

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**



**FEIÇÕES DE INTERAÇÃO VULCANO-SEDIMENTARES – EXEMPLOS NA  
BACIA DO PARANÁ (RS)**

**FERNANDO RODRIGUES RIOS**

**ORIENTADORA:**

Prof. Dra. Ana Maria Pimentel Mizusaki

**CO-ORIENTADORA:**

Prof. Dra. Cassiana Roberta Lizzoni Michelin

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

Prof. Dr. Anderson Maraschin

Prof. Dr. Rualdo Menegat

Dra. Janaína Lobo

Dissertação de Mestrado apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de  
Mestre em Geociências

**Porto Alegre - 2017**

## CIP - Catalogação na Publicação

Rios, Fernando Rodrigues  
FEIÇÕES DE INTERAÇÃO VULCANO-SEDIMENTARES -  
EXEMPLOS NA BACIA DO PARANÁ (RS) / Fernando  
Rodrigues Rios. -- 2017.  
69 f.

Orientadora: Ana Maria Pimentel Mizusaki.  
Coorientadora: Cassiana Roberta Lizzoni Michelin.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do  
Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências,  
Programa de Pós-Graduação em Geociências, Porto  
Alegre, BR-RS, 2017.

1. Estratigrafia. 2. Petrologia Sedimentar. 3.  
Petrologia Ígnea. 4. Feições vulcano-sedimentares. I.  
Mizusaki, Ana Maria Pimentel, orient. II. Michelin,  
Cassiana Roberta Lizzoni, coorient. III. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os  
dados fornecidos pelo(a) autor(a).

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço imensamente a minha orientadora Ana Mizusaki, por toda a dedicação e confiança que depositou em mim e neste trabalho. Não sei que rumo teria levado esta pesquisa sem sua orientação, suas ideias e ensinamentos...não encontro palavras para expressar toda minha gratidão e admiração. Muito obrigado Ana!

Agradeço a minha co-orientadora Cassiana Michelin que esteve sempre presente em todos os momentos desta pesquisa, mesmo morando em outra cidade. Seus ensinamentos e recomendações aperfeiçoaram este trabalho e me mostraram o tipo de profissional que pretendo ser. Muito obrigado Cassiana!

Estendo meus agradecimentos também à UFRGS e ao Instituto de Geociências, bem como a todos os profissionais do PPGGEO.

Agradeço aos colegas de sala Isaque Rodrigues, Rafaela Kunrath e Henrique Redivo pelos momentos de descontração na universidade e na CB. Agradeço também ao professor Nelson Lisboa e aos colegas Camile Urban, Giovani Cioaccari, Laís Gabrielli e Patrícia Zacca pelas dicas e conhecimentos repassados.

Por fim, agradeço aos meus pais e meu irmão. Sem vocês isso tudo seria impossível!

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa das áreas de estudo na borda atual da Bacia do Paraná, estado do Rio Grande do Sul (modificado de Scherer, 2002; Janasi et al., 2011). .....	11
Figura 2: Mapa geológico simplificado da Bacia do Paraná no Brasil, Uruguai, Argentina e Paraguai (modificado de Milani, 2004).....	16
Figura 3: Litoestratigrafia e cronoestratigrafia da sucessão Juro-Cretácea da Bacia do Paraná - Supersequência Gondwana III - que compõem as Formações Botucatu e Serra Geral, unidades de interesse deste trabalho (modificado de Milani, 2007). .....	18
Figura 4: A) Intertrap (duna preservada) recoberto pelo derrame. B) Estrias de fluxo localizadas na interface lava-sedimento formadas pelo arrasto do derrame sobre o sedimento. C) Dique de arenito com bordas de reação ao longo do contato com a encaixante e vários clastos angulosos a subangulosos de basalto. D) Brecha vulcânica com clastos angulosos de composição basáltica imersos em uma matriz arenosa. ....	25

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>9</b>
1.2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	10
<b>2. INTERAÇÃO LAVA-SEDIMENTO</b> .....	<b>12</b>
2.1 LAVA E SEDIMENTO – DOIS ENFOQUES DIFERENTES? .....	12
2.2 INTERAÇÃO LAVA-SEDIMENTO E SEUS PRODUTOS .....	12
<b>3. BACIA DO PARANÁ</b> .....	<b>16</b>
3.1 GEOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO - SUPERSEQUÊNCIA GONDWANA III .....	17
3.1.1 Formação Botucatu .....	17
3.1.2 Formação Serra Geral.....	18
<b>4. TRABALHOS ANTERIORES</b> .....	<b>20</b>
<b>5. METODOLOGIA</b> .....	<b>22</b>
<b>6. RESULTADOS</b> .....	<b>24</b>
<b>7. DISCUSSÕES E CONCLUSÕES</b> .....	<b>26</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>28</b>
<b>9. CARTA DE SUBMISSÃO</b> .....	<b>40</b>
<b>10. ARTIGO</b> .....	<b>41</b>
FEIÇÕES DE INTERAÇÃO VULCANO-SEDIMENTARES: EXEMPLOS NA BACIA DO PARANÁ (RS) .....	41
INTRODUÇÃO.....	42
INTERAÇÃO VULCANO-SEDIMENTAR .....	43
CONTEXTO REGIONAL .....	44
LOCALIZAÇÃO.....	46
MATERIAIS, MÉTODOS E TÉCNICAS .....	46
RESULTADOS .....	47
CONCLUSÕES.....	54
AGRADECIMENTOS .....	55
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	55

## RESUMO

Com o intuito de caracterizar e reconhecer os processos formadores das feições de interação vulcano-sedimentares, optou-se pelo detalhamento de cinco áreas da borda atual da Bacia do Paraná, no estado do Rio Grande do Sul. Nessas regiões selecionadas afloram arenitos eólicos e os derrames vulcânicos, respectivamente pertencentes às Formações Botucatu e Serra Geral, Sequência Juro-Cretácea da Bacia do Paraná. Na interface entre essas duas unidades há a ocorrência de feições vulcano-sedimentares devido a interação ocasionada pelo intenso magmatismo de caráter básico e ácido, este último em menor volume, que recobriu um extenso campo de dunas eólicas em atividade. Uma variedade de estruturas vulcano-sedimentares se originaram pela interação de sedimentos consolidados ou inconsolidados, saturados ou não em água, com derrames de composição basáltica ou dacítica. As feições vulcano-sedimentares encontradas abrangem: estrias de fluxo sobre *intertraps* arenosos, brechas vulcânicas, brechas vulcano-sedimentares, autobrechas, diques de arenito e geodos, estas foram detalhadas por meio de técnicas de petrografia e DRX. Os processos responsáveis pela formação dessas feições são influenciados por fatores de natureza ígnea e sedimentar. Localizam-se na base e topo dos derrames e ocorrem de diferentes maneiras devido a diferenças na temperatura da lava e do tipo de sedimento em questão. Classificam-se de duas maneiras: interação do sedimento ainda úmido com a lava de temperatura elevada e parcialmente cristalizada; e a segunda refere-se a interação com o derrame já consolidado por meio de erosão e intemperismo.

**Palavras-chave:** Interação, feições vulcano-sedimentares, Bacia do Paraná.

## **ABSTRACT**

In order to characterize and recognize the formation processes of the vulcano-sedimentary interaction features, five areas of the current border of the Paraná Basin in the state of Rio Grande do Sul were chosen. It was noted eolic sandstones and volcanic flows, respectively belonging to the Botucatu and Serra Geral Formations, they appear on Jurassic-Cretaceous Sequence of the Paraná Basin. At the interface between these two units there is occurrence of vulcano-sedimentary features due to the interaction caused by the intense magmatism of a basic and acidic character, the latter one has smaller volume, which covered an extensive field of dunes. A variety of vulcano-sedimentary structures originated by the interaction of consolidated or unconsolidated sediments, saturated or not in water, with flows of basaltic or dacitic composition. The vulcano-sedimentary features found include: flow streaks over sand intertraps, volcanic breccias, vulcano-sedimentary breccias, autobreccias, sandstone dikes and geodes, these were defined by petrography and XRD analysis. Processes responsible for the formation of these features are influenced by igneous and sedimentary action. They are located on the base and top of the flows occurring in different ways due to differences on lava temperature and type of sediment. They are classified in two ways: interaction of the wet sediment with the high temperature lava, partially crystallized; The second one refers to the interaction with the consolidated flow due to the erosion and weathering.

**Keywords:** Interaction, vulcano-sedimentary features, Paraná Basin.

### **Estrutura da Dissertação**

Esta dissertação compreende um capítulo introdutório onde são apresentados dados que permitiram a identificação de feições de interação vulcano-sedimentares ocorrentes ao longo dos contatos entre as Formações Botucatu e Serra Geral, Bacia do Paraná (RS). Buscou-se atrelar a origem de diferentes feições a derrames magmáticos de composições distintas. Complementa a dissertação, carta de submissão e manuscrito submetido a periódico.



## 1. INTRODUÇÃO

A interação vulcano-sedimentar origina-se a partir do contato e/ou recobrimento dos sedimentos, consolidados ou inconsolidados, com ou sem a presença de água, pelo derrame vulcânico. Os feições formadas por meio dessa relação fornecem um amplo campo de estudo para o entendimento dos mecanismos de interação entre lava-sedimento, além de apresentarem substancial relevância em reconstruções paleoambientais, já que desenvolvem-se em uma variedade de sucessões sedimentares, que possuem como eventos contemporâneos, sedimentação e magmatismo. Ademais, são marcadores estratigráficos importantes, já que sua presença fornece uma idade relativa, e são típicos de ambientes sedimentares marinhos, lacustres e desérticos. (Macdonald, 1939, Branney & Suthren, 1988; Allen, 1992; Boulter, 1993; McPhie, 1993).

Estruturas estriadas, *intertraps*, peperitos, brechas vulcanoclásticas, brechas sedimentares e diques de arenito representam um conjunto de feições características da relação entre lava-sedimento, em ambiente desértico, que tem sido alvo de estudos na Bacia do Paraná (Pichler, 1952; Almeida, 1954; Suguiu & Fúlfaro, 1974; Scherer, 1998, 2002; Michelin, 2007; Petry *et al.*, 2007; Waichel *et al.*, 2007; Arioli *et al.*, 2008; Holz *et al.*, 2008; Perinotto *et al.*, 2008; Waichel *et al.*, 2008; Machado *et al.*, 2009; Hartmann *et al.*, 2012a,b; Luchetti *et al.*, 2014; Michelin, 2014).

O ambiente de colocação, tipo de lava, granulometria, consolidação e grau de saturação em água do sedimento, representam um conjunto de fatores, de natureza ígnea e sedimentar, que controlam os processos responsáveis pela geração de feições de interação lava-sedimento (Lorenz, 1984; Busby-Spera & White, 1987; Jerram & Stollhofen, 2002; Skilling *et al.*, 2002; Squire & McPhie, 2002; Zimanowski & Büttner, 2002; Petry *et al.*, 2007; Waichel *et al.*, 2007; Hole *et al.*, 2013).

Estudos que procuram demonstrar se há diferenças nas interações entre lava-sedimento, em derrames de composição diferentes, básica ou ácida, são escassos. Deste modo, a fim de obter um maior entendimento dos processos de interação entre lava e sedimento em ambiente eólico, a proposta final do estudo é compreender e caracterizar, em macro e micro-escalas, geometrias, estruturas e texturas formadas na interface lava-sedimento através de suas reações de interação. Além de verificar se as diferenças composicionais do derrame, básico ou ácido, estão atreladas a geração de diferentes estruturas de interação lava-sedimento.

## 1.2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Com o intuito de caracterizar ocorrências onde afloram rochas vulcânicas (básicas e/ou ácidas) e sedimentares siliciclásticas e suas feições de interação, optou-se pelo detalhamento de cinco áreas da borda da Bacia do Paraná. Dessa maneira, foram selecionadas regiões, com base em mapas geológicos e trabalhos de campo anteriormente realizados, onde as feições formadas pela interação das Formações Botucatu e Serra Geral ocorrem em grande número e variedade genética. O alvo do trabalho abrange as regiões central e leste da borda atual da Bacia do Paraná (RS), conforme áreas indicadas na figura 1. Selecionou-se as regiões:

1 - do Salto do Jacuí (SJ) caracterizada por mineralizações de ágata e derrames de composição ácida (Michelin, 2014);

2- de Sinimbu-Herveiras (SH), porção central do estado, com a presença de feições de interação de sedimentos com derrames básicos e ácidos;

3 - de Santa Cruz (SC), porção central do estado onde afloram interações com derrames de composição básica;

4 - de Novo Hamburgo (NH) onde pedreiras permitem a visualização do contato entre sedimentos e os primeiros derrames da Formação Serra Geral;

5 - de Torres (TR), região nordeste do estado, no Parque Estadual da Guarita. Onde se encontra brechas e diques de arenito em contato com basaltos.

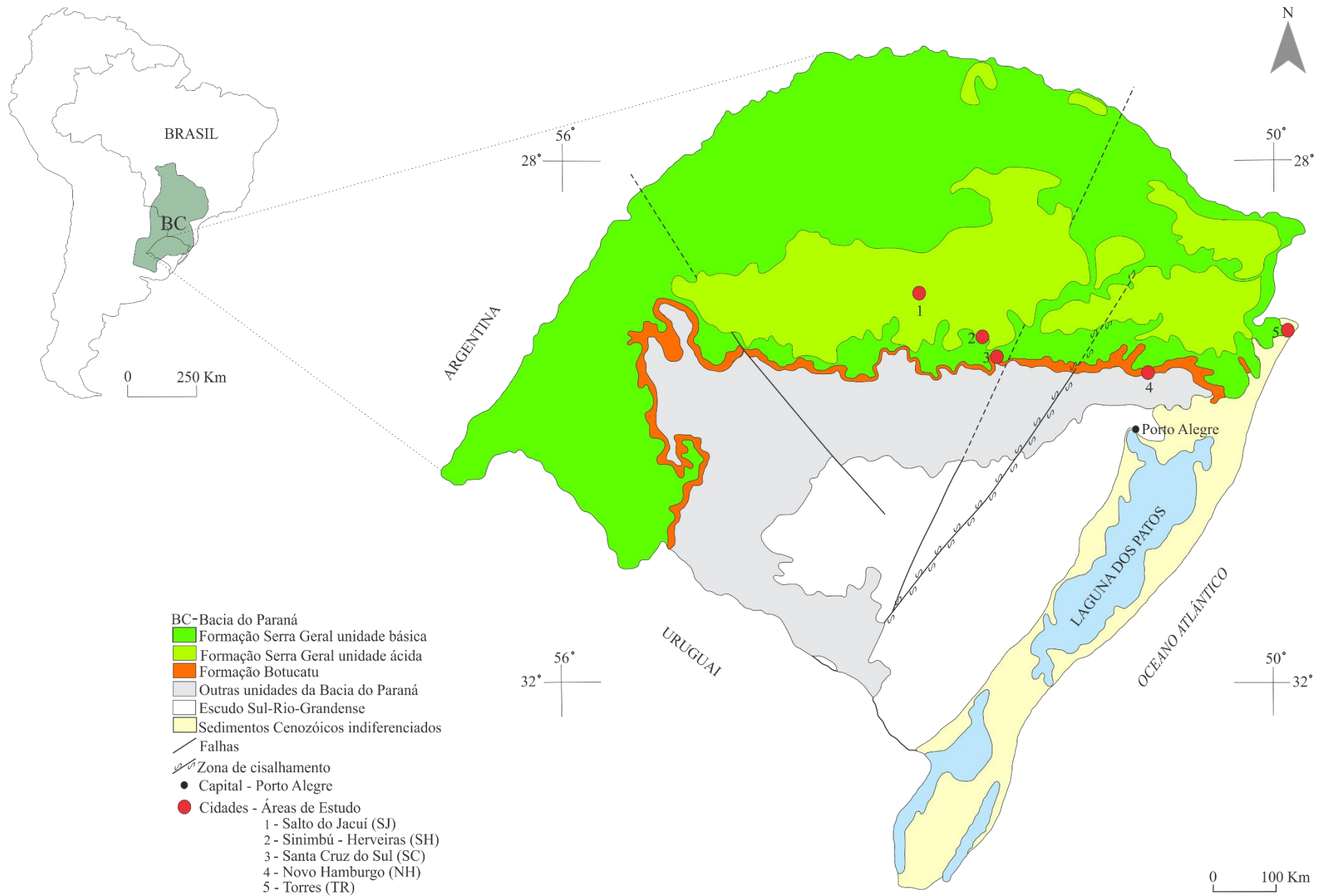


Figura 1: Mapa das áreas de estudo na borda atual da Bacia do Paraná, estado do Rio Grande do Sul (modificado de Scherer, 2002; Janasi *et al.*, 2011).

## 2. INTERAÇÃO LAVA-SEDIMENTO

### 2.1 LAVA E SEDIMENTO – DOIS ENFOQUES DIFERENTES?

Para uma melhor compreensão a respeito dos produtos formados a partir dos processos de interação entre lava e sedimento são necessários estudos detalhados dos litotipos ígneos e sedimentares em questão. A petrologia ígnea, assim como o sedimentar, são completamente distintas entre si, porém a junção desses conhecimentos é que nos permitirá caracterizar as rochas originadas por esse processo de interação.

Os processos responsáveis pela formação de rochas por interação lava-sedimento são influenciados por fatores de natureza ígnea e sedimentar. As características ígneas incluem: o ambiente de colocação (intrusiva vs. sub-aérea), tipo de lava, composição, temperatura, velocidade de fluxo e teor de voláteis. Enquanto as propriedades sedimentares levam em conta: a granulometria do sedimento (grossa vs. fina), tamanho do grão, consolidação, seleção, porosidade, permeabilidade, composição e grau saturação em água. Tal como particularidades que relacionam diferenças de densidade entre magma e sedimentos (Kokelaar, 1982; Lorenz, 1984; Busby-Spera & White, 1987; Hanson & Hargrove, 1999; Dadd & Van Wagoner, 2002; Jerram & Stollhofen, 2002; Lorenz *et al.*, 2002; Skilling *et al.*, 2002; Squire & McPhie, 2002; Zimanowski & Büttner, 2002; Petry *et al.*, 2007; Waichel *et al.*, 2007; Hole *et al.*, 2013).

### 2.2 INTERAÇÃO LAVA-SEDIMENTO E SEUS PRODUTOS

Estudos que demonstram a interação lava-sedimento em ambiente desértico têm sido registrados com maior frequência na Província Ígnea Paraná-Etendeka, que compreende as bacias do Paraná, Brasil, e de Huab, Namíbia, e os produtos dessa interação representam uma variedade de feições de superfície, estruturas estriadas, peperitos, brechas e diques clásticos (Almeida, 1954; Mountney *et al.*, 1998; Jerram *et al.*, 1999a, b; Mountney *et al.*, 1999; Jerram *et al.*, 2000; Mountney & Howell, 2000; Jerram & Stollhofen, 2002; Scherer, 2002; Waichel *et al.*, 2006; Michelin, 2007; Petry *et al.*, 2007; Waichel *et al.*, 2007; Arioli *et al.*, 2008; Holz *et al.*, 2008; Perinotto *et al.*, 2008; Waichel *et al.*, 2008; Machado *et al.*, 2009; Hartmann *et al.*, 2012a,b; Luchetti *et al.*, 2014; Michelin, 2014).

De um modo geral, a interação entre a lava e sedimento pode ocorrer de duas formas: efetiva, quando há mistura entre lava e sedimento, e não efetiva, ocorre a preservação das características sedimentares. Dessa maneira, é fundamental compreender que modificações nas propriedades da lava (tipo de derrame, composição, temperatura, velocidade de fluxo sobre o substrato, teor de voláteis) e nas do sedimento (grau de consolidação, grau de saturação em água, tamanho do grão, seleção) acarretam em produtos de interação lava-sedimento distintos.

A interação entre lava de temperatura mais elevada com sedimento inconsolidado pode se dar de forma não efetiva e/ou efetiva, ao longo do contato entre ambos. Quando a relação lava-sedimento ocorre de forma não efetiva há a preservação das feições de superfície ocasionada pelo seu recobrimento por lava, preservando-a. Uma completa preservação de dunas eólicas, por exemplo, requer uma rápida velocidade de fluxo não destrutiva do derrame, o que raramente acontece. No topo da camada de arenito umas séries de estrias paralelas podem vir a se formar devido ao contato da lava sobre um substrato de areia não consolidado. No paleodeserto Cretáceo da Bacia de Huab, Namíbia, pertencente a Província Ígnea Paraná-Etendeka, as dunas preservadas chegam a 100 m de altura e aproximadamente 1 km de comprimento de onda (Jerram *et al.*, 2000), chegando a preservar marcas onduladas presentes na superfície das dunas (Jerram & Stollhofen, 2002).

Em contrapartida, quando a interação lava-sedimento acontece de forma efetiva, ou seja, há mistura entre os litotipos sedimentares e vulcânicos, forma-se brechas vulcanoclásticas, denominadas de peperitos (White *et al.*, 2000 e Skilling *et al.*, 2002). O termo “peperino” foi utilizado por Scrope (1827) para descrever rochas clásticas em Limagne d'Auvergne, região central da França, que compreendem misturas de calcário lacustre com basalto que se assemelhava a pimenta moída. Os peperitos desenvolvem-se em uma grande variedade de ambientes onde o magmatismo e a sedimentação são contemporâneos. A origem dos peperitos pode envolver tanto intrusões de composição máfica a ácida, como derrames andesíticos, traquíticos, dacíticos, riolíticos e máficos (Skilling *et al.*, 2002).

White *et al.*, (2000) define peperito como um termo genético aplicado a rocha formada essencialmente *in situ* pela desintegração do magma, intrudindo e misturando com sedimentos inconsolidados ou pobremente consolidados, tipicamente sedimentos úmidos. O termo também se refere a misturas semelhantes geradas pelos mesmos processos que operam nos contatos de lavas e outros depósitos vulcanoclásticos com tais sedimentos.

Comumente pensa-se que para formar peperitos é necessária a presença de água nos sedimentos inconsolidados ou parcialmente consolidados com os quais o magma irá interagir.

No entanto, exemplos em ambiente árido demonstram que os peperitos podem se formar por outros processos que nem sempre requerem água. Assim, Jerram & Stollhofen (2002) propuseram que o termo peperito seja descritivo e se relacione a um material que se formou pela interação entre lava e sedimento, com ou sem a presença de água, este último aspecto deve ser investigado para cada caso.

O volume e geometria do peperito, sua relação espacial com a intrusão ou com o derrame vulcânico que o originou, sua estrutura interna e variações espaciais na textura são as principais características que permitem a sua discriminação de outras rochas vulcanoclásticas semelhantes. O domínio de ocorrência do peperito varia em volume, de poucos m<sup>3</sup>, ao longo dos contatos entre os sedimentos em intrusões, para exemplos de vários km<sup>3</sup>, em derrames vulcânicos e depósitos vulcanoclásticos (Snyder & Fraser, 1963; Hanson & Wilson, 1993).

A interação entre lava e sedimentos também propicia a formação de brechas. Existem inúmeras classificações para as brechas associadas a eventos vulcânicos, entre elas: Fischer (1960), Pettijohn (1975), McPhie *et al.*, (1993), dentre outras. Em respeito aos processos de formação de brechas e como elas ocorrem, estas podem ser classificadas em: brechas vulcânicas, autobrechas e brechas sedimentares (Reis, 2013).

Brechas vulcânicas posicionam-se na base dos derrames e junto ao contato com o *intertrap*. Essas rochas corresponde às brechas “tipo peperito” de Jerram & Stollhofen (2002).

As autobrechas desenvolvem-se de forma concomitante ao evento magmático e são resultados de processos atuantes durante o movimento da lava parcialmente solidificada. Estas são as brechas autoclásticas de Fischer (1960) e as brechas de derrame de Wernick (2004).

Já as brechas sedimentares, representam a interação entre lava consolidada ou parcialmente consolidada com sedimento inconsolidado, localizam-se nas porções superiores dos derrames e possuem origem relacionada a processos intempéricos. Estas são as brechas epiclásticas de Fischer (1960).

Por último, temos o dique clástico, também conhecido como dique de arenito. Inúmeros processos físicos podem estar envolvidos na origem dos diques de arenito: fluidização, liquefação, compactação e desgaseificação. Dois destes processos, do ponto de vista geológico, são mais significativos para a formação dessas estruturas: fluidização e liquefação.

A fluidização é um processo natural que ocorre quando um derrame vulcânico recobre uma camada de sedimento encharcado ou úmido. A água presente no sedimento vaporiza-se e forma uma espécie de filme vapor que fica confinado entre o sedimento e a lava. Caso ocorra fraturas na base do derrame, que está em contato com o sedimento, acarretará em um escape

de pressão. O escape de pressão permitirá que o fluido vaporizado carregue o sedimento que será injetado nestas fraturas, formando os diques de arenito. Muitas vezes, devido à violência do processo, fragmentos podem ser arrancados das paredes das fraturas e misturados ao material sedimentar formando brechas.

A liquefação é um processo a volume constante, onde o aumento da pressão de fluidos e o esforço de cisalhamento provocam a destruição do suporte entre os grãos de tal maneira que estes se encontrem temporalmente separados e dispersos em um fluido. O aumento instantâneo da pressão é gerado devido aos estratos arenosos estarem confinados sob uma camada impermeável, o que faz com que o fluido fique aprisionado suportando todo o peso do pacote sobrejacente, igualando a pressão hidrostática. A liquefação é favorecida pelo aumento de pressão hidrostática, que diminui ou anula o esforço de confinamento, nestas condições o evento desencadeia uma ruptura, uma espécie de válvula. Com a ruptura na rocha sobrejacente a areia passa a apresentar um comportamento líquido, fazendo com que ela ascenda por este espaço. As condições para que ocorra este processo estão relacionadas a cimentação da areia, assim como o fato de estar confinado a um estrato impermeável e não ocorrer escape de fluidos (Allen, 1982; Obermeier, 1988; Ghiglione, 2002).

Associações com depósitos de Sulfetos Maciços Vulcanogênicos (VMS), além de mineralizações em formas de geodos de ametista e ágata podem também ocorrer integradas às interações entre lava-sedimento (Heemann, 1997; Strieder & Heemann, 2006; Michelin, 2007, 2014; Rosa *et al.*, 2016).

### 3. BACIA DO PARANÁ

A Bacia do Paraná (Figura 2), paleozoica, está inserida na Plataforma Sul-Americana e recobre uma área de aproximadamente 1,6 milhões de km<sup>2</sup>. Trata-se de uma bacia sedimentar do tipo intraplaca que exhibe formato levemente oval e eixo principal segundo a direção N-S. Abrange a porção centro leste da América do Sul, estando distribuída em sua maior parte sobre o Brasil, mas também registrada no Uruguai, Paraguai e Argentina (CPRM, 2008). Apresenta acumulação de rochas sedimentares e vulcânicas com idades do Ordoviciano ao Cretáceo atingindo 7.000m de espessura em seu depocentro (Zalán *et al.*, 1988, 1990).

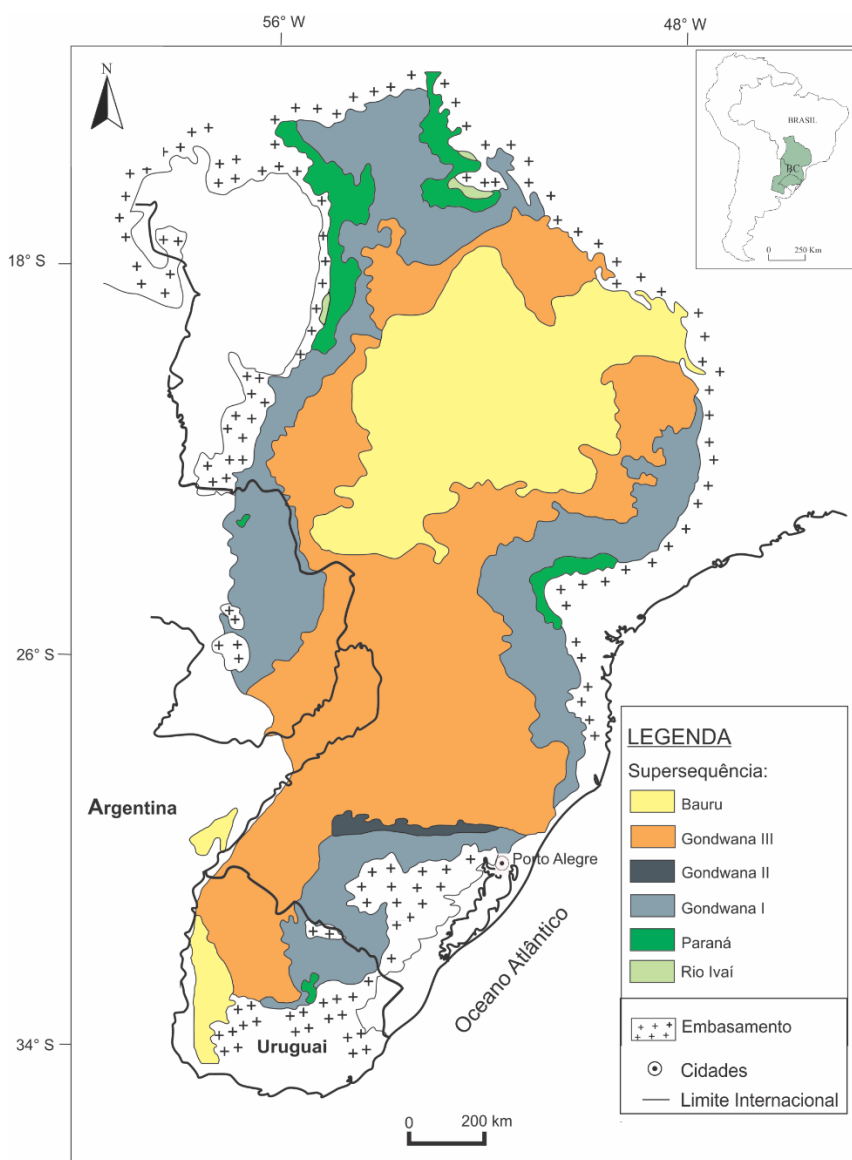


Figura 2: Mapa geológico simplificado da Bacia do Paraná no Brasil, Uruguai, Argentina e Paraguai (modificado de Milani, 2004).



Os processos geológicos responsáveis pela instauração da Bacia do Paraná são marcados pela complexidade e controlados por fatores tectônicos e climáticos associados com a dinâmica de placas que conduziu à evolução do supercontinente Gondwana durante o tempo geológico (Zalán *et al.*, 1990).

De forma geral, a Bacia do Paraná foi desenvolvida no interior do Gondwana. Ela é composta, de acordo com Milani (1997), por um espesso pacote vulcano-sedimentar, no qual são registradas seis unidades de ampla escala, também denominadas Supersequências (Vail *et al.*, 1977): Rio Ivaí (Ordoviciano-Siluriano), Paraná (Devoniano), Gondwana I (Carbonífero-Eotriássico), Gondwana II (Meso a Neotriássico), Gondwana III (Neojurássico-Eocretáceo) e Bauru (Neocretáceo). Cada supersequência envolve intervalos temporais de algumas dezenas de milhões de anos sendo envelopadas por superfícies de discordância.

As três primeiras Supersequências tem sucessões sedimentares que definem ciclos transgressivo-regressivos ligados às variações do nível relativo do mar no Paleozoico. As demais correspondem a pacotes continentais com rochas vulcânicas associadas, essas foram geradas após o fechamento do Gondwana para as incursões marinhas. A supersequência Bauru é considerada por muitos autores posterior à Bacia do Paraná, visto que, com o evento vulcânico da Formação Serra Geral a Bacia do Paraná teve compensações isostáticas.

### 3.1 GEOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO - SUPERSEQUÊNCIA GONDWANA III

A Supersequência Gondwana III recobre uma área de aproximadamente 1,3 milhões de km<sup>2</sup> no Brasil, Paraguai, Uruguai e Argentina (Milani, 1997). A Supersequência contém a maior parte das feições de interação analisadas neste estudo e compreende o intervalo estratigráfico com sedimentação continental representada predominantemente por arenitos eólicos da Formação Botucatu e rochas vulcânicas da Formação Serra Geral (Figura 3)

#### 3.1.1 Formação Botucatu

A Formação Botucatu representa um imenso campo de dunas eólicas, caracterizado por estratos cruzados de grande porte (1-30m) interpretados como depósitos residuais de dunas eólicas. Sua espessura é bastante variável, provavelmente devido à preservação do paleo-relevo de dunas, podendo atingir até 100 m de espessura (Scherer, 1998, 2000, 2002).

Esta unidade sedimentar constitui-se por arenitos de coloração rosada, com granulometria fina a média, grãos arredondados de aspecto fosco, quartzosos. Na porção basal

deste extenso depósito eólico são observados conglomerados e arenitos conglomeráticos depositados por inundações em lençóis e arenitos grossos a muito grossos interpretados como lençóis de areia eólicos (Bigarella & Salammuni, 1967; Soares, 1975; Almeida & Melo, 1981; Scherer, 2002).

A Formação Botucatu é inferida através da identificação de icnofósseis que remetem a uma idade aproximada entre Jurássico Superior e Cretáceo Inferior (Bonaparte, 1996). Já as rochas vulcânicas sobrepostas, Formação Serra Geral, podem ser consideradas como o limite superior de idade para a Formação Botucatu, o que indica que parte da deposição das dunas eólicas teria cessado quando o derrame vulcânico as recobriu. Todavia, a presença de *intertraps* arenosos nas porções mais basais da Formação Serra Geral e de feições de interação lava-sedimento ao longo do contato entre essas duas unidades sedimentares sugerem que as condições desérticas persistiram por algum tempo durante o evento vulcânico (Milani *et al.*, 1998; Scherer, 2002).

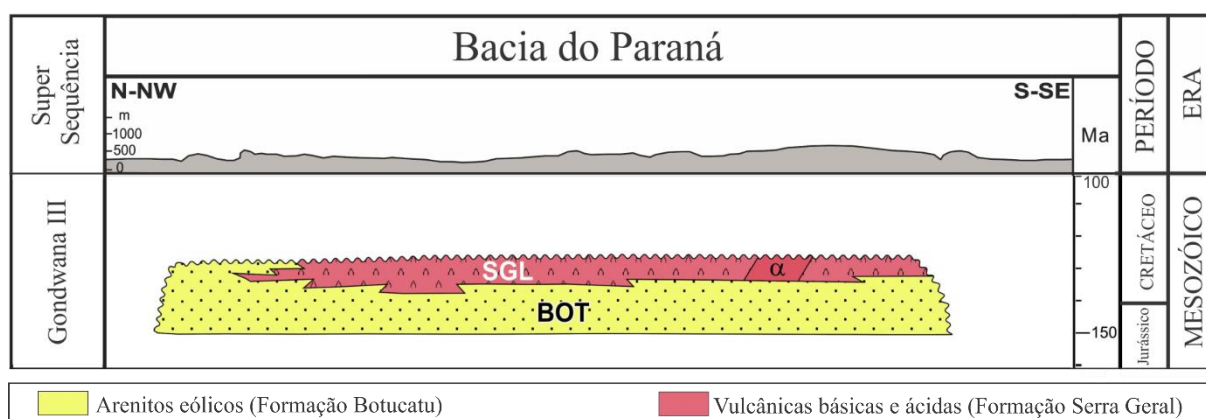


Figura 3: Litoestratigrafia e cronoestratigrafia da sucessão Juro-Cretácea da Bacia do Paraná - Supersequência Gondwana III - que compõem as Formações Botucatu e Serra Geral, unidades de interesse deste trabalho (modificado de Milani, 2007).

### 3.1.2 Formação Serra Geral

A Formação Serra Geral compreende um intenso magmatismo básico relacionado aos processos iniciais de distensão e quebra do Gondwana. Esse evento magmático originou uma das maiores províncias basálticas do planeta, a Província Magmática Paraná-Etendeka (PMPE), cuja porção localizada no centro-sul da América do Sul é denominada de Província Magmática do Paraná (PMP) (Melfi *et al.*, 1988; Zalán *et al.*, 1990; Milani *et al.*, 1998). A PMP estende-se por aproximadamente 1,0 milhão de km<sup>2</sup> sobre os estados do centro-oeste,

sudeste e sul do Brasil, mas também abrange partes do Uruguai, Argentina e Paraguai. (Harris *et al.*, 1989; Peate *et al.*, 1992; Milner *et al.*, 1995)

A Formação Serra Geral é composta por uma sucessão de derrames predominantemente de composição básica (toleítica), com uma espessura máxima de cerca de 1.700 m (Melfi *et al.*, 1988). Piccirillo & Melfi (1988) reconhecem que os basaltos toleíticos compreendem cerca de 90% do registro total dos derrames da Formação Serra Geral, andesitos - toleíticos seguem com aproximadamente 7%, riodacitos – riolitos completam com 3% do volume. A presença de rochas vulcânicas ácidas é reconhecida por diversos autores (Bellieni *et al.*, 1984; Mantovani *et al.*, 1985; Bellieni *et al.*, 1986; Piccirillo *et al.*, 1987; Peate *et al.*, 1992; Garland *et al.*, 1995; Thiede & Vasconcelos, 2010; Polo, 2014) e Nardy *et al.* (2008) mostra que estas representam cerca de 2,5% do volume total da Formação Serra Geral e recobrem uma área de aproximadamente 64.000 km<sup>2</sup>.

Peate *et al.*, (1992) e Peate (1997) fundamentando-se na abundância de elementos maiores, elementos-traço e razões entre elementos-traço subdividiram as rochas vulcânicas em seis magmas-tipo, os quais são: Pitanga, Paranapanema, Ribeira, Gramado, Esmeralda e Urubici.

Bellieni *et al.* (1984, 1986) e Piccirillo *et al.* (1987) notaram padrões geoquímicos e de distribuição similares aos derrames basálticos do Serra Geral, para as rochas vulcânicas de natureza ácida e intermediária, e denominaram de tipo Palmas e Chapecó.

Datações pelo método <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar em amostras da Formação Serra Geral indicam valores de 133 ± 1,0 a 138 Ma (Renne *et al.*, 1992; Turner *et al.*, 1994; Milner *et al.*, 1995, Mincato *et al.*, 2003).

As rochas vulcânicas ácidas, datadas pelo método Rb-Sr, indicam idade média de 135,4 ± 3,5 Ma (Cordani *et al.*, 1980; Mantovani *et al.*, 1985).

#### 4. TRABALHOS ANTERIORES

Pesquisas que envolvem a interação lava-sedimento na Bacia do Paraná, em ambiente desértico, têm demonstrado uma variedade de feições características dessa relação, e os produtos dessa interação representam uma variedade de feições de superfície, estruturas estriadas, peperitos, brechas e diques de arenito (Pichler, 1952; Almeida, 1954; Suguiu & Fúlfaro, 1974; Scherer, 1998, 2002; Michelin, 2007; Petry *et al.*, 2007; Waichel *et al.*, 2007; Arioli *et al.*, 2008; Holz *et al.*, 2008; Perinotto *et al.*, 2008; Waichel *et al.*, 2008; Machado *et al.*, 2009; Hartmann *et al.*, 2012a,b; Luchetti *et al.*, 2014; Michelin, 2014).

Em relação aos produtos da interação lava-sedimento observados na Bacia do Paraná, Scherer (1998, 2002) e Holz *et al.*, (2008) comprovam que derrames da Formação Serra Geral podem vir a preservar completamente a morfologia das dunas do paleodeserto de Botucatu, já que estas exibem poucos sinais de modificação ou deformação. Estas feições podem ser notadas em macroescala, evidenciadas pela variação da espessura do pacote eólico. Estruturas de superfície como estrias (ou sulcos) e de meia lua, são descritas na superfície dos arenitos e acredita-se que foram formadas pelo fluxo de lava sobre os arenitos. As feições de meia lua seriam originadas através da progradação dos lobos de lava durante a movimentação do derrame (Scherer, 1998).

Há ocorrência de peperitos como resultado da relação lava-sedimento ao longo do contato entre as Formações Botucatu e Serra Geral, como foi exposto por Petry (2006), Petry *et al.*, (2007), Waichel *et al.*, (2007) e Waichel *et al.*, (2008). Os peperitos teriam sido originados pela interação entre os derrames e sedimentos úmidos (silte e argila) depositados em ambiente lacustre, sugerindo que uma mudança climática provavelmente ocorreu entre o ambiente desértico e os primeiros derrames da Formação Serra Geral (Waichel *et al.*, 2007).

Utilizando a classificação de Reis (2013) a interação entre lava-sedimento, na Bacia do Paraná, pode vir a formar brechas vulcânicas, autobrechas e brechas sedimentares. Scherer, (2002) relata a presença de autobrechas, antes descritas como brechas vulcânicas, na base alguns derrames da Formação Serra Geral associados com os arenitos da Formação Botucatu. Petry (2006) relatou que a presença de autobrechas de derrame representaria um importante processo responsável na formação dos peperitos. Nesta situação, o movimento da frente e base do derrame seria responsável pela remobilização e mistura dos clastos ígneos com o sedimento inconsolidado que estava disponível. Todavia, Michelin, 2014 em pesquisas na região do Salto do Jacuí (RS), optou por nomear os peperitos, outrora descritos na Bacia do Paraná, de brechas vulcânicas. A pesquisadora reconhece também a presença de brechas

sedimentares, estas, posicionam-se nas porções superiores dos derrames e têm sua gênese relacionada ao preenchimento das disjunções colunares do basalto por sedimentos eólicos.

Outra feição de interação entre lava e sedimento é o dique de arenito; encontrado comumente na Bacia do Paraná (Pichler, 1952; Suguio & Fulfaro, 1974; Petry *et al.*, 2007; Arioli *et al.*, 2008; Perinotto *et al.*, 2008; Machado *et al.*, 2009; Hartmann *et al.*, 2012a, b e Michelin, 2014).

Pichler (1952) procura demonstrar que a origem dos diques de arenito estariam relacionadas a intrusões, e não pelo preenchimento de fendas por deposição de areia pelo vento ou água. Durante um derrame o magma, bastante fluido, teria coberto uma camada de areia saturada em água e as altas temperaturas associadas ao processo seriam responsáveis pela elevada pressão, e, conseqüente, fraturamento do basalto e o preenchimento das fraturas de baixo para cima com areia.

Suguio & Fulfaro (1974), estudando o contato entre as Formações Botucatu e Serra Geral, apontam o fato de que a lava ainda estaria nos últimos estágios de resfriamento e consolidação, enquanto que a areia assumia certa mobilidade em função da mistura com grande quantidade de água.

Em estudos na cidade de Torres (RS), Petry *et al.*, 2007 relata que os diques são produtos da injeção de areia para dentro do derrame, durante seu fluxo, dado o peso do pacote ígneo e sua própria movimentação. Deste modo, a areia injetada ao encontrar porções rúpteis daria origem aos diques clásticos, e, esta mesma areia, ao atingir porções mais quentes, ainda plásticas, formaria os peperitos. Ao passo que Hartmann *et al.*, 2012b, para a mesma área de estudo, propõe um modelo de injeção de areia por processos hidrotermais de baixa temperatura em rochas basálticas.

Michelin (2014) propõem que essas estruturas sejam formadas pela fluidização, um processo natural e concomitante ao vulcanismo, que ocorre quando um sedimento inconsolidado, em presença de água ou umidade e em temperatura ambiente, é recoberto por um derrame magmático. A fase líquida (água) do sedimento vaporiza-se e inicialmente o vapor permanece confinado sob o derrame. Com o processo de resfriamento da lava, ou mesmo de outros fatores como a movimentação contínua do derrame vulcânico e/ou movimentos tectônicos associados, a tendência é que se formem fraturas na base do derrame. Essas fraturas provocam um alívio de pressão, e, conseqüentemente, o arenito fluidizado se injeta nestes espaços, originando os diques de areia.

## 5. METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste trabalho pode ser dividida em três etapas principais: levantamento bibliográfico, atividades de campo, atividades de laboratório (petrografia e difração de raios X), além do tratamento dos dados e confecção desta dissertação.

A obtenção de dados envolveu a consecução de trabalhos publicados e uma revisão bibliográfica referente ao tema a ser abordado na pesquisa. Conjuntamente houve uma seleção de imagens aéreas, de satélite e mapas topográficos das regiões próximas às cidades de Sinimbu, Herveiras, Santa Cruz do Sul, Novo Hamburgo e Torres, no estado do Rio Grande do Sul. O objetivo foi identificar pontos onde as feições de interação lava-sedimento pudessem ser visualizadas, descritas e amostradas. Paralelamente também foi realizado um levantamento bibliográfico sobre a Bacia do Paraná, a Formação Serra Geral e a Formação Botucatu (Milani, 1997; Milani *et al.*, 1998; Milani & Thomaz Filho, 2000).

Na segunda etapa foram realizados os trabalhos de campo nas áreas previamente selecionadas. Nos levantamentos de campo priorizou-se a descrição das rochas sedimentares, vulcânicas e das estruturas de interação entre elas. Os afloramentos selecionados foram descritos e fotografados em detalhe. Nesse estágio a confecção de croquis foi fundamental para um melhor entendimento das feições de interesse, também foram registradas diversas informações geológicas, além da coleta de amostras de rochas para análises futuras.

Na terceira etapa, as amostras coletadas na fase de campo foram descritas macroscopicamente e fotografadas em detalhe. Com base nas descrições foram selecionadas amostras para serem analisadas por técnicas petrográficas e por difração de raios X (DRX).

As lâminas petrográficas foram confeccionadas de acordo com a metodologia usual sendo impregnadas com resina de cor azul para facilitar a identificação da porosidade. As lâminas petrográficas foram descritas com um microscópio Leitz Laborluz 12 e fotomicrografadas (com aumentos variando entre 2,5 e 50 X) utilizando-se técnicas de luz natural e de luz polarizada.

Para a técnica de difração de raios X (DRX) foram utilizadas amostras da matriz dos sedimentos, se realizadas análises do tipo rocha total (RT), e posteriormente selecionada a fração fina (FF < 4 um). O difratômetro usado foi um Siemens D5000 Diffraktometer do Laboratório de Difractometria de Raios X do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. As condições do difratômetro foram radiação  $K\alpha Cu$ , 40 kV, 30 mA de corrente de filamento e intervalo de 2 a  $72^\circ$  ( $2\theta$ ).

Para a separação da fração fina (FF <4  $\mu\text{m}$ ) das amostras de rochas sedimentares do tipo rocha total (RT), foram aplicados os procedimentos descritos por Alves (1987). Neste protocolo, as amostras são pulverizadas em um gral de ágata e cinco gramas do pó resultante são dispersos em 50 mL de água destilada e submetidos ao ultra-som, na presença de uma solução de pirofosfato de sódio (atua como defloculante). Na solução resultante, com o auxílio da centrífuga, separou-se a FF < 2  $\mu\text{m}$ . Esta fração é depositada em duas lâminas de vidro nas quais os argilominerais são orientados segundo a técnica do esfregaço (Gibbs, 1965). As lâminas assim preparadas são secas em condições naturais.

Para a identificação dos argilominerais, analisou-se inicialmente uma destas lâminas (denominadas normais). A outra lâmina foi colocada num dessecador contendo etilenoglicol ( $\text{CH}_2\text{OHCH}_2\text{OH}$ ). O dessecador foi colocado em estufa aquecida a 60° C por 8 horas, obtendo-se então a amostra/lâmina glicolada para verificar a existência ou não de argilominerais expansivos. Após a análise desta segunda lâmina no difratômetro, procedeu-se seu calcinamento por 2 horas em um forno a 500° C com o objetivo de se obter a amostra/lâmina calcinada. Esta auxilia na avaliação dos argilominerais que colapsam a sua estrutura nestas condições, permitindo uma identificação mais precisa. A partir da análise conjunta dos difratogramas obtidos com a amostra natural, glicolada e aquecida e da comparação deles com padrões do banco de dados do computador (PDF2) através do programa DiffracPlus® Siemens-Bruker-Axs, é possível, reconhecer os argilominerais presentes na FF < 4  $\mu\text{m}$ .

## 6. RESULTADOS

A partir desse estudo foi possível caracterizar inúmeras feições de interação vulcano-sedimentares entre derrames de composição básica e ácida com sedimentos siliciclásticos de granulometria variando de silte a areia grossa.

Intercalados aos derrames, comuns na porção mais basal da sequência vulcânica, os denominados *intertraps* de arenito (Figura 4A), caracterizam-se por camadas de arenitos de dimensões métricas e algumas vezes centimétricas de composição quartzo feldspática com eventuais estratificações cruzadas acanaladas. Podem apresentar estrias de fluxo marcadas pelo arrasto da lava sobre a superfície da duna (Figura 4B)

Os derrames básicos composicionalmente correspondem a basaltos e basaltos andesíticos. Apresentam em sua maioria disjunções horizontais e verticais. São petrograficamente assinalados por fenocristais euédricos a subédricos de plagioclásio, augita e pigeonita, subordinadamente, imersos em uma matriz vítrea com feições de devitrificação.

Já os derrames ácidos demonstram-se mais espessos, quando comparados aos de composição básica, e classificam-se com dacitos. Possuem cristais de plagioclásio, quartzo e K-feldspato, podendo ocorrer raramente alguns fenocristais de piroxênio.)

As feições vulcano-sedimentares encontradas podem ser categorizadas, de acordo com seu processo de formação, em dois modos: interação do sedimento ainda úmido com a lava de temperatura elevada e parcialmente cristalizada; e interação com o derrame já consolidado por meio de erosão e intemperismo. Além de estrias de fluxo foram caracterizadas as seguintes feições vulcano-sedimentares: brechas vulcano-sedimentares, brechas vulcânicas, autobrechas, diques de arenito, fraturas com arenito e geodos com sedimentos.

As brechas vulcano-sedimentares localizam-se na porção superior dos derrames e são formadas por clastos de rochas basálticas e/ou dacíticas. Clastos são angulosos a subarredondados e estão imersos em matriz arenosa de granulometria fina a média, compostas principalmente por grãos de quartzo e feldspato.

Brechas vulcânicas ocorrem na base dos derrames o ao longo do contato com o *intertrap* arenoso e estão associadas com as ocorrências de diques de arenito. Possuem clastos angulosos de basalto ou dacito em uma matriz sedimentar de textura mais argilosa (Figura 4 D)



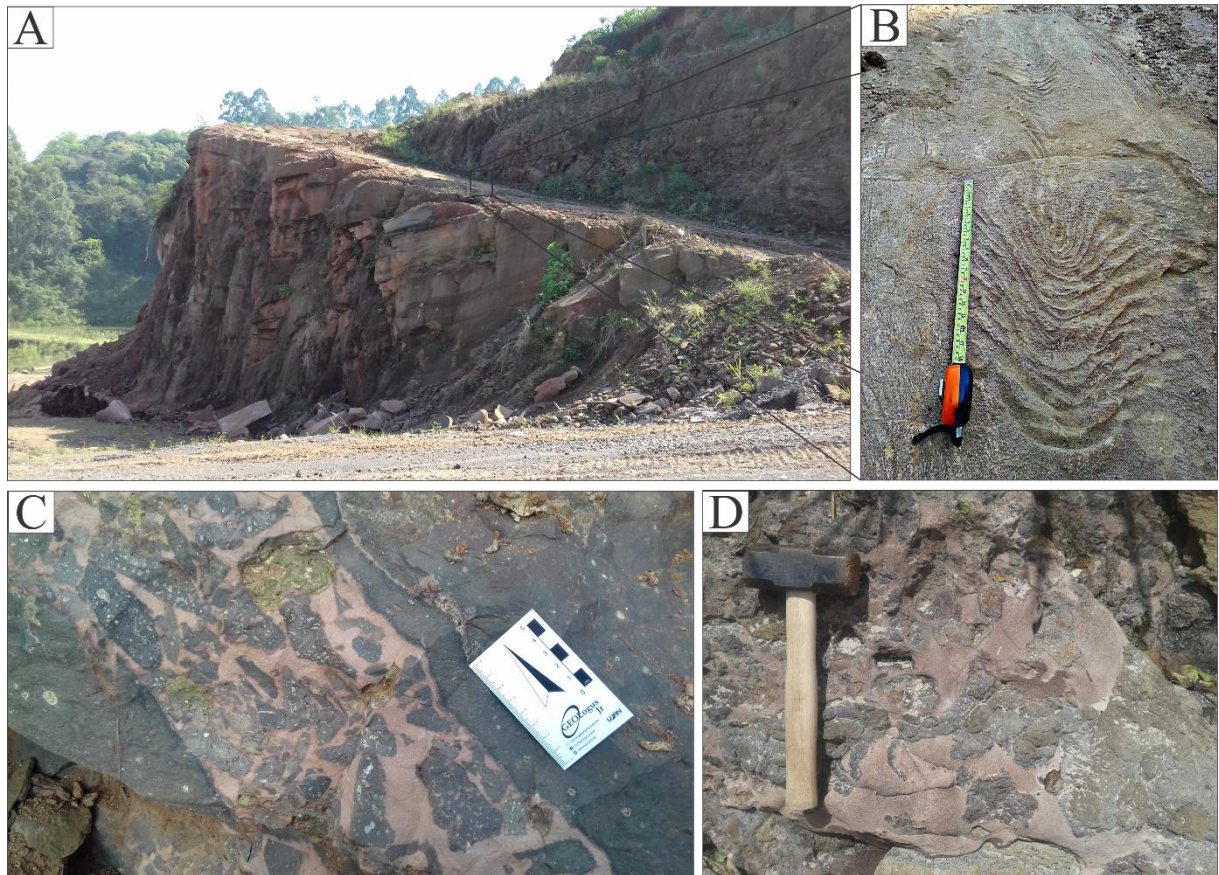


Figura 4: A) *Intertrap* (duna preservada) recoberto pelo derrame. B) Estrias de fluxo localizadas na interface lava-sedimento formadas pelo arrasto do derrame sobre o sedimento. C) Dique de arenito com bordas de reação ao longo do contato com a encaixante e vários clastos angulosos a subangulosos de basalto. D) Brecha vulcânica com clastos angulosos de composição basáltica imersos em uma matriz arenosa.

Autobrechas ocorrem na porção de frontal do derrame magmático, caracterizam-se por serem formadas por clastos angulosos de basaltos cimentados pela própria lava. Podem possuir matriz carbonática e arenosa, além da basáltica

Os diques de arenito (Figura 4C) são preenchidos por arenitos de granulometria fina a média de composição quartzo-feldspática. Podem possuir clastos de basalto ou dacito, referentes às rochas encaixantes, além de bordas de reação nos clastos e ao longo do contato do dique com a rocha encaixante.

Já as fraturas com arenitos referem-se a fraturas comuns no topo dos derrames preenchidas por sedimentos, raramente podem vir a exibir uma estratificação incipiente.

Por fim, os geodos com sedimentos que representam cavidades formadas durante os processos de degaseificação dos derrames e são preenchidas posteriormente por sedimentos Michelin (2014). Localizam-se nas porções de meio e topo dos derrames e estão preenchidos por clastos de granulometria silte-argila.

## 7. DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

O processo de formação das feições vulcano-sedimentares ocorre de diferentes formas em função da temperatura das rochas vulcânicas e do tipo de sedimento. A formação de brechas vulcânicas, autobrechas e diques de arenito configura o contato da lava, com temperatura relativamente elevada e ainda em processo de cristalização, sobre os sedimentos úmidos. A presença de água ou umidade favorece a interação. Após a geração dessas feições e o posterior resfriamento da lava forma-se, em condições superficiais de erosão e intemperismo, fraturas preenchidas por sedimentos, geodos com sedimentos e brechas vulcano-sedimentares.

Os sedimentos saturados em água faz com que as interações ocorram de forma concomitante ao evento magmático (Mizusaki, 1986; Reis, 2013; Michelin, 2014). Diques de arenito e brechas vulcânicas formam-se pelo contraste de temperatura da lava com o sedimento saturado, contraste este que faz com que os processos de fluidização/vaporização se iniciem. A água é vaporizada e confina-se na interface sedimento/derrame. Com o resfriamento progressivo da lava diaclases começam a surgir, fazendo com que o vapor juntamente com o sedimento, que estava confinado a altas pressões, escape por essas zonas de menor pressão. Ao longo do contato com a rocha encaixante o dique pode apresentar bordas de reação, indicando uma interação a temperaturas elevadas. As autobrechas também formam-se concomitantes ao evento magmático e estão localizadas nas porções frontais do derrame vulcânico. A movimentação da lava sobre um declive topográfico proporciona a brechação e o englobamento dos clastos da lava parcialmente solidificada (Reis, 2013; Michelin, 2014).

Através de processos intempéricos atuantes nas rochas magmáticas formam-se as fraturas preenchidas por sedimentos e geodos preenchidos por sedimentos. As fraturas são originadas por diaclases ou fraturas no derrame, estas posteriormente são preenchidas por sedimentos, provavelmente fruto de um retorno na sedimentação eólica, a mesma que

provavelmente originou os intertraps arenosos entre os derrames. Já os geodos, preenchidos por sedimentos de granulometria argila e silte, podem estar relacionados com a percolação de água e sedimentos por meio de fraturas, microfraturas e vesículas interconectadas. Esses sedimentos finos podem estar relacionados com a sedimentação característica de interdunas (Waichel, 2006; Michelin, 2014).

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Allen, J.R.L. 1982. *Sedimentary structures: Their character and physical basis*, v. 2, Amsterdam, Elsevier, Developments in Sedimentology, 663p.

Allen, R.L. 1992. Reconstruction of the tectonic, volcanic and sedimentary setting of strongly deformed Zn-Cu massive sulfide deposits at Benambra, Victoria, Australia. *Econ. Geol.* 87: 825-854.

Almeida, F.F.M. 1954. Botucatu, um deserto triássico da América do Sul. *Notas Preliminares e Estudos da Divisão de Geologia e Mineralogia do DNPM*, 86: 1-21.

Almeida, F.F.M. & Melo, M.S.A. 1981. Bacia do Paraná e o vulcanismo mesozóico. In: Instituto De Pesquisas Tecnológicas Do Estado De São Paulo – IPT. *Mapa Geológico do Estado de São Paulo*, São Paulo: IPT, 1981, v.1, p.46-81. Escala:1:500.000. Blatt, H., Middleton, G., Murray, R., 1980. *Origin of Sedimentary Rocks: Second Edition*, Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice-Hall, Ill., 782 p.

Alves, D. B. 1987. Desenvolvimento da metodologia de preparação de amostras para análise difratométrica de argilominerais no Centro de Pesquisas da Petrobras. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 1(2):157-175.

Arioli, E.E., Licht, O.A.B., Vasconcellos, E.M.G., Bonnet, K.L., Santos, E.M. 2008. Faciologia vulcânica da Formação Serra Geral na região de Guarapuava, Paraná. In: IV SIMPÓSIO DE VULCANISMO E AMBIENTES ASSOCIADOS, 4., 2008. Foz do Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu, SBG. 1CD-ROM.

Bellieni, G., Brotzu, P., Comin-Chiaramonti, P, Ernesto, M., Melfi, A.J., Pacca, I.G., Piccirillo, E.M. 1984. Flood Basalt to Rhyolite Suites in the Southern Paraná Plateau (Brazil): Paleomagnetism, Petrogenesis and Geodynamics Implications. *Journal of Petrology* 25(3): 579-618.

Bellieni, G., Comin-Chiaramonti, P, Marques, L.S, Melfi, A.J., Nardy, A.J.R., Papatrechas, C., Piccirillo, E.M., Roisemberg, A., Stolfa, D. 1986. Petrogenetic Aspects of

Acid and Basaltic Lavas from the Paraná Plateau (Brazil): Geological, Mineralogical and Petrochemical Relationships. *Journal of Petrology*, 27(4): 915-944.

Bigarella, J.J. & Salamuni, R. 1967. The Botucatu Formation. *In: BIGARELLA, J.J., BECKER, R.D. & PINTO, J.D. (Eds.). Problems in Brazilian Gondwana geology. Curitiba, UFPR, p. 198-206.*

Bonaparte, J.F. 1996. Late Jurassic vertebrate communities of Eastern and Western Gondwana. *In: JURASSIC STRATIGRAPHY AND GEOLOGY INTERNACIONAL CONGRESS, 4. 1996, Zurich, Georesearch Forum. Zurich, Transtec, v.1-2, p. 427-432.*

Boulter, C.A. 1993. High-level peperitic sills at Rio Tinto, Spain: implications for stratigraphy and mineralization. *Trans. Inst. Min. Metall.* 102: 30-38.

Branney, M., Suthren, R. 1988. High-level peperitic sills in the English Lake District: distinction from block lavas, and implications for Borrowdale Volcanic Group stratigraphy. *Geol. J.* 23: 171-187

Busby-Spera, C. & White, J.L. 1987. Variation in peperite textures associated with differing host-sediment properties. *Bulletin of Volcanology*, 49: 765-776.

Cordani, U.G., Teixeira W. & Siga Jr., O. 1980. Geocronologia do Quadrilátero Ferrífero. *In: SEMANA DE ESTUDOS GEOLÓGICOS, 21., 1980, Ouro Preto, Anais Boletim... Ouro Preto, SICEG, p.27-44.*

CPRM, 2008. Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais. *Mapa geológico do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, CPRM/MME, escala 1:750.000.

Dadd, K.A. & Van Wagoner, N.A. 2002. Magma composition and viscosity as controls on peperite texture: an example from Passamaquoddy Bay, southeastern Canada: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 114: 63-80.

Fischer, R.V. 1960. Classification of volcanic breccias. *Geologic Society American Bulletin*, 71: 973-982.

Garland, F., Hawkesworth, C.J., Mantovani, M.S.M. 1995. Description and petrogenesis of the Paraná rhyolites, southern Brazil. *Journal of Petrology*, 36: 1193-1127.

Gibbs, R. J. 1965. Error due to segregation in quantitative clay mineral X-ray diffraction mounting technique. *American Mineralogist*, 50: 741-751.

Ghiglione, M. 2002. Diques clásticos asociados a deformación transcurrente en depósitos sinorogénicos del Mioceno inferior de la Cuenca Austral. *Rev. Asoc. Geol. Argent.* 57:103-118.

Hanson, R.E. & Hargrove, U.S. 1999. Processes of magma/wet sediment interaction in a large-scale Jurassic andesitic peperite complex, northern Sierra Nevada, California. *Bulletin of Volcanology*, 60: 610-626.

Hanson, R.E. & Wilson, T.J. 1993. Large-scale rhyolitic peperitos (Jurassic, southern Chile). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 54: 247-264.

Hartmann, L.A., Duarte, L.C., Massonne, H.-J., Michelin, C., Rosenstengel, L.M., Bergmann, M., Theye, T., Pertille, J., Arena, K.R., Duarte, S.K., Pinto, V.M., Barboza, E.G., Rosa, M.L.C.C., Wildner, W. 2012a. Sequential opening and filling of cavities forming vesicles, amygdales and giant amethyst geodes in lavas from the southern Paraná volcanic province, Brazil and Uruguay. *International Geology Review*, 54: 1–14.

Hartmann, L.A., Arena, K.R., Duarte, S.K. 2012b. Geological relationships of basalts, andesites and sand injectites at the base of the Paraná volcanic province, Torres, Brazil. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 237-238: 97–111.

Heemann, R. 1997. Geologia, controles e guias prospectivos para depósitos de ágata na região do Salto do Jacuí. Porto Alegre, 107p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós - Graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e dos Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul,

Hole, M., Jolley, D., Hartley, A., Leleu, S., John, N., Ball, M. 2013, Lava–sediment interactions in an Old Red Sandstone basin, NE Scotland. *Journal of the Geological Society*, 170: 641-655.

Holz, M., Soares, A.P., Soares P.C., 2008. Preservation of aeolian dunes by pahoehoe lava: An example from the Botucatu Formation (Early Cretaceous) in Mato Grosso do Sul state (Brazil), western margin of the Parana´ Basin in South America. *Journal of South American Earth Sciences* v. 25, p. 398–404.

Janasi, V.D.A., de Freitas, V.A., Heaman, L.H. 2011. The onset of flood basalt volcanism, Northern Paraná Basin, Brazil: a precise U-Pb baddeleyite/zircon age for a Chapecó-type dacite. *Earth and Planetary Science Letters*, 302(1): 147-153, .

Jerram, D. & Stollhofen, H. 2002. Lava-sediment interaction in the desert settings; are all peperite-like textures the result of magma-water interaction? *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 114: 231-249.

Jerram, D.A., Mountney, N., Holzförster, F., Stollhofen, H. 1999a. Internal stratigraphic relationships in the Etendeka Group in the Huab Basin, NW Namibia. *Journal of Geodynamics*, 28: 393-418.

Jerram, D.A., Mountney, F., Stollhofen, H. 1999b. Facies architecture of the Etjo Sandstone Formation and its interaction with the basal Etendeka Flood Basalts of northwest Namibia: implications for offshore prospectivity. *In: CAMERON, N.R., BATE, R.H., CLURE, V.S. (Eds.), The Oil and Gas Habitats of the South Atlantic. Geological Society London, Special Publications*, 153: 367-380.

Jerram, D., Mountney, N., Howell, J.A., Long, D., Stollhofen, H. 2000. Death of a sand sea: an active aeolian erg systematically buried by the Etendeka flood basalts of NW Namibia. *Journal of the Geological Society*, 157: 513-516.

Kokelaar, B.P. 1982, Fluidization of wet sediments during the emplacement and cooling of various igneous bodies. *Journal of the Geological Society*, 139: 21-33.

Lorenz, B.E. 1984, Mud-magma interactions in the Dunnage Melange, Newfoundland. *In: KOKELAAR, B.P., HOWELLS, M. (Eds.), Volcanic and Associated Sedimentary and Tectonic Processes in Modern and Ancient Marginal Basins. Geol. Soc. London. Special Publication: 271-277.*

Lorenz, V., Zimanowski, B., & Buettner, R. 2002. On the formation of deep-seated subterranean peperite-like magma–sediment mixtures. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 114: 107-118.

Luchetti, A. C. F., Nardy, A. J. R., Machado, F. B., Madeira, J. E. O., Arnosio, J. M. 2014. Peperites and sedimentary deposits within the silicic volcanic sequences of the PMP. *Solid Earth*, 5: 121–130.

Macdonald, G.A. 1939. An intrusive peperite at San Pedro Hill, California. Calif. Univ. Publ. Dept. Geol. Sci. Bull. 24: 329-338.

Machado, F.B., Nardy, A.J.R., Rocha Jr., E.R.V., Marques, L.S., Oliveira, M.A.F. 2009. Geologia e litogeoquímica da Formação Serra Geral nos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. *Geociências-Universidade Estadual Paulista*, 28: 523–540.

Mantovani, M.S.M., Marques, L.S., Souza, M.A., Atalla, L., Civeta, L., Innocenti, F. 1985. Trace element and Strontium Isotope Constraints of the Origin and Evolution of Paraná Continental Flood Basalts of Santa Catarina State (south Brazil). *Journal of Petrology*, 26: 187-209.

McPhie, J. 1993. The Tennant Creek Porphyry revisited: a synsedimentary sill with peperite margins, Early Proterozoic, Northern Territory. *Aust. J. Earth Sci.*, 40: 545-558.

McPhie, J., Doyle, M. & Allen, R. 1993. *Volcanic Textures. A guide to the interpretation of textures in volcanic rocks.* Hobart, University of Tasmania, 198p



Melfi, A.J., Piccirillo, E.M. & Nardy, A.J.R. 1988. Geological and magmatic aspects of the Paraná Basin: an introduction. *In: PICCIRILLO, E.M. & MELFI, A.J. (Eds.). The Mesozoic flood volcanism of the Paraná Basin: petrogenetic and geophysical aspects. São Paulo, USP, p. 1-13.*

Michelin, C.R.L. 2007. Seqüência de formação das cavidades no basalto e seu preenchimento com zeólitas, arenito, ágata e ametista, Derrame Miolo, São Martinho da Serra, Rio Grande do Sul, Brasil. Porto Alegre, 50p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Michelin, C.R.L. 2014. Ágata do Distrito Mineiro de Salto do Jacuí (Rio Grande do Sul, Brasil) - uma caracterização com base em técnicas estratigráficas, petrográficas, geoquímicas e isotópicas. Porto Alegre, 162p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Milani, E.J. 1997. Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana Sul-Occidental. Porto Alegre, 255 p. Tese de Doutorado, Programa de Pósgraduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Milani, E.J. 2004. Comentários sobre a origem e evolução tectônica da Bacia do Paraná. *In: MANTESSO NETO, V., BARTORELLE, A., CARNEIRO, C.D.R., BRITO-NEVES, B.B. (Eds.), Geologia do Continente Sul Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo: Beca: p. 265-279.*

Milani, E.J. & Thomaz Filho, A. 2000. 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, 31st International Geological Congress, p. 389-452.*

Milani, E.J., Faccini, U.F., Scherer, C.M.S., Araújo, L.M. & Cupertino, J.A., 1998. Sequences and stratigraphic hierarchy of the Paraná Basin (Ordovician to Cretaceous),

Southern Brazil. In: AMOS, A.J., LÓPEZ-GAMUDI, O. & ROCHA-CAMPOS, A.C. (Eds.). Sedimentary basins of South America, Amsterdam, Elsevier, p. 449.

Milani, E.J.; Melo, J.H.G.; Souza, P.A.; Fernandes, L.A.; França, A.B. 2007. Bacia do Paraná. Boletim de Geociências da Petrobras, 15(2): 265-287.

Milner, S.C., Duncan, A.R., Whittingham, A.M., Ewart, A. 1995. Trans Atlantic correlation of eruptive sequences and individual silic units within the Paraná-Etendeka igneous province. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 69: 137-157.

Mincato, R.L., Enzweiler J., Schrank, A. 2003. Novas Idades  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  e implicações na metalogênese dos depósitos de sulfetos magmáticos de Ni-Cu-EPG na Provincia Ignea Continental do Paraná. In: RESUMO EXPANDIDO DO CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, v. 9, p. 67-92.

Mizusaki, A.M.P. 1986. A utilização do microscópio eletrônico de varredura no estudo de rochas reservatório de hidrocarbonetos. SEMINÁRIO DE GEOLOGIA, Rio de Janeiro, Petrobrás/Depex, 1: 322-331.

Mountney, N. & Howell, J. 2000. Aeolian architecture, bedform climbing and preservation space in the Cretaceous Etjo Formation, NW Namibia. *Sedimentology*, 47: 825–849.

Mountney, N., Howell, J., Flinth, S., Jerram, D.A., 1998. Aeolian and alluvial deposition within the Mesozoic Etjo Sandstone Formation, northwest Namibia. *Journal of African Earth Science*, v. 27, p. 175–192.

Mountney, N., Howell, J., Flinth, S., Jerram, D.A. 1999. Relating eolian bounding-surface geometries to the bed forms that generated them: Etjo Formation, Cretaceous, Namibia. *Geology*, 27: 159–162.

Nardy, A.J.R., Machado, F.B. & Oliveira, M.A.F., 2008. As rochas vulcânicas mesozóicas ácidas da Bacia do Paraná: litoestratigrafia e considerações geoquímico estratigráficas. *Revista Brasileira de Geociências*, 38(1): 178-195.

Obermeier, S. F. 1998. Seismic liquefaction features: examples from aleosismic investigations in the continental United States. U. S. *Geological Survey*, Open – File Report, 98-488.

Peate, D.W. 1997. The Paraná-Etendeka Province. *In*: MAHONEY, J.J. & COFFIN, M.F. (Eds.). Large igneous provinces: continental, oceanic and planetary flood volcanism. Washington, AGU, p. 217-245.

Peate, D.W, Hawkesworth, C.J. & Mantovani, M.S.M. 1992. Chemical stratigraphy of the Paraná lavas (South America): classification of magma types and their spatial distribution. *Bulletin of Volcanology*, 55: 119-139.

Perinotto, J.A.J., Etchebehere, M.L.C., Simões, L.S.A., Zanardo, A. 2008. Diques clásticos na Formação Corumbataí no nordeste da Bacia do Paraná, SP: Análise sistemática e significações estratigráficas, sedimentológicas e tectônicas. *Geociências*, 27: 469–491.

Petry, K. 2006. Feições de interação vulcano-sedimentares: seu uso como indicadores de contemporaneidade no magmatismo Rodeio Velho (meso-ordoviciano) e no vulcanismo Serra Geral (cretáceo inferior). São Leopoldo, 88p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Universidade do Vale do Rio do Sinos.

Petry, K., Jerram, D.A., Almeida, D.P.M., Zeffass, H. 2007. Volcanic-sedimentary features in the Serra Geral Fm., Paraná Basin, southern Brazil: Examples of dynamic lava-sediment interactions in an arid setting. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 159: 313–325.

Pettijohn, F.J. 1975. *Sedimentary rocks*. New York, Harper & Row, 628p.

Piccirillo, E.M., Raposo, M.I.B., Melfi, A.J., Comin-Chiaramonti, P., Bellieni, G., Cordani, U.G., Kawashita, K. 1987. Bimodal fissural volcanic suites from the Paraná basin (Brazil): K-Ar age, Sr-isotopes and geochemistry. *Geochimical Brasiliensis*, 1: 53-69.

Piccirillo, E.M. & Melfi, A.J. 1988. *The Mesozoic flood volcanism from the Paraná Basin (Brazil): petrogenetic and geophysical aspects*. São Paulo, IAG/USP, 600p.

Picheler, E. 1952. Diques de arenitos em Salto Grande, rio Paranapanema. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, 1:15-22.

Polo, L.A. 2014. O vulcanismo ácido da Província Magmática Paraná Etendeka, na região de Gramado Xavier, RS: estratigrafia, estruturas, petrogênese e modelo eruptivo. São Paulo, 2014. 340p. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

Reis, G.S., Mizusaki, A.M.P., Roisenberg, A. & Rubert, R.R. 2014. Formação Serra Geral (Cretáceo da Bacia do Paraná): um análogo para os reservatórios ígneo-básicos da margem continental brasileira. *Pesquisas em Geociências*, 41 (2): 155-168.

Renne, P.R., Ernesto, M., Pacca, I.G., Coe, R.S., Glen, J., Prevot, M., Perrin, M. 1992. The age of Paraná flood volcanism, rifting of Gondwanaland, and the Jurassic-Cretaceous boundary. *Science*, 258: 975-979.

Rosa, C.J.P., McPhie, J., Relvas, J.M.R.S. 2016. Distinguishing peperite from other sediment-matrix igneous breccias: Lessons from the Iberian Pyrite Belt. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 315 (2016): 28–39.

Scherer, C.M.S. 1998. Análise estratigráfica e litofaciológica da Formação Botucatu (Cretáceo Inferior da Bacia do Paraná) no Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 202p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Scherer, C.M.S. 2000. Eolian dunes of the Botucatu Formation (Cretaceous) in Southernmost Brazil: morphology and origin. *Sedimentary Geology*, 137: 63–84.

Scherer, C.M.S. 2002. Preservation of aeolian genetic units by lava flows in the Lower Cretaceous of the Paraná Basin, southern Brazil. *Sedimentology*, 49: 97-116.

Scrope, G.P. 1827. Memoir on the Geology of Central France; Including the Volcanic Formations of Auvergne, the Velay and the Vivarais. Longman, Rees, Orme, Brown and Green, London, p. 79.

Soares, P.C. 1975. Divisão estratigráfica do Mesozóico do Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Geociências*, 5(4): 229-251.

Strieder, A.J., Heemann, R. 2006. Structural constraints on Paraná basalt volcanism and their implications on agate geode mineralization (Salto do Jacuí, RS, Brazil). *Pesquisas em Geociências*, 33: 37-50.

Suguio, K. & Fulfaro, J.V. 1974. Diques clásticos e outras feições de contato entre arenitos e basaltos da formação Serra Geral. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28, Porto Alegre, 1974. *Anais...*, Porto Alegre, SBG, v.2, p. 107-112.

Skilling, I.P., White, J.D.L., McPhie, J. 2002. Peperite: a review of magma–sediment mingling. In: SKILLING, I.P., WHITE, J.D.L., MCPHIE, J. (Eds.), Peperite: Processes and products of Magma-Sediment Mingling. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 114, p. 1–17.

Snyder, G.L., Fraser, G.D. 1963. Pillow lavas I: Intrusive layered lava pods and pillowed lavas, Unalaska Island, Alaska. U.S. *Geol. Surv. Prof.*, 454-B: 1-23.

Squire, R.J., and McPhie, J. 2002. Characteristics and origin of peperito involving coarse-grained host sediment: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 114: 45-61.

Thiede, D.S. & Vasconcelos, P.M., 2010. Paraná flood basalts: rapid extrusion hypothesis confirmed by new  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  results. *Geologia*, 38(8): 747-750.

Turner, S., Regelous, M., Kelley, S., Hawkesworth, C., Mantovani, M. 1994. Magmatism and continental break-up in the South Atlantic: high precision  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  geochronology. *Earth and Planetary Science Letters*, 1221(3/4): 333-348.

Vail, P.R., Mitchum, R.M. Jr., Thompson, S. 1977. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part four: global cycles of relative changes of sea level. *American Association of Petroleum Geologists Memoir*, 26: 83-98.

Waichel, B.L., Lima, E.F., Lubachesky, R. & Sommer, C.A. 2006. Pahoehoe flows from the central Paraná Continental Flood Basalts. *Bulletin of Volcanology*, 68(7/8): 599-610.

Waichel, B.L., Lima, E.F., Sommer, C.A., Lubachesky, R. 2007. Peperite formed by lava flows over sediments: An example from the central Paraná Continental Flood Basalts, Brazil. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 159: 343-354.

Waichel, B.L., Scherer, C.M.S., Frank, H.T. 2008. Basaltic lavas covering active Aeolian dunes in the Paraná Basin in Southern Brazil: features and emplacement aspects. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 169: 59-72.

Wernick, E. 2004. *Rochas magmáticas: conceitos fundamentais e classificação modal, química, termodinâmica e tectônica*. São Paulo: Editora UNESP, 665p.

White, J.D.L., McPhie, J., Skilling, I.P. 2000. Peperite: a useful genetic term. *Bull. Volcanol.*, 62: 65-66.

Zalán, P.V., Wolff, S., Conceição, J.C.J., Astolfi, M.A.M., Vieira, I.S., Appi, V.T., Zanotto, O., Marques, A. 1988. Tectonics and sedimentation of the Paraná Basin: Gondwana Seven Proceedings, Instituto de Geociências, USP, São Paulo, p. 83- 117

Zalán, P.V., Wolff, S., Conceição J.C.J. Astolfi, M.A.M., Vieira, I.S., Appi, V.T., Neto, E.V.S., Cerqueira, J.R., Marques, A. 1990. The Paraná Basin, Brazil. In M.W. LEIGHTON, D.R. KOLATA, D.F. OLTZ AND J.I. EIDEL, (Eds.), *Interior Cratonic Basins: AAPG Memoir 51*, v. 8, p. 81-708.

ZIMANOWSKI, B. & BÜTTNER, R. 2002. Dynamic mingling of magma and liquefied sediments. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 114: 37-44.

## 9. CARTA DE SUBMISSÃO

### [Geociencias] Agradecimento pela Submissão



Prof. Dr. Norberto Morales <revigeoc@rc.unesp.br>

Hoje, 20:34

Você ▾

Sr. Fernando Rodrigues Rios,

Agradecemos a submissão do seu manuscrito "FEIÇÕES DE INTERAÇÃO VULCANO-SEDIMENTARES: EXEMPLOS NA BACIA DO PARANÁ (RS)" para Geosciences = Geociências. Através da interface de administração do sistema, utilizado para a submissão, será possível acompanhar o progresso do documento dentro do processo editorial, bastando logar no sistema localizado em:

URL do Manuscrito:

<http://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/geociencias/author/submission/12173>

Login: fernandorios

Em caso de dúvidas, envie suas questões para este email. Agradecemos mais uma vez considerar nossa revista como meio de transmitir ao público seu trabalho.

Prof. Dr. Norberto Morales  
Geosciences = Geociências

---

Geosciences = Geociências

<http://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/geociencias>



## 10. ARTIGO

### FEIÇÕES DE INTERAÇÃO VULCANO-SEDIMENTARES: EXEMPLOS NA BACIA DO PARANÁ (RS)

#### VOLCANO – SEDIMENTARY INTERACTION: EXAMPLES IN THE PARANÁ BASIN (RIO GRANDE DO SUL STATE)

\*Fernando Rodrigues RIOS<sup>1</sup>, Ana Maria Pimentel MIZUSAKI<sup>1</sup>, Cassiana Roberta Lizzoni MICHELIN<sup>2</sup>

(1) UFRGS, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geociências, Av. Bento Gonçalves 9500, Campus do Vale, 91509-900 – Porto Alegre (RS). Endereços eletrônicos: [fernandor.rios@hotmail.com](mailto:fernandor.rios@hotmail.com), [ana.mizusaki@ufrgs.br](mailto:ana.mizusaki@ufrgs.br)

(2) UFRGS, Instituto de Geociências, Departamento de Mineralogia e Petrologia, Av. Bento Gonçalves 9500, Campus do Vale, 91509-900 – Porto Alegre (RS).

Endereço eletrônico: [cassiana.michelin@ufrgs.br](mailto:cassiana.michelin@ufrgs.br)

\*Autor de correspondência

Introdução  
Interação vulcano-sedimentar  
Contexto Regional  
Localização  
Materiais, Métodos e Técnicas  
Resultados  
Discussões  
Conclusões  
Agradecimentos  
Referências Bibliográficas

**RESUMO-** A Sequência Juro-Cretácea da Bacia do Paraná composta por arenitos eólicos da Formação Botucatu sobrepostos por derrames vulcânicos da Formação Serra Geral, possui feições de interação vulcano-sedimentares na interface entre essas duas unidades. O intenso magmatismo de caráter básico e, secundariamente ácido, recobriu um imenso campo de dunas eólicas e permitiu a origem de diversas estruturas vulcano-sedimentares. Em afloramentos da borda atual da Bacia do Paraná, no estado do Rio Grande do Sul, observa-se uma variedade de feições de interação entre sedimentos consolidados ou inconsolidados, saturados ou não em água, com derrames de composição basáltica ou dacítica. As feições vulcano-sedimentares, encontradas na base e topo dos derrames, ocorrem de diferentes formas devido a temperatura das rochas vulcânicas e tipo de sedimento. Estas feições podem ser categorizadas de acordo com seu processo de formação em duas maneiras distintas: interação com o derrame ainda fluido, com temperatura elevada e parcialmente cristalizado, onde a presença de água ou umidade sobre os sedimentos facilita a interação; e interação a partir de processos posteriores tais como, erosão e intemperismo com o derrame já consolidado. As feições vulcano-sedimentares compreendem: estrias de fluxo, brechas, diques de arenito, fraturas com arenitos e geodos.

**Palavras chave:** Interação, feições vulcano-sedimentares, Bacia do Paraná.

**ABSTRACT:** The Jurassic-Cretaceous Sequence of the Paraná Basin including eolic sandstones of the Botucatu Formation are superimposed by volcanic eruption from Serra Geral Formation, this sequence has features of vulcano-sedimentary interaction between the interface of these two units. Intense basic magmatism and secondarily acidic magmatism covered a huge field of dunes, this magmatism led to origin of several vulcano-sedimentary structures. Outcrops of Paraná Basin margin, Rio Grande do Sul state show a variety of interaction characteristics between consolidated or unconsolidated sediments, they can be saturated or not of water, basaltic or dacitic composed. Vulcano-sedimentary features, found on the base and top of the flow, occur in different forms due to the temperature of the volcanic rocks and the type of sediment. These features can be categorized according to their production process divided in two: interaction with the hot fluid flow and partially crystallized, where the presence of water or moisture on the sediments make the interaction easier; interaction from later processes like erosion and weathering on consolidated flow. Vulcano-sedimentary features include: flow streaks, breccias, sandstone dikes, sandstone fractures and geodes.

**Keywords:** Interaction, vulcano-sedimentary features, Paraná Basin.

## INTRODUÇÃO

Rochas vulcânicas e rochas sedimentares têm sido objetos de estudos de forma isolada (Scherer, 1998, 2000; Nardy *et al.*, 2008; Machado *et al.*, 2009), porém análises da interação entre estas duas rochas (vulcano-sedimentares) são relativamente recentes (Jerram & Stollhofen, 2002; Skilling *et al.*, 2002; Squire & McPhie, 2002; Zimanowski & Büttner, 2002; Petry *et al.*, 2007; Waichel *et al.*, 2007; Hole *et al.*, 2013; Michelin, 2014). No entanto, os produtos da interação entre vulcânicas e sedimentos são fundamentais para reconstruções paleoambientais em análise de bacias, além de serem marcadores estratigráficos importantes, já que sua presença fornece uma idade relativa (MacDonald, 1939, Branney & Suthren, 1988; Allen, 1992; Boulter, 1993; McPhie, 1993). Também, em muitas situações, estão associadas com mineralizações de ágata (Heemann, 1997; Strieder & Heemann, 2006; Michelin, 2007, 2014; Rosa *et al.*, 2016). Reis (2013) aponta que estas feições são fundamentais para o entendimento dos processos que ocorrem em reservatórios vulcânicos, análogos de interesse na exploração de hidrocarbonetos.

A interação entre vulcânicas e sedimentos pode ocorrer de forma concomitante com as extrusões, com temperaturas ainda relativamente elevadas e lavas parcialmente cristalizadas ou em ambientes expostos, com intemperismo, erosão e sedimentação, conseqüentemente, em derrames já cristalizados e em temperatura ambiente.

Os produtos da interação vulcano-sedimentar originam-se assim pelo recobrimento ou o contato da lava/derrame com sedimentos, consolidados ou inconsolidados, saturados ou não em água. Propagam-se, deste modo, por diversas sucessões sedimentares caracterizadas pela contemporaneidade entre sedimentação e magmatismo, sendo representados em ambientes sedimentares marinhos, lacustres e desérticos.

O magmatismo Juro-Cretáceo, que deu origem a Formação Serra Geral (Bacia do Paraná), é reconhecido pela sua magnitude, e está representado em um espesso pacote de derrames básicos e ácidos, estes em menor volume, associados com corpos intrusivos. Durante o extravasamento, estes derrames recobriram dunas eólicas ainda ativas associadas à Formação Botucatu. No contato entre estas unidades são marcantes as feições de interação vulcano-sedimentares, que neste caso, devido à grande extensão e volume desta manifestação magmática ocorrem com frequência, em diferentes pontos da Bacia. Nesse sentido, optou-se por realizar esta pesquisa em áreas onde já haviam sido reconhecidas estas estruturas na interface lava-sedimento. Deste modo, o trabalho objetivou-se em reconhecer estas feições tanto em escala macroscópica quanto microscópica, buscando assim, características distintivas entre os processos de interação entre as vulcânicas e os sedimentos siliciclásticos que ocorrem na Bacia do Paraná.

### **INTERAÇÃO VULCANO-SEDIMENTAR**

Durante muitos anos, o estudo das feições de interação entre lava e sedimento foi focado apenas em ambientes marinhos e lacustres (Almeida, 1954; McPhie & Hunns, 1995; Mounney *et al.*, 1998; Jerram *et al.*, 1999a, b; McPhie & Orth, 1999; Mounney *et al.*, 1999; Jerram *et al.*, 2000; Mounney & Howell, 2000; Jerram & Stollhofen, 2002), entretanto, descobertas em ambientes desérticos vêm recebendo destaque nos últimos anos, principalmente na Bacia do Paraná (Scherer, 1998, 2002; Petry, 2006; Waichel *et al.*, 2006; Michelin, 2007; Petry *et al.*, 2007; Waichel *et al.*, 2007; Arioli *et al.*, 2008; Holz *et al.*, 2008; Perinotto *et al.*, 2008; Waichel *et al.*, 2008; Machado *et al.*, 2009; Hartmann *et al.*, 2012 a, b; Luchetti *et al.*, 2014; Michelin, 2014).

A distinção entre as feições que resultam da interação entre derrames ácidos e básicos é assunto relativamente recente na literatura, poucos estudos são encontrados sobre o tema (Nardy *et al.*, 2008; Michelin 2014; Polo, 2014). Pelo contrário, na Bacia do Paraná, os estudos acerca dos derrames básicos são relativamente comuns (Petry, 2006; Waichel *et al.*, 2006; Michelin, 2007; Petry *et al.*, 2007; Waichel *et al.*, 2007, 2008). A interação vulcano-sedimentar gera uma variedade de feições características, tais como: peperitos (brechas vulcanoclásticas), brechas sedimentares, diques de arenito, *intertraps* e feições de superfície, como dunas recobertas marcadas por estruturas estriadas, geodos e fraturas preenchidas por sedimentos.

Aspectos tanto do ponto de vista ígneo quanto do sedimentar, regem os processos responsáveis pela formação de rochas por meio da interação vulcano-sedimentar. O ambiente de colocação do corpo ígneo (intrusivo ou sub-aéreo), tipo de lava, composição, temperatura, velocidade de fluxo e teor de voláteis, relacionam-se às características de natureza ígnea. Ao passo que a granulometria do sedimento (fina a grossa), tamanho do grão, grau de compactação, seleção, porosidade, permeabilidade, composição e grau saturação em água, referem-se às condições sedimentares. Bem como atributos que associam contrastes de densidade entre magma e sedimentos (Lorenz, 1984; Busby-Spera & White, 1987; Jerram & Stollhofen, 2002; Skilling *et al.*, 2002; Squire & McPhie, 2002; Zimanowski & Büttner, 2002; Petry *et al.*, 2007; Waichel *et al.*, 2007; Hole *et al.*, 2013).

## CONTEXTO REGIONAL

A Bacia do Paraná é uma bacia paleozoica da Plataforma Sul-Americana, em cujo depocentro, estima-se aproximadamente 7.000 m de rochas sedimentares e rochas vulcânicas com idades do Ordoviciano ao Cretáceo (Zalán *et al.*, 1988, 1990) (Fig. 1). Recobre uma área de aproximadamente 1,6 milhões de km<sup>2</sup> na porção centro leste da América do Sul, e está distribuída pelo Brasil, Uruguai, Paraguai e Argentina (CPRM, 2008).

### Inserir Figura 1

O registro vulcano-sedimentar da Bacia do Paraná é dividido em seis Supersequências, da base para o topo segundo Milani (1997): Rio Ivaí (Neo-Ordoviciano ao Eo-Siluriano), Paraná

(Devoniano), Gondwana I (Neo-Carbonífero ao Eo-Triássico), Gondwana II (Meso-Triássico ao Neo-Triássico), Gondwana III (Neo-Jurássico ao Eo-Cretáceo) e Bauru (Eo-Cretáceo ao Neocretáceo).

A Supersequência Gondwana III é o intervalo estratigráfico de interesse neste trabalho e onde encontram-se os arenitos predominantemente eólicos da Formação Botucatu e as rochas vulcânicas associadas à Formação Serra Geral (Fig. 2)

A Formação Botucatu é considerada como um imenso campo de dunas eólicas com estratos cruzados de grande porte (até 30 m). São arenitos quartzosos de coloração rosada, granulometria fina a média e grãos arredondados de aspecto fosco, caracterizando o transporte eólico. Em termos de espessura residual, provavelmente devido à preservação do paleo-relevo de dunas, pode atingir até 100 m de espessura conforme Scherer (1998, 2000, 2002).

A Formação Serra Geral compreende uma sucessão de derrames magmáticos e corpos intrusivos associados, com uma espessura residual máxima de cerca de 1.700 m, na qual a predominância de basaltos de afinidade toleítica (90%), seguido por andesitos toleíticos (7%) e em menores proporções riolitos- riodacitos (3%) especialmente nas porções mais superiores (Melfi *et al.*, 1988; Piccirillo & Melfi, 1988). Para Nardy *et al.* (2008), rochas vulcânicas ácidas (riolitos e riodacitos) representam cerca de 2,5% do volume total da Formação Serra Geral e recobrem uma área de aproximadamente 64.000 km<sup>2</sup>.

### **Inserir Figura 2**

O início do magmatismo da Formação Serra Geral indica uma idade relativa para o término da sedimentação da Formação Botucatu conforme pode observado na figura 2. No entanto, são observados eventuais *intertraps* arenosos nas porções mais basais da Formação Serra Geral, ocasionando feições típicas de interação lava-sedimento ao longo deste contato. Este fato sugere que condições desérticas ultrapassaram este limite e persistiram por algum tempo durante as primeiras fases do evento vulcânico (Milani *et al.*, 1998; Scherer, 2002).

## LOCALIZAÇÃO

Visando caracterizar feições de interação vulcano-sedimentares, foram analisadas áreas preferencialmente ao longo da borda atual da Bacia do Paraná, no estado do Rio Grande do Sul. Nesta situação observam-se inúmeros afloramentos com a presença de rochas vulcânicas (sejam básicas e/ou ácidas), sedimentares (siliciclásticas) e as feições resultantes desta interação. Foram escolhidas regiões onde as feições resultantes da interação das Formações Botucatu e Serra Geral afloram. Os alvos de interesse compreendem 5 pontos chave (todos na interface lava-sedimento), destes 2 afloram predominantemente rochas vulcânicas ácidas e 3 básicas (Fig. 3). Assim, nas porções central e leste da borda da Bacia do Paraná (RS), foram selecionadas as regiões:

- 1) do Salto do Jacuí (SJ), onde ocorre mineralizações de ágata e derrames de composição ácida interagem com sedimentos (Michelin, 2014);
- 2) de Sinimbu-Herveiras (SH), porção central do estado, onde são comuns feições de interação com derrames ácidos e básicos;
- 3) de Santa Cruz do Sul (SC), porção central do estado, caracterizada também por feições de interação com derrames básicos;
- 4) de Novo Hamburgo (NH), na qual pedreiras permitem a visualização do contato entre o primeiro derrame básico e o arenito Botucatu;
- 5) e de Torres (TR), na região nordeste do estado, mais precisamente no Parque Estadual da Guarita com predomínio de brechas e diques de arenito em contato com derrames básicos.

**Inserir Figura 3**

## MATERIAIS, MÉTODOS E TÉCNICAS

A análise de imagens aéreas, de satélite e mapas topográficos das regiões próximas as bordas atuais da Bacia do Paraná no estado do Rio Grande do Sul, permitiu a seleção das áreas de estudo em que feições de interação lava-sedimento pudessem ser visualizadas, descritas e amostradas.

As unidades aflorantes foram descritas detalhadamente, bem como suas relações de contato entre si, além da documentação fotográfica e coleta de amostras de rochas sedimentares, vulcânicas e porções de interação entre ambas.

Com base nas descrições foram selecionadas amostras para serem analisadas por técnicas petrográficas e por difração de raios X (DRX).

As lâminas petrográficas foram confeccionadas de acordo com a metodologia usual sendo impregnadas com resina de cor azul para facilitar a identificação da porosidade. As lâminas petrográficas foram descritas e fotomicrografadas com um microscópio Leitz Laborluz 12 (com aumentos variando entre 2,5 e 50 X) utilizando-se técnicas de luz natural e de luz polarizada.

Para a análise por difração de raios X (DRX) foram utilizadas amostras da matriz das rochas vulcano-sedimentares em análises do tipo rocha total (RT) e posteriormente selecionada a fração fina ( $FF < 4 \mu\text{m}$ ) de algumas para detalhamento. O difratômetro usado foi um Siemens D5000 Diffraktometer do Laboratório de Difractometria de Raios X do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. As condições do difratômetro foram radiação  $K\alpha\text{Cu}$ , 40 kV, 30 mA de corrente de filamento e intervalo de 2 a  $72^\circ$  ( $2\theta$ ).

## RESULTADOS

No contato entre os arenitos da Formação Botucatu com os primeiros derrames de lavas da Formação Serra Geral evidenciam-se inúmeras feições de interação vulcano-sedimentar. Os arenitos com características típicas da Formação Botucatu e outras ocorrências de arenitos, inicialmente não identificados como pertencentes a esta unidade, ocorrem como *intertraps* na Formação Serra Geral, seja em sua porção básica ou ácida.

Nas áreas de estudo (Fig. 3) foram observadas feições de interação entre derrames de composição básica e ácida com sedimentos siliciclásticos de granulometria variando de silte a arenito grosso. De uma forma geral, as feições vulcano-sedimentares podem ser classificadas de duas formas distintas de acordo com seu processo de formação. A primeira faz referência a interação com o derrame ainda fluido, com temperatura elevada e parcialmente cristalizado, ao

passo que a segunda relaciona a interação a partir de processos posteriores (erosão, intemperismo), com o derrame já consolidado.

Do ponto de vista geomorfológico as áreas de 1 a 4 (ver Fig. 3) compreendem a porção denominada Planaltos e Chapadas da Bacia do Paraná. Já a área 5, situa-se no compartimento geomorfológico referente a Planícies e Tabuleiros Litorâneos, definida por uma faixa arenosa que abrange toda a porção leste do estado, caracterizada por dunas, lagoas, lagoas e falésias basálticas no litoral norte gaúcho (Ross, 2005).

As áreas analisadas caracterizam-se pela ocorrência de derrames de composição básica na base e a partir de uma altitude de aproximadamente 300 m (região do Salto do Jacuí) derrames de rochas ácidas começam a predominar (Nardy *et al.*, 2008; Michelin, 2014).

Nas regiões de estudo, conforme pode ser observado na figura 3, ocorre a Formação Botucatu na base em nítido contato com a sequência vulcânica. São arenitos de granulometria variando de areia fina a grossa, coloração rosada a avermelhada, de moderada a alta maturidade textural, com grãos predominantemente arredondados de composição predominantemente quartzosa, porém, em alguns locais, observa-se um aumento na quantidade de grãos de feldspatos. Como composição mineralógica, além do quartzo e do feldspatos há minerais secundários como turmalina, apatita e zircão. Em sua maioria, as ocorrências do arenito Botucatu caracterizam-se por uma excelente porosidade, ausência de cimentação extensiva e de matriz. No entanto, em locais onde há ocorrência de rochas vulcânicas ácidas, pôde-se observar uma cimentação predominantemente silicosa (quartzo microcristalino, calcedônia) e ausência de porosidade.

Intercalados aos derrames, comuns na porção mais basal da sequência vulcânica, os denominados *intertraps* de arenito, caracterizam-se por camadas de arenitos com dimensões métricas e algumas vezes centimétricas. São arenitos com eventual estratificação cruzada planar e alternância de lâminas de arenito de granulometria variando de grossa a média, grãos subarredondados a arredondados, contatos pontuais e subordinadamente lineares.



Composicionalmente são arenitos quartzosos a sub-arcóseos podendo ser cimentados por sílica microcristalina (opala e calcedônia) (Fig. 4).

#### **Inserir Figura 4**

Estes *intertraps* arenosos são interpretados como indicativos de que a sedimentação eólica persistiu durante os primeiros eventos vulcânicos. Os *intertraps* são importantes não só por demonstrarem intervalos de quiescência entre os derrames vulcânicos (Milani *et al.*, 1998; Scherer, 2002), mas também por associarem-se com as feições de interação que foram descritas nas regiões de estudo.

Em termos de rochas vulcânicas, nas regiões 1, 2 e 3 foram descritos derrames de composição básica e de composição ácida. Derrame refere-se um fluxo rochas fundidas (lava) que se espalha pela superfície solidificando posteriormente (Wilson, 1989).

Os derrames básicos apresentam em sua maioria disjunções horizontais e verticais, são fraturados e nas porções de base e de topo apresentam vesículas preenchidas ou parcialmente preenchidas por zeólita, calcita, quartzo microcristalino (ágata e calcedônia) e argilominerais (celadonita). Algumas cavidades maiores (geodos) também podem ser observadas de maneira subordinada, geralmente associado às fraturas. Petrograficamente, nestes litotipos, é comum a ocorrência de textura glomeroporfírica, marcada por fenocristais euédricos a subédricos de plagioclásio e subordinadamente augita e pigeonita. Minerais opacos são relativamente comuns, tanto nos agrupamentos quanto na matriz. A matriz vítrea frequentemente apresenta feições de devitrificação, cristais de plagioclásio ocorrem saussuritizados e seritizados, além de cristais de piroxênio alterados. Composicionalmente estas ocorrências básicas correspondem a basaltos e basaltos andesíticos.

Em contrapartida, os derrames ácidos demonstram-se mais espessos, quando comparados aos de composição básica, possuem morfologia bastante variada (tabulares, lenticulares e lobados, entre outras) com disjunção horizontal e fraturas de forma marcante. As vesículas ocorrem de forma elíptica-alongada e são preenchidas preferencialmente por quartzo microcristalino. Em lâmina

delgada, estas rochas têm textura fina e glomeropórfiros de plagioclásio, quartzo e K-feldspato, podendo ocorrer raramente alguns fenocistais de piroxênio. Pode apresentar vesículas preenchidas por sílica e argilominerais (cloritas, esmectitas). Petrograficamente, estes litotipos, correspondem a dacitos.

Nos locais onde há interação com os arenitos são descritas brechas, diques de arenito, fraturas com arenitos e geodos com sedimentos, feições que vem sendo reconhecidas na interface lava-sedimento (Petry, 2006; Michelin, 2007; Petry *et al.*, 2007; Waichel *et al.*, 2007, 2008; Michelin, 2014)

Como brechas foram denominadas as rochas formadas pelos processos de interação constituídas de matriz arenosa e clastos de rochas vulcânicas com dimensões variadas (milimétricas a centimétricas). Ocorrem na base ou no topo dos derrames sempre em contato com o *intertrap* arenoso, constituindo camadas, lentes ou “bolsões”, descontínuos.

Fischer (1960), Pettijohn, (1975), McPhie *et al.* (1993) e Reis (2013) apresentam algumas classificações propostas para as brechas vulcânicas. Alguns autores sugerem o termo peperito para designá-las (White *et al.*, 2000; Jerram & Stollhofen, 2002; Skilling *et al.*, 2002). Neste trabalho, optou-se por utilizar o termo brechas de acordo com a proposição abaixo (Fig. 5):

### **Inserir Figura 5**

**Brechas Vulcano-sedimentares** - ocorrem principalmente na porção superior dos derrames, formadas por clastos de rochas basálticas e/ou dacíticas com texturas e mineralogia variadas. Clastos são angulosos a subarredondados, com dimensões variando entre a 0,5 cm a 10 cm, em matriz arenosa de granulometria fina a média, grãos arredondados a subarredondados, compostas principalmente por grãos de quartzo, de feldspato e minerais secundários como a apatita (Fig.5A).

**Brechas vulcânicas** - clastos angulosos de basalto ou dacito em uma matriz sedimentar, semelhante a descrita nas brechas sedimentares, porém mais argilosa. Os clastos caracterizam-se por apresentarem composições e texturas semelhantes indicando associação com um único derrame.

As brechas posicionam-se na base dos derrames junto ao contato com o *intertrap* e a partir destas pode ocorrer a formação e ramificação dos diques de arenito (Fig.5E).

**Autobrechas** - maciças, mal selecionadas e compostas por fragmentos de basaltos angulosos, imersos em matriz basáltica, arenosa ou carbonática (Fig.5D).

Outras feições descritas foram:

**Diques de arenito** – apresentam ramificações e migram por entre as porções de base dos derrames diminuindo a largura em direção ao topo (Fig.5F). O arenito de preenchimento é fino a médio, com grãos subangulosos a arredondados de quartzo, feldspato e fragmentos líticos da encaixante e/ou de rochas sotopostas (basaltos e dacitos). O contato entre os grãos é pontual e linear e como nos *intertraps*, a cimentação é predominantemente silicosa. Em alguns pontos ao longo do contato do dique com a rocha encaixante ocorrem bordas de reação.

**Fraturas com arenitos** – fraturas de resfriamento são comuns no topo dos derrames, estas podem ser preenchidas por um novo pulso na sedimentação e eventualmente podem apresentar uma estratificação incipiente. Neste caso, considera-se tanto fraturas perpendiculares ao fluxo magmático quanto àquelas paralelas (Fig. 5B).

**Geodos com sedimentos** – geodos são cavidades formadas durante os processos de degaseificação das lavas sendo preenchidos posteriormente por soluções silicosas caracterizando um evento epigenético (Duarte *et al.*, 2005). Geodos preenchidos por sedimentos foram descritos exclusivamente na região do Salto do Jacuí por Michelin (2014). Estas cavidades são preenchidas por clastos centimétricos de siltito argiloso, cimentados por calcedônia, opala e até mesmo ágata. Os clastos de siltito são de coloração avermelhada e compostos predominantemente por fragmentos micáceos orientados em matriz argilosa. Estes geodos ocorrem nas porções de meio e topo dos derrames, nas proximidades de fraturas preenchidas por sedimentos e de diques de arenito, além disso, podem, por vezes, estar associados com veios preenchidos por opala (Fig. 5C)

**Dunas Preservadas** – as áreas 4 (Fig. 6A) e 5 (Fig. 6B) recebem destaque pela excelente preservação das paleodunas. Estas feições já haviam sido relatadas por Waichel *et al.* (2008) e

registram o momento em que o primeiro derrame da Formação Serra Geral recobre dunas ainda ativas pertencentes à Formação Botucatu. Os arenitos quartzo-feldspáticos que compõem estas dunas são caracterizados pela estratificação cruzada acanalada de grande porte (Fig. 6C), grãos foscos arredondados a subarredondados, com alta maturidade textural e cimentação carbonática (Fig. 6D).

### **Inserir Figura 6**

Uma vez identificadas e descritas estas feições, buscou-se uma correlação destas com seu posicionamento nas áreas estudadas. Desta maneira, percebe-se que na porção leste da borda da Bacia (áreas 4 e 5), além das dunas preservadas, diques de arenito, brechas vulcânicas e autobrechas também são reconhecidos. Em contrapartida, brechas vulcano-sedimentares e fraturas preenchidas por arenitos foram descritos nas áreas 1, 2 e 3 (Quadro 1):

### **Inserir Quadro 1**

## **DISCUSSÕES**

Feições de interação entre rochas vulcânicas e sedimentares ocorrem na base e no topo dos primeiros derrames, seja de composição básica ou ácida, da Formação Serra Geral, na borda da Bacia do Paraná. O processo ocorre de diferentes formas em função da temperatura das rochas vulcânicas e do tipo de sedimento. É um estágio inicial quando a lava, com temperatura relativamente elevada e ainda em processo de cristalização, flui sobre os sedimentos há formação de brechas vulcânicas, autobrechas e diques de arenito. Trata-se de um processo dinâmico onde a presença de água ou umidade favorece a interação. Numa segunda etapa, as feições são formadas após o resfriamento, em condições superficiais de erosão e intemperismo, originando fraturas preenchidas por sedimentos, geodos com sedimentos e brechas vulcano-sedimentares.

Interações concomitantes ao derrame estão diretamente associadas à presença de sedimentos saturados em água (Mizusaki, 1986; Reis, 2013; Michelin, 2014). Ao fluir sobre estes sedimentos o derrame desencadeia os processos de fluidização/vaporização instantânea, devido as suas temperaturas elevadas. A água presente nos sedimentos inconsolidados é convertida em vapor que

fica confinado na base dos derrames em pressões elevadas. Com o resfriamento do derrame, inúmeras fraturas de resfriamento ou diaclases surgem, ocasionando a redução da pressão e consequente expulsão do sedimento ao longo da zona de alívio de pressão, alargando e preenchendo as fraturas com o sedimento inicialmente vaporizado. O processo dispende energia e a base dos derrames é retrabalhada pelo fluxo de vapor, envolvendo o “arranque” e formação de clastos da lava. Neste caso, todos os clastos de vulcânica na brecha possuem textura e mineralogia semelhantes, além de bordas de reação no contato vulcânica/sedimento. Em algumas situações os clastos vulcânicos apresentam formas amebóides e fenocristais de piroxênio e plagioclásio orientados, indicativos de fluidez do material em contato com o sedimento. Dessa maneira, as bordas de reação são interpretadas como indício de lavas com temperatura ainda elevada.

Podem também formar-se autobrechas, em depósitos muito localizados e representativos da frente de derrames, onde há brechação da lava parcialmente cristalizada, formação de matriz vulcânica e posteriormente cimentação por carbonatos. Autobrechas ocorrem de forma concomitante ao evento magmático por meio de processos atuantes durante o movimento da lava, parcialmente solidificada, em presença de um declive na topografia, o qual proporciona o englobamento dos clastos (Reis, 2013; Michelin, 2014).

Para as feições posteriores ao magmatismo, reconhece-se que estas são formadas por processos intempéricos atuantes nas rochas vulcânicas. As fraturas preenchidas por sedimentos são geradas quando fraturas ou diaclases do derrame basáltico são posteriormente preenchidas pelo sedimento ainda inconsolidado, provavelmente fruto de uma recorrência da sedimentação eólica, a mesma que ocasionalmente poderia dar origem aos *intertraps* arenosos. Como preenchimento destas fraturas, é comum ainda a ocorrência de fragmentos de vulcânicas ácidas/básicas, com pouco ou nenhum retrabalhamento, mas com elevado grau de alteração.

Sedimentos de granulometria argila e silte foram reconhecidos como preenchimento de geodos. O processo genético destes geodos pode estar relacionado com a abertura singenética de cavidades como produto da desgaseificação do magma, e preenchidas posteriormente por sedimento (silte-

argila) decantado a partir de águas de infiltração que percolaram por fraturas, microfraturas e vesículas. O processo de preenchimento dos geodos permite que os sedimentos sejam laminados. Como são sedimentos finos e com abundantes partículas de micas orientadas, estes podem ser relacionados com sedimentação característica em interdunas (Waichel, 2006; Michelin, 2014).

## CONCLUSÕES

Foram identificadas feições vulcano-sedimentares, resultantes da interação entre os arenitos eólicos da Formação Botucatu com os derrames de composição básica e também ácida, na borda atual da Bacia do Paraná, no estado do Rio Grande do Sul, em cinco regiões de estudo previamente selecionadas. As feições vulcano sedimentares são descritas como brechas (vulcânicas, vulcano-sedimentares e autobrechas), diques de arenito, fraturas com arenitos e geodos com sedimentos, além de estrias de fluxo. A gênese dessas feições resulta de processos ligados a temperatura das lavas e composição e presença de águas nos sedimentos. A formação de brechas vulcânicas e diques de arenito reflete um processo dinâmico onde a temperatura elevada das lavas, em processo de cristalização, em contraste com a água ou umidade presente nos sedimentos favorecem a interação entre ambos através da fluidização/vaporização. Processo este que promove a retirada de fragmentos da base do derrame, formando assim os clastos de lava. As bordas de reação na interface lava/sedimento e a presença de clastos com aspecto amebóides e fenocristais orientados, são indicativos de que a gênese dessas feições vulcano-sedimentares ocorreu em temperaturas elevadas. As autobrechas formam-se durante o evento magmático e originam-se na porção frontal dos derrames através da brechação e englobamento da lava parcialmente solidificada, sempre em presença de um declive topográfico. Já as fraturas preenchidas por sedimentos, geodos com sedimentos e brechas vulcano-sedimentares são originados após o resfriamento do derrame em condições superficiais de intemperismo e erosão. A presença de *intertraps* arenosos entre os derrames são indicativos de uma recorrência da atividade eólica durante o magmatismo, e está associada com a formação de fraturas preenchidas por sedimentos e brechas vulcano-sedimentares. Nos geodos com sedimentos, o preenchimento destes com sedimentos na fração silte-argila e

fragmentos de micas orientadas tem sido atribuído a infiltração de águas superficiais provavelmente em situação de interdunas.

### **AGRADECIMENTOS**

Este artigo faz parte da dissertação de mestrado do primeiro autor que agradece a CAPES pela concessão bolsa de pesquisa e pelo suporte financeiro do presente trabalho. Os autores agradecem aos colegas Isaque Rodrigues, Nelson Lisboa e Camile Urban pelas sugestões e comentários que ajudaram a aperfeiçoar este trabalho.

### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ALLEN, R.L. Reconstruction of the tectonic, volcanic and sedimentary setting of strongly deformed Zn-Cu massive sulfide deposits at Benambra. Victoria, Australia, *Econ. Geol.*, v. 87, p. 825-854, 1992

ALMEIDA, F.F.M. Botucatu, um deserto triássico da América do Sul. *Notas Preliminares e Estudos da Divisão de Geologia e Mineralogia do DNPM*, v. 86, p. 1-21, 1954.

ARIOLI, E.E.; LICHT, O.A.B.; VASCONCELLOS, E.M.G.; BONNET, K.L.; SANTOS, E.M. Faciologia vulcânica da Formação Serra Geral na região de Guarapuava, Paraná. In: *IV SIMPÓSIO DE VULCANISMO E AMBIENTES ASSOCIADOS*, 4, 2008. Foz do Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu, SBG. 2008. 1CD-ROM.

BOULTER, C.A. High-level peperitic sills at Rio Tinto, Spain: implications for stratigraphy and mineralization. *Trans. Inst. Min. Metall*, v. 102, p. 30-38, 1993

BRANNEY, M. & SUTHREN, R. High-level peperitic sills in the English Lake District: distinction from block lavas, and implications for Borrowdale Volcanic Group stratigraphy. *Geology Journal*, v. 23, p. 171-187, 1988.

BRANNEY, M.; SUTHREN, R. High-level peperitic sills in the English Lake District: distinction from block lavas, and implications for Borrowdale Volcanic Group stratigraphy. *Geol. J.*, v. 23, p. 171-187, 1988.

BUSBY-SPERA, C. & WHITE, J.L. Variation in peperite textures associated with differing host-sediment properties: *Bulletin of Volcanology*, v. 49, p. 765-776, 1987.

CPRM. COMPANHIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERAIS – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Mapa geológico do Rio Grande do Sul. escala 1:750.000. 2008.

DUARTE, L.C.; HARTMANN, L.A.; VASCONCELLOS, M.A.Z. Epigenetic geode formation in the world class amethyst deposits of the southern Paraná Basaltic Province. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE METALOGENIA, 1, Gramado. SBG. 2005. 5p., CD-ROM.

FISCHER, R.V. Classification of volcanic breccias. *Geologic Society American Bulletin*, v. 71, p. 973-982, 1960.

HARTMANN, L.A.; DUARTE, L.C.; MASSONNE, H.-J.; MICHELIN, C.; ROSENSTENGEL, L.M.; BERGMANN, M.; THEYE, T.; PERTILLE, J.; ARENA, K.R.; DUARTE, S.K.; PINTO, V.M.; BARBOZA, E.G.; ROSA, M.L.C.C.; WILDNER, W. Sequential opening and filling of cavities forming vesicles, amygdalae and giant amethyst geodes in lavas from the southern Paraná volcanic province, Brazil and Uruguay. *International Geology Review*, v. 54, p. 1–14, 2012a.

HARTMANN, L.A.; ARENA, K.R.; DUARTE, S.K. Geological relationships of basalts, andesites and sand injectites at the base of the Paraná volcanic province, Torres, Brazil. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 237-238, p. 97–111, 2012b

HEEMANN, R. Geologia, controles e guias prospectivos para depósitos de ágata na região do Salto do Jacuí. Porto Alegre, 1997, 107p. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e dos Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

HOLE, M.; JOLLEY, D.; HARTLEY, A.; LELEU, S.; JOHN, N.; BALL, M. Lava–sediment interactions in an Old Red Sandstone basin, NE Scotland: *Journal of the Geological Society*, v. 170, p. 641-655, 2013.

HOLZ, M.; SOARES, A.P.; SOARES P.C. Preservation of aeolian dunes by pahoehoe lava: An example from the Botucatu Formation (Early Cretaceous) in Mato Grosso do Sul state (Brazil),



western margin of the Paraná Basin in South America. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 25, p. 398–404, 2008.

JANASI, V.D.A.; de FREITAS, V.A.; HEAMAN, L.H. The onset of flood basalt volcanism, Northern Paraná Basin, Brazil: a precise U-Pb baddeleyite/zircon age for a Chapecó-type dacite. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 302(1), p. 147-153, 2011.

JERRAM, D.A.; MOUNTNEY, N.; HOLZFÖRSTER, F.; STOLLHOFEN, H. Internal stratigraphic relationships in the Etendeka Group in the Huab Basin, NW Namibia. *Journal of Geodynamics*, v. 28, p. 393–418, 1999a.

JERRAM, D.A.; MOUNTNEY, F.; STOLLHOFEN, H. Facies architecture of the Etjo Sandstone Formation and its interaction with the basal Etendeka Flood Basalts of northwest Namibia: implications for offshore prospectivity. In: CAMERON, N.R., BATE, R.H., CLURE, V.S. (Eds.), *The Oil and Gas Habitats of the South Atlantic*. Geological Society London, Special Publications, v. 153, p. 367–380, 1999b.

JERRAM, D.; MOUNTNEY, N.; HOWELL, J.A.; LONG, D.; STOLLHOFEN, H. Death of a sand sea: an active aeolian erg systematically buried by the Etendeka flood basalts of NW Namibia. *Journal of the Geological Society*, v. 157, p. 513-516, 2000.

JERRAM, D. & STOLLHOFEN, H. Lava-sediment interaction in the desert settings; are all peperite-like textures the result of magma-water interaction? *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 114, p. 231-249, 2002.

LORENZ, B.E. Mud-magma interactions in the Dunnage Melange, Newfoundland. In: KOKELAAR, B.P., HOWELLS, M. (Eds.), *Volcanic and Associated Sedimentary and Tectonic Processes in Modern and Ancient Marginal Basins*: Geol. Soc. London, Special Publication, p. 271-277, 1984.

LUCHETTI, A.C.F.; NARDY, A.J.R.; MACHADO, F. B.; MADEIRA, J.E.O.; ARNOSIO, J.M. Peperites and sedimentary deposits within the silicic volcanic sequences of the PMP. *Solid Earth*, v. 5, p. 121–130, 2014.

MACDONALD, G.A. An intrusive peperite at San Pedro Hill, California. Calif. Univ. Publ. Dept. Geol. Sci. Bull. v. 24, p. 329-338, 1939.

MACHADO, F.B.; NARDY, A.J.R.; ROCHA JR., E.R.V.; MARQUES, L.S.; OLIVEIRA, M.A.F. Geologia e litogeoquímica da Formação Serra Geral nos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. Geociências-Universidade Estadual Paulista, v. 28, p. 523–540, 2009.

MCPHIE, J. The Tennant Creek Porphyry revisited: a synsedimentary sill with peperite margins, Early Proterozoic, Northern Territory. Aust. J. Earth Sci. v. 40, p. 545-558, 1993.

MCPHIE, J.; DOYLE, M.; ALLEN, R. Volcanic Textures. A guide to the interpretation of textures in volcanic rocks. Hobart, University of Tasmania, 198 p. 1993.

MCPHIE, J. & HUNNS, S.R. Secondary welding of submarine, pumice-lithic breccia at Mount Chalmers, Queensland, Australia. Bull. Volcanol. v. 57, p. 170-178, 1995.

MCPHIE, J. & ORTH, K. Peperite, pumice and perlite in submarine volcanic successions: implications for VHMS mineralisation. Proceedings of Pacrim '99, Bali, Indonesia, p. 643-648, 1999.

MELFI, A.J.; PICCIRILLO, E.M.; NARDY, A.J.R. Geological and magmatic aspects of the Paraná Basin: an introduction. In: PICCIRILLO, E.M. & MELFI, A.J. (Eds.). The Mesozoic flood volcanism of the Paraná Basin: petrogenetic and geophysical aspects. Instituto Astronômico e Geofísico, Universidade de São Paulo, p 1-13, 1988.

MICHELIN, C.R.L. Seqüência de formação das cavidades no basalto e seu preenchimento com zeólitas, arenito, ágata e ametista, Derrame Miolo, São Martinho da Serra, Rio Grande do Sul, Brasil. Porto Alegre, 2007, 50p. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

MICHELIN, C.R.L. Ágata do Distrito Mineiro de Salto do Jacuí (Rio Grande do Sul, Brasil) - uma caracterização com base em técnicas estratigráficas, petrográficas, geoquímicas e isotópicas. Porto Alegre, 2014. 162p. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

MILANI, E.J. Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-ocidental. Porto Alegre, 1997. 225p. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

MILANI, E.J.; FACCINI, U.F.; SCHERER, C.M.S.; ARAÚJO, L.M.; CUPERTINO, J.A. Sequences and stratigraphic hierarchy of the Paraná Basin (Ordovician to Cretaceous), Southern Brazil. In: AMOS, A.J.; LÓPEZ-GAMUDI, O.; ROCHA-CAMPOS, A.C. (Eds.). Sedimentary basins of South America, Amsterdam, Elsevier, p. 449, 1998.

MILANI, E.J.; MELO, J.H.G.; SOUZA, P.A.; FERNANDES, L.A.; FRANÇA, A.B. Bacia do Paraná. Boletim de Geociências da Petrobras, v. 15, n. 2, p. 265-287, 2007.

MIZUSAKI, A.M.P. A utilização do microscópio eletrônico de varredura no estudo de rochas reservatório de hidrocarbonetos. SEMINÁRIO DE GEOLOGIA, Rio de Janeiro, Petrobrás/Depex, v. 1, p. 322-331, 1986.

MOUNTNEY, N.; HOWELL, J.; FLINTH, S., JERRAM, D.A. Aeolian and alluvial deposition within the Mesozoic Etjo Sandstone Formation, northwest Namibia. Journal of African Earth Science, v. 27, p. 175–192, 1998.

MOUNTNEY, N.; HOWELL, J.; FLINTH, S.; JERRAM, D.A. Relating eolian bounding-surface geometries to the bed forms that generated them: Etjo Formation, Cretaceous, Namibia. Geology, v. 27, p. 159–162, 1999.

MOUNTNEY, N. & HOWELL, J. Aeolian architecture, bedform climbing and preservation space in the Cretaceous Etjo Formation, NW Namibia. Sedimentology, v. 47, p. 825–849, 2000.

NARDY, A.J.R.; MACHADO, F.B.; OLIVEIRA, M.A.F. As rochas vulcânicas mesozóicas ácidas da Bacia do Paraná: litoestratigrafia e considerações geoquímico estratigráficas. Revista Brasileira de Geociências, v. 38, n. 1, p. 178-195, 2008.

- PERINOTTO, J.A.J.; ETCHEBEHERE, M.L.C.; SIMÕES, L.S.A.; ZANARDO, A. Diques clásticos na Formação Corumbataí no nordeste da Bacia do Paraná, SP: Análise sistemática e significações estratigráficas, sedimentológicas e tectônicas. *Geociências*, v. 27, p. 469–491, 2008.
- PETRY, K. Feições de interação vulcano-sedimentares: seu uso como indicadores de contemporaneidade no magmatismo Rodeio Velho (meso-ordoviciano) e no vulcanismo Serra Geral (cretáceo inferior). São Leopoldo - RS, 2006. 88p. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade do Vale do Rio do Sinos.
- PETRY, K.; JERRAM, D.A.; ALMEIDA, D.P.M.; ZERFASS, H. Volcanic-sedimentary features in the Serra Geral Fm., Paraná Basin, southern Brazil: Examples of dynamic lava-sediment interactions in an arid setting. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 159, p. 313–325, 2007.
- PETTIJOHN, F.J. *Sedimentary rocks*. New York, Harper & Row, 628 p., 1975.
- PICCIRILLO, E.M. & MELFI, A.J. The Mesozoic flood volcanism from the Paraná Basin (Brazil): petrogenetic and geophysical aspects. Instituto Astronômico e Geofísico, Universidade de São Paulo, 600p., 1988.
- POLO, L.A. O vulcanismo ácido da Província Magmática Paraná Etendeka, na região de Gramado Xavier, RS: estratigrafia, estruturas, petrogênese e modelo eruptivo. São Paulo, 2014. 340p. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- REIS, G.S. A Formação Serra Geral (Cretáceo, Bacia do Paraná) como análogo para os reservatórios ígneo-básicos da margem continental brasileira. Porto Alegre, 2013. 100p. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- ROSA, C.J.P.; MCPHIE, J.; RELVAS, J.M.R.S. Distinguishing peperite from other sediment-matrix igneous breccias: Lessons from the Iberian Pyrite Belt. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 315, p. 28–39, 2016.
- ROSS, J.L.S. *Geografia do Brasil*. Edusp, 549p., 2005.

- SCHERER, C.M.S. Análise estratigráfica e litofaciológica da Formação Botucatu (Cretáceo Inferior da Bacia do Paraná) no Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1998. 202 p. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- SCHERER, C.M.S. Eolian dunes of the Botucatu Formation (Cretaceous) in Southernmost Brazil: morphology and origin. *Sedimentary Geology*, v. 137, p. 63–84, 2000.
- SCHERER, C.M.S. Preservation of aeolian genetic units by lava flows in the Lower Cretaceous of the Paraná Basin, southern Brazil. *Sedimentology*, v. 49, p. 97-116, 2002.
- SKILLING, I.P.; WHITE, J.D.L.; MCPHIE, J. Peperite: a review of magma–sediment mingling. In: SKILLING, I.P., WHITE, J.D.L., MCPHIE, J. (Eds.), *Peperite: Processes and products of Magma-Sediment Mingling*. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 114, p. 1–17, 2002.
- SQUIRE, R.J. & MCPHIE, J. Characteristics and origin of peperite involving coarse-grained host sediment: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 114, p. 45-61, 2002.
- STRIEDER, A.J. & HEEMANN, R. Structural constraints on Paraná basalt volcanism and their implications on agate geode mineralization (Salto do Jacuí, RS, Brazil). *Pesquisas em Geociências*, v. 33, p. 37-50, 2006.
- WAICHEL, B.L.; LIMA, E.F.; LUBACHESKY, R.; SOMMER, C.A. Pahoehoe flows from the central Paraná Continental Flood Basalts. *Bulletin of Volcanology*, v. 68(7/8), p. 599-610, 2006.
- WAICHEL, B.L.; LIMA, E.F.; SOMMER, C.A.; LUBACHESKY, R. Peperite formed by lava flows over sediments: An example from the central Paraná Continental Flood Basalts, Brazil: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 159, p. 343-354, 2007.
- WAICHEL, B.L.; SCHERER, C.M.S.; FRANK, H.T. Basaltic lavas covering active Aeolian dunes in the Paraná Basin in Southern Brazil: features and emplacement aspects. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 169, p. 59–72, 2008.
- WHITE, J.D.L.; MCPHIE, J.; SKILLING, I.P. Peperite: a useful genetic term. *Bull. Volcanol.* V. 62, p. 65-66, 2000.

WILSON, M. Igneous Petrogenesis. A Global Tectonic Approach. Unwin Hyman, London, 466p., 1989.

ZALAN, P.V.; WOLFF, S.; CONCEIÇÃO, J.C.J.; ASTOLFI, M.A.M.; VIEIRA, I.S.; APPI, V.T.; ZANOTTO, O.A.; MARUES, Q. Tectonics and sedimentation of the Paraná basin. IN: SIMPÓSIO DO GONDWANA, Anais. São Paulo [s. n.]. 1988.

ZALÁN, P.V.; WOLFF, S.; ASTOLFI, M.A.M.; VIEIRA, I.S.; CONCEIÇÃO, J.C.J.; APPI, V.T.; SANTOS NETO, E.V.; CERQUEIRA, J.R.; MARQUES, A. The Paraná Basin, Brazil. In: LEIGHTON, M.W.; KOLATA, D.R.; OLTZ, D.F.; EIDEL, J.J. (Ed.). Interior cratonic basins. Tulsa: American Association of Petroleum Geologists, (AAPG. Memoir), v. 51, p. 681-708, 1990.

ZIMANOWSKI, B. & BÜTTNER, R. Dynamic mingling of magma and liquefied sediments: Journal of Volcanology and Geothermal Research, v. 114, p. 37-44, 2002.

## FIGURAS



Figura 1: Localização da Bacia do Paraná (modificado de Reis, 2013).

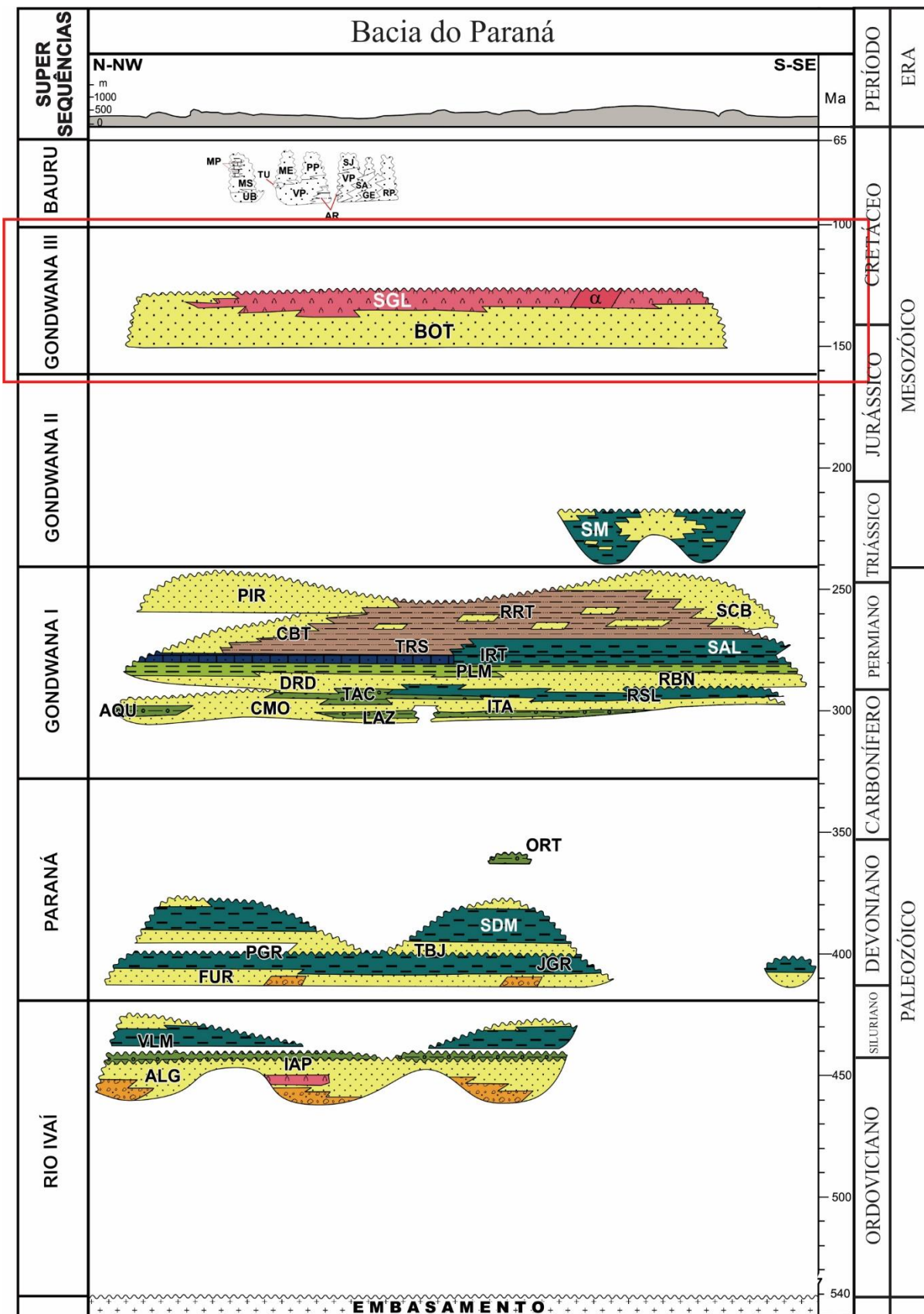


Figura 2: Coluna estratigráfica proposta para a Bacia do Paraná destacando no quadro vermelho a Supersequência Gondwana III, caracterizada pelas Formações Botucatu (BOT) e Serra Geral (SGL), unidades de interesse deste trabalho (modificado Milani *et al.*, 2007).



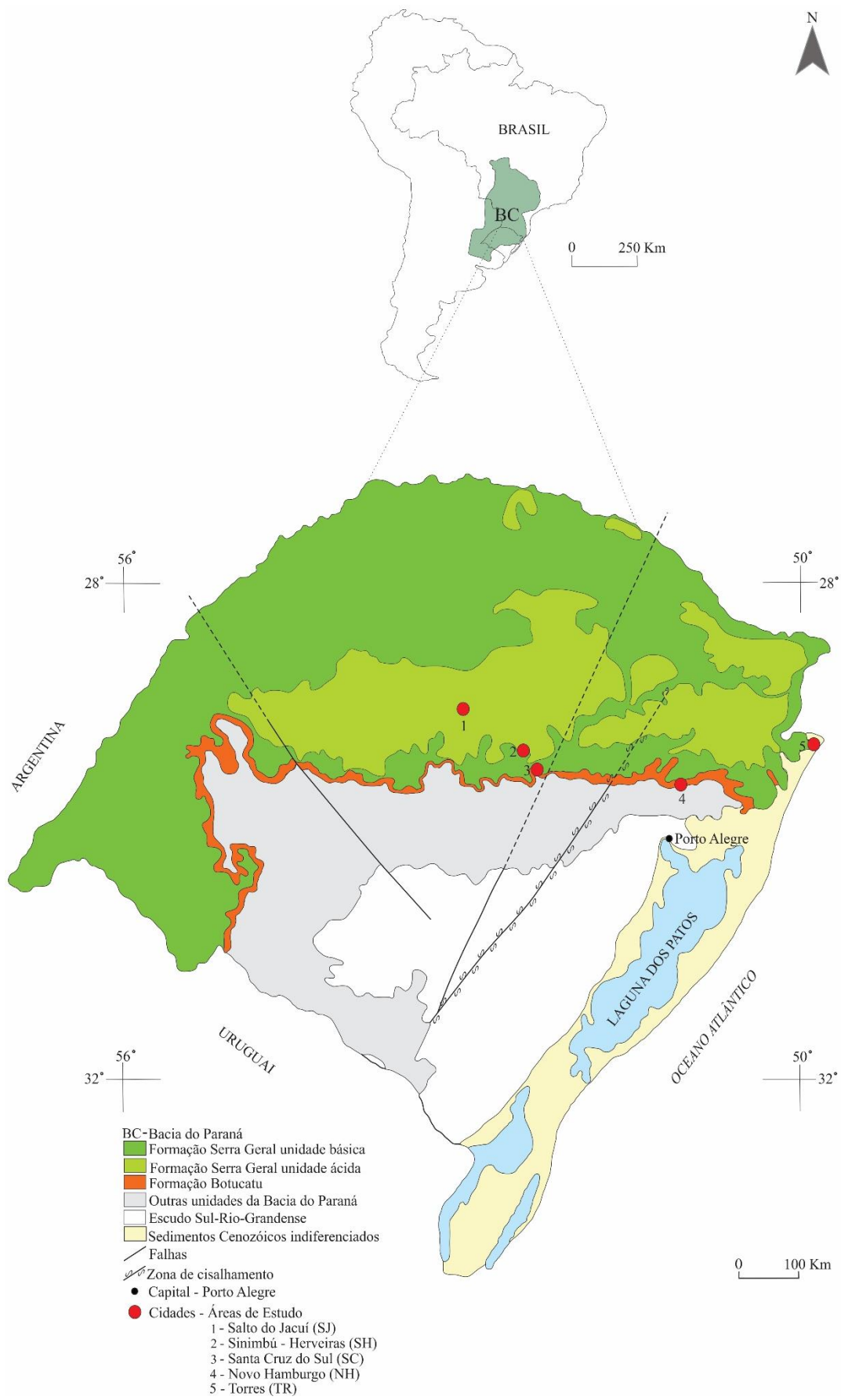


Figura 3: Áreas de estudo na borda atual da Bacia do Paraná, estado do Rio Grande do Sul (modificado de Scherer, 2002; Janasi *et al.*, 2011).

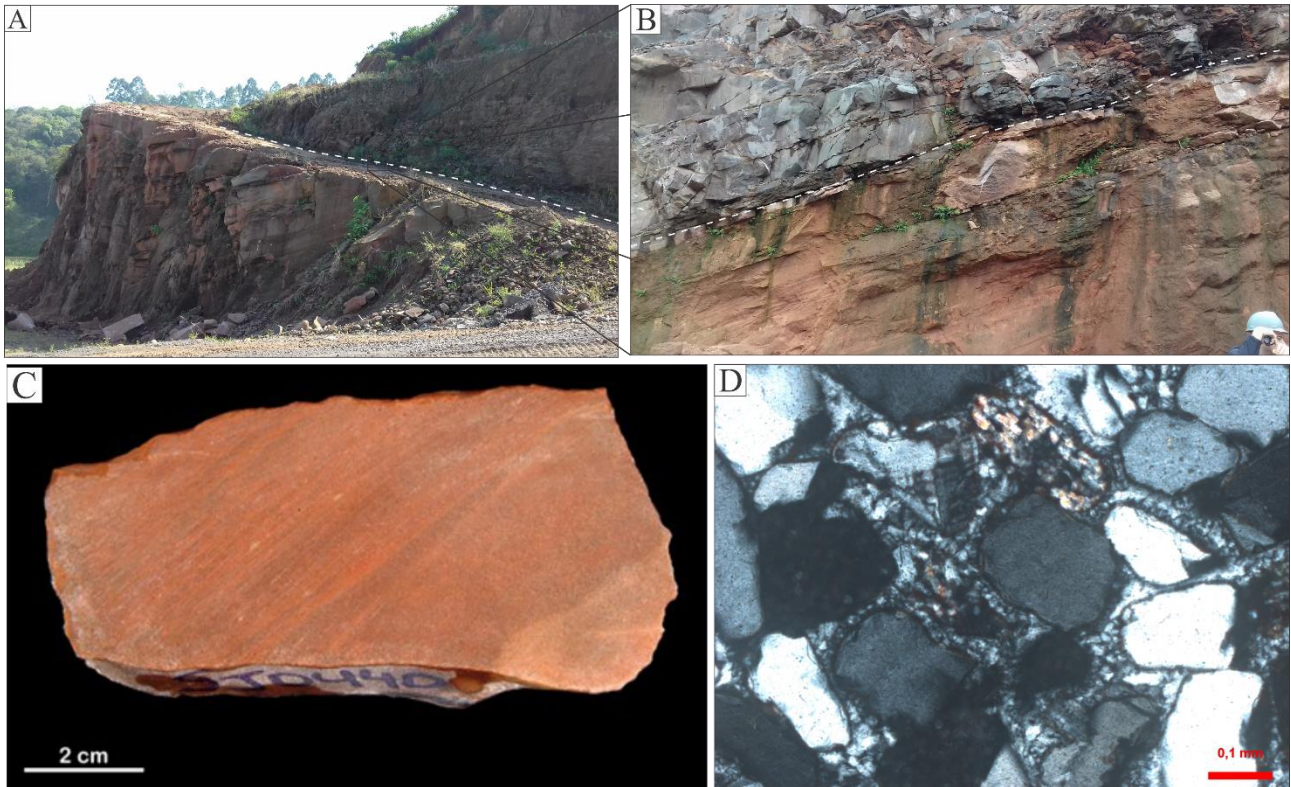


Figura 4: Detalhes do *intertrap*: A) *intertrap* arenoso com aproximadamente 10 m; B) contato entre as unidades vulcano-sedimentares; C) arenito quartzo-feldspático de granulometria média a grossa; D) fotomicrografia evidenciando os grãos arredondados cimentados por sílica microcristalina (calcedônia).

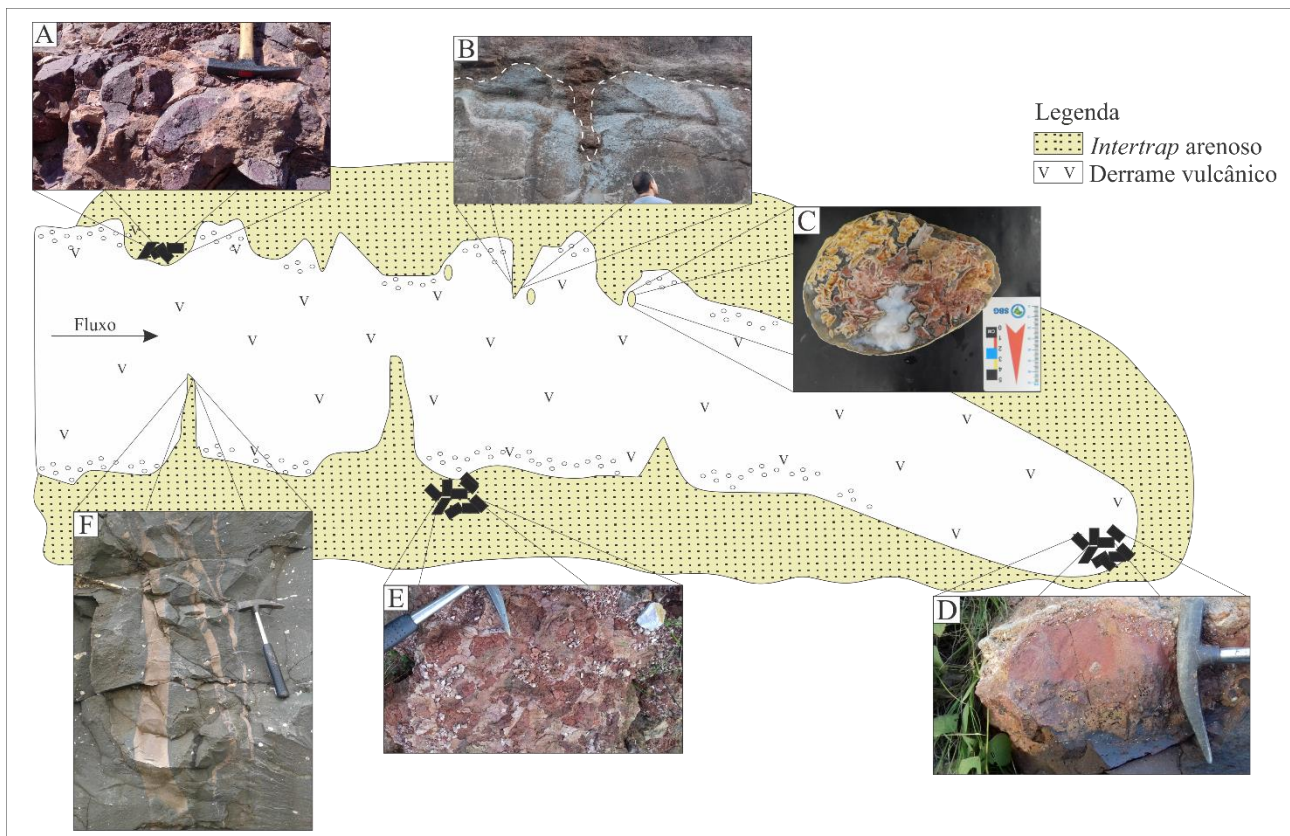


Figura 5: Esboço esquemático representando um derrame magmático recobrendo dunas eólicas ativas e gerando feições de interação entre a lava e o sedimento: A) brecha vulcano-sedimentar; B) fraturas preenchidas por sedimentos siliciclásticos de granulometria fina a grossa; C) geodo preenchido por sedimentos sílticos, representam processos posteriores ao evento vulcânico; D) autobrecha; E) brecha vulcânica e F) diques de arenito que representam produtos gerados durante o posicionamento da lava ainda fluida sobre os sedimentos.





Figura 6: Áreas recoberta do paleodeserto Botucatu pelos primeiros episódios vulcânicos da Formação Serra Geral, os quais propiciaram a preservação de dunas: A ) duna preservada na região de Novo Hamburgo (RS- área 4); B) preservação de duna observada na região do Parque Nacional das Guaritas em Torres (TR- área 5), o tracejado em branco indica o contato entre as duas unidades; C) arenito quartzo-feldspático com estratificação cruzada acanalada de grande porte; D) fotomicrografia evidenciando o arredondamento dos grãos de quartzo e feldspato e a cimentação por carbonato.

Quadro 1: Feições de interação entre rochas vulcânicas e rochas sedimentares observadas nas diferentes regiões de estudo; O “X “ indica que a feição foi observada e descrita.

Área	Dunas preservadas	Brechas vulcânicas	Diques de arenitos	Autobrechas	Brechas vulcano-sedimentares	Fraturas com arenitos	Geodos com Sedimentos
<b>1</b> <b>Salto do Jacuí</b>		X	X	X	X	X	X
<b>2</b> <b>Sinimbú-Herveiras</b>		X	X		X		
<b>3</b> <b>Santa Cruz</b>		X	X				
<b>4</b> <b>Novo Hamburgo</b>	X	X	X				
<b>5</b> <b>Torres</b>	X	X	X				