbia, Maryland, v. 50, p. 364 – 374, 2008.

HASUI, Y.; CARNEIRO, C. D. R.; COIMBRA, A. M. The Ribeira Folded Belt. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 5, p. 257 – 266, 1975.

JANIKIAN, L.; ALMEIDA, R. P.; TRINDADE, R. I. F.; FRAGOSO-CESAR, A. R. S.; D'AGRELLA-FILHO, M. S.; DANTAS, E. L.; TOHVER, E. The continental record of Ediacaran volcano-sedimentary successions in southern Brazil and their global implications. *Terra Nova*, Cowley, Oxford, v. 20, p. 259 – 266, 2008.

JONES, A. P. Late quaternary sediment sources, storage and transfers within mountain basins using clast lithological analysis: Pineta Basin, central Pyrenees, Spain. *Geomorphology*, Amsterdam, v. 37, p. 145 – 161, 2000.

LONG, D. G. F. Architecture of pre-vegetation sandy-braided perennial and ephemeral river deposits in the Paleoproterozoic Athabasca Group, northern Saskatchewan, Canada as indicators of Precambrian fluvial style Sedimentary Geology, 190, 71-95, 2006.

MARCONATO, A.; ALMEIDA, R. P.; SANTOS, M. G. M; NÓBREGA, J. E. S.; SOUZA, R. B. Alluvial-eolian interaction in a Cambrian rift margin: the Pedra das Torrinhas and Pedra Pintada formations (Guaritas Group, RS). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, v. 81, n. 4, p. 819 – 836, 2009.

MARCONATO, A. A influência da evolução de altos estruturais em sucessões aluviais: exemplos do Ediacarano e do Cambriano da Bacia Camaquã (RS). 2010. 74 f. Dissertação de Mestrado – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2010.

NÓBREGA, J. E. S.; SAWAKUCHI, A. O.; ALMEIDA, R. P. Minerais pesados das porções média e superior do Grupo Guaritas (Eocambriano, RS): considerações sobre a proveniência sedimentar. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 38, n. 3, p. 554 – 565, 2008.

NOBREGA, J. E. S. Proveniência sedimentar do Grupo Guaritas, Cambriano da Bacia do Camaquã (RS). 2011. 47 f. Dissertação de mestrado – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

PAIM, P. S. G. Depositional systems and paleogeographical evolution of the Camaquã and Santa Barbara Basins, Brazil. 1994. 277 f. Doctor Thesis, Oxford. 1994.

PAIM, P. S. G. Alluvial palaeogeography of the Guaritas depositional sequence of southern Brazil. In: PLINT, A. G.; READING, H. G. *Sedimentary facies analysis: a tribute to the research and teaching of Harold G. Reading*. Special Publication of International Association of Sedimentology, n° 22. Oxford: Blackwell Science, 1995. p. 3 - 16.

PAIM, P. S. G.; SCHERER, C. M. S. High-resolution stratigraphy and depositional model of wind and water-laid deposits in the ordovician Guaritas rift (Southernmost Brazil). *Sedimentary Geology*, Amsterdam, v. 203, p. 776-795, 2007.

PAWLOWSKY-GLAHN, V.; EGOZCUE, J. J. Compositional data and their analysis: an introduction. In: BUCCIANI, A.; MATEU-FIGUERAS, G.; PALOWSKY-GLAHN, V. (eds). *Compositional Data Analysis in the Geosciences: From Theory to Practice*. London: Geological Society, Special Publications, v. 264, 2006. p. 1 – 10.

RIBEIRO, M.; BOCCHI, P. R.; FIGUEIREDO Fº, P. M.; TESSARI, R. I. Geologia da quadrícula de Caçapava do Sul. Rio de Janeiro: DNPM/ DFPM, 1966, 232 p. (boletim 127).

ROBERTSON, J. F. Revision of stratigraphy and nomenclature of rock units in Caçapava-Lavras region. *Notas e estudos*, Porto Alegre, IG-UFRGS, v. 1, n. 2, p. 41-54, 1966.

SANTOS, M. G. M. Tectônica e sedimentação na Bacia do Camaquã Central (RS): exemplos do Grupo Guaritas e do Grupo Santa Bárbara. 2010. 117 f. Dissertação de Mestrado – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2010.

TIRSGAARD, H.; ØXNEVAD, I. E. I. Preservation of pre-vegetation mixed fluvio-aeolian deposits in a humid climatic setting: an example from the Middle Proterozoic Eriksfjord Formation, Southwest Greenland. *Sedimentary Geology*, Amsterdam, v. 120, p. 295-317, 1998.

WELTJE, G. J.; VON EYNATTEN, H. Quantitative provenance analysis of sediments: review and outlook. *Sedimentary Geology*, Amsterdam, v. 171, p. 1 – 11, 2004.