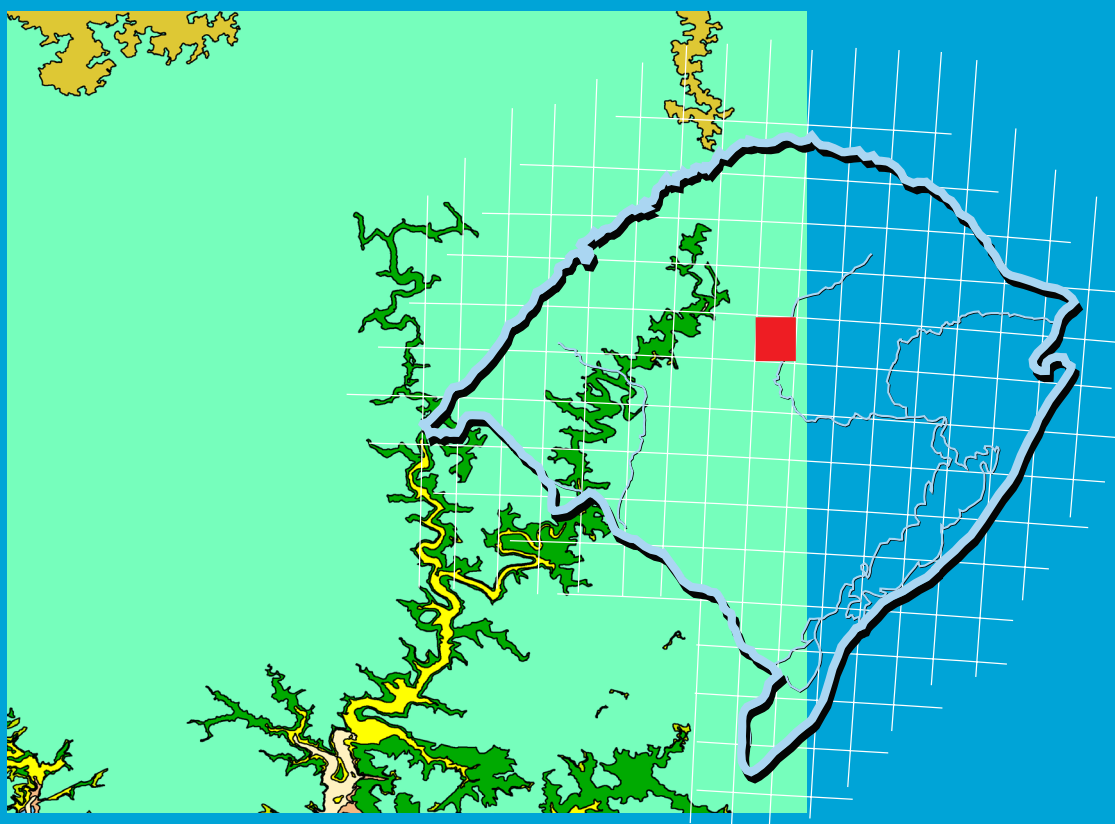


**Programa Geologia do Brasil**  
**Levantamentos Geológicos Básicos**

# **GEOLOGIA E RECURSOS MINERAIS** **DA FOLHA SOBRADINHO** **SH.22-V-C-II**



**Escala: 1:100.000**  
**2016**

**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA**  
**SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL**

**SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM**

DIRETORIA DE GEOLOGIA E RECURSOS MINERAIS

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE PORTO ALEGRE

**Programa Geologia do Brasil**

# **GEOLOGIA E RECURSOS MINERAIS**

## **DA FOLHA SOBRADINHO**

### **SH.22-V-C-II**

**ESCALA 1:100.000**

**ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL**

**Michel Marques Godoy**  
**Oscar L. Bertoldo Scherer**  
**Raquel Barros Binotto**  
**Andréia Oliveira Monteiro Gross**  
**Ana Maria Dreher**



PORTO ALEGRE  
2016

CPRM - SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE PORTO ALEGRE  
Rua Banco da Província 105 – Santa Tereza  
Rio Grande do Sul – RS – 90840-030  
FAX: (11) 3233-7772  
TEL: (51) 3476-7300  
<http://www.cprm.gov.br>

G589

Godoy, Michel Marques

Geologia e recursos minerais da Folha Sobradinho - SD. 22–V–C-II, Escala 1:100.000, Estado do Rio Grande do Sul / Michel Marque Godoy; Oscar L. Bertoldo Scherer; Raquel Barros Binotto; Andréia Oliveira Monteiro Gross; Ana Maria Dreher. Porto Alegre: CPRM, 2016.  
107 p.: il. color.

Programa Geologia do Brasil

ISBN 978-85-7499-281-5

1. Geologia Regional–Brasil–Rio Grande do Sul. 2. Recursos Minerais–Brasil– Rio Grande do Sul. I. Scherer, Oscar L. Bertoldo. II. Binotto, Raquel Barros.III. Gross, Andréia Oliveira Monteiro. IV. Dreher, Ana Maria. V. Título.

CDD 558.165  
CDU 55(816.5)

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária Ana Lúcia B. F. Coelho (CRB 10/840)

**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA**  
**SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL**  
**SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM**

DIRETORIA DE GEOLOGIA E RECURSOS MINERAIS  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA  
SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE PORTO ALEGRE

**Programa Geologia do Brasil**

**GEOLOGIA E RECURSOS MINERAIS DA FOLHA SOBRADINHO**

**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA**

Fernando Coelho Filho  
*Ministro de Estado*

**SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL**

Vicente Humberto Lôbo Cruz  
*Secretário*

**SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM**

Eduardo Jorge Ledsham  
*Diretor-Presidente*

José Leonardo Silva Andriotti  
*Diretor de Geologia e Recursos Minerais (interino)*

Stênio Petrovich Pereira  
*Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial*

Antonio Carlos Bacelar Nunes  
*Diretor de Relações Institucionais e Desenvolvimento*

Nelson Victor Cocq D'Oliveira  
*Diretor de Administração e Finanças*

Marco Túlio Naves de Carvalho  
*Chefe do Departamento de Geologia (interino)*

José Leonardo Silva Andriotti  
*Chefe do Departamento de Recursos Minerais (interino)*

Edílton José dos Santos  
*Chefe da Divisão de Geologia Básica*

Patrícia Durringer Jacques  
*Chefe da Divisão de Geoprocessamento*

Marília Santos Salinas Rosário  
*Chefe da Divisão de Cartografia*

José Marcio Henrique Soares  
*Chefe do Departamento de Relações Institucionais e Divulgação (interino)*

José Márcio Henrique Soares  
*Chefe da Divisão de Marketing e Divulgação*

**SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE PORTO ALEGRE**

Eduardo Camozzato  
*Superintendente Regional*

João Angelo Toniolo  
*Gerência de Geologia e Recursos Minerais*

Ana Cláudia Viero  
*Gerência de Relações Institucionais e Desenvolvimento*

Marcos Alexandre Freitas  
*Gerência de Hidrologia e Gestão Territorial*

Marilene Fátima Bastos  
*Gerência de Administração e Finanças*

**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA**  
**SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL**  
**SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM**

DIRETORIA DE GEOLOGIA E RECURSOS MINERAIS  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA  
SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DE PORTO ALEGRE

**CRÉDITOS AUTORAIS**

Michel Marques Godoy  
Oscar L. Bertoldo Scherer  
Raquel Barros Binotto  
Andréia Oliveira Monteiro Gross  
Ana Maria Dreher

---

**CRÉDITOS DE AUTORIA DO RELATÓRIO**

**1. INTRODUÇÃO**

Michel Marques Godoy

**2. CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL**

Michel Marques Godoy  
Andréia Oliveira Monteiro Gross  
Wilson Wildner

**3. LITOESTRATIGRAFIA**

Michel Marques Godoy  
Oscar L. Bertoldo Scherer  
Raquel Barros Binotto  
Ana Maria Dreher  
Wilson Wildner

**4. LITOGEOQUÍMICA**

Andréia Oliveira Monteiro Gross

**5. GEOLOGIA ESTRUTURAL**

Michel Marques Godoy  
Magda Bergamann

**6. RECURSOS MINERAIS**

Michel Marques Godoy  
Oscar L. Bertoldo Scherer

**7. GEOQUÍMICA PROSPECTIVA**

Andréia Oliveira Monteiro Gross

**8. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES**

Michel Marques Godoy  
Magda Bergamann  
Andréia Oliveira Monteiro Gross  
Ana Maria Dreher

**REFERÊNCIAS**

Michel Marques Godoy  
Andréia Oliveira Monteiro Gross  
Ana Lúcia Borges Fortes Coelho

**MAPA GEOLÓGICO**

Michel Marques Godoy  
Oscar L. Bertoldo Scherer  
Raquel Barros Binotto  
Ana Maria Dreher

**SIG GEOLÓGICO**

Oscar L. Bertoldo Scherer  
Raquel Barros Binotto  
Rui Arão Rodrigues

**COORDENAÇÃO TÉCNICA REGIONAL**

João Angelo Toniolo  
Carlos Moacyr da F. Iglesias

**COLABORAÇÃO TÉCNICA**

Rui Arão Rodrigues  
(Técnico em Geociências SUREG-PA)  
Carlos Alberto Favilla  
(Pesquisador em Geociências SUREG-PA)  
Andréa Sander  
(Pesquisadora em Geociências SUREG-PA)  
Ariel Rocha Goulart  
(Estagiário de Geologia/UFRGS - SUREG-PA)  
Dr. Roberto Heemann  
(Consultor Externo – PUC/RS)

**REVISÃO FINAL**

Edilton José dos Santos – DIGEOB

**PROJETO GRÁFICO (DIAGRAMAÇÃO) – GERIDE-PA**

Raquel Barros Binotto

**PROJETO GRÁFICO (PADRÃO CAPA/EMBALAGEM – DERID/DIMARK)**

José Márcio Henrique Soares  
Washington José Ferreira Santo

## **APRESENTAÇÃO**

---

O Programa Geologia do Brasil (PGB), desenvolvido pela CPRM – Serviço Geológico do Brasil é responsável pela retomada em larga escala dos levantamentos geológicos básicos do país. Este programa tem por objetivo fornecer subsídios para novos investimentos em pesquisa mineral e para a criação de novos empreendimentos mineiros. Além disso, os dados obtidos no âmbito desse programa podem ser utilizados em ações de gestão territorial e de recursos hídricos, dentre inúmeras outras aplicações de interesse social.

O mapeamento da Folha Sobradinho na escala 1:100.000 teve como finalidade fornecer subsídios geológicos que contribuíssem para o entendimento da estratigrafia vulcânica da Formação Serra Geral, e para o avanço da pesquisa mineral relacionado a mineração de ágata no Distrito Mineiro de Salto do Jacuí (DMSJ) localizado na região central do estado do Rio Grande do Sul.

O principal resultado alcançado está relacionado à cartografia da unidade geológica mineralizada com ágata que identificou a porção basal da Fácies Caxias, como a rocha hospedeira das mineralizações. Os depósitos de ágatas presentes no Distrito Mineiro de Salto do Jacuí constituem as principais reservas do país, e ocorrem na condição de geodos semiesféricos mineralizados com 10 cm de diâmetro em média. Em casos especiais os geodos podem chegar a 1 metro de diâmetro, sendo a variedade "Umbu" de cor azul homogênea o tipo mais exportado.

Este CD contém a Nota Explicativa, juntamente com o mapa geológico da Folha Sobradinho na escala 1:100.000 (SH.22-V-C-II) em ambiente SIG. O projeto foi executado pela Superintendência Regional de Porto Alegre, e também poderá ser acessado a partir do banco de dados GEOBANK da CPRM ([geobank.cprm.gov.br](http://geobank.cprm.gov.br)).

EDUARDO JORGE LEDSHAM  
*Diretor-Presidente*

JOSÉ LEONARDO SILVA ANDRIOTTI  
*Diretor de Geologia e Recursos Minerais (interino)*

## RESUMO

---

A Folha Sobradinho (SH.22-V-C-II) localiza-se na região central do estado do Rio Grande do Sul. É limitada entre os paralelos 29° 00' S e 29° 30' S e os meridianos 53° 00' W e 53° 30' W. O contexto geológico regional é a grande Província Basáltica Continental Paraná-Etendeka, e as unidades geológicas cartografadas na escala 1:100.000 correspondem em quase sua totalidade às rochas vulcânicas da Formação Serra Geral.

As principais litologias da Folha Sobradinho pertencem às unidades vulcânicas da Formação Serra Geral, sendo representadas pelas Fácies Gramado, Fácies de Arenitos e Fácies Caxias que afloram na região do planalto, que cobrem quase a totalidade da área mapeada. No extremo norte da folha, sotoposta as unidades da Formação Serra Geral foi identificada a Formação Tupanciretã composta por arenitos bastante friáveis muito suscetíveis a erosão. Na região dos vales escarpados do rio Jacuí e seus afluentes foram identificados unidades sedimentares representadas pelas Formações Guará e Botucatu, e restrita ao extremo sudoeste da folha, a Formação Caturrita.

A Fácies Gramado é formada de derrames maciços compostos por basaltos e andesitos. Ocorrem diques centimétricos de arenito preenchendo fraturas na base dos derrames e níveis de brechas peperíticas próximo aos contatos dos derrames com os arenitos da Formação Botucatu.

A Fácies Arenitos é composta de arenitos quartzosos finos a médios bem selecionados depositados em ambiente eólico contemporâneo ao vulcanismo da Formação Serra Geral. Estes sedimentos são representados por lentes métricas a decamétricas de arenitos interderrames posicionados entre os derrames das fácies vulcânicas Gramado e Caxias.

A Fácies Caxias é a principal unidade mapeada, sendo formada por derrames compostos por dacitos e riolitos que apresentam disjunções tabulares sub-horizontais centimétricas a métricas, por vezes, formando dobras e domos de fluxo bem desenvolvidos. Ocorrem vidro vulcânico preto maciço e níveis de brechas peperíticas próximos aos contatos dos derrames com arenitos interderrames. O dacito presente em níveis de base da unidade é a rocha hospedeira das importantes mineralizações de ágata.

O recurso mineral mais valioso presente na região é a ágata, sendo os principais depósitos do Brasil localizados justamente na região norte da folha mapeada em área denominada de Distrito Mineiro de Salto do Jacuí. Atualmente a exploração do minério é feita através de cavas a céu aberto em poucas lavras que restaram licenciadas na região. Os geodos são extraídos de rochas vulcânicas e possuem em média 10 cm de diâmetro, onde se destaca a variedade "Umbu" de cor azul intensa destinada a exportação.

As principais anomalias geoquímicas encontradas pelo estudo da geologia prospectiva de sedimento de correntes são controladas pelas diferentes litologias e sedimentos que ocorrem na área de mapeamento. As zonas anômalas representadas pela associação Cr-Cu-Ni-Zn-V-Co-Ti-Sc ( $\pm$  Pt, Ni ou Ti) estão relacionados à ocorrência de basaltos baixo TiO<sub>2</sub> do tipo Esmeralda e Gramado. Já zonas com As-Ba-Be-U-Th-Pb-Ce-Sb-Pt-Pd-Tl também tem controle litológico, e representam os elementos traços e menores presentes nas

vulcânicas ácidas do Tipo Palmas. As anomalias de Zr-Hf e Ag-Hg-Nb provavelmente tem relação com associações sedimentares (e.g. aluviões e areias quaternárias).

O padrão estrutural da Folha Sobradinho tem sua geração ligada a ambiente intracratônico em níveis crustais rasos, onde o regime deformacional é rúptil, com predomínio de estruturas tipo falhas e juntas. Foram definidos dois terrenos distintos quanto ao padrão estrutural, representados pelos Domínios 01 (Noroeste) e 02 (Sudeste). A distinção foi realizada com base na densidade de lineamentos, que é nitidamente maior no Domínio 02.



## **ABSTRACT**

---

The Sobradinho sheet (SH.22-VC-II) is located in the central region of Rio Grande do Sul state and it is delimited by latitude 29°00'S and 29°30'S and longitude 53°00'W and 53°30'W. The studied area is placed in Paraná-Etendeka Continental Basaltic Province, and the geological units mapped at 1:100,000 scale corresponds almost entirely to volcanic rocks of the Serra Geral Formation.

The main lithologies of studied area corresponds to the volcanic units of the Serra Geral Formation, being represented by Gramado and Caxias facies, that outcrop the plateau region, covering almost all of the mapped area, as well as Sandstone Facies. At the extreme north of the studied area, above Serra Geral units, Tupanciretã Formation was identified. This unit is represented by friable sandstone very susceptible to erosion. In the region of steep valleys of the Jacuí river and tributaries were identified sedimentary units represented by Guará and Botucatu formations, and restricted to the southwestern tip of the area, the Caturrita Formation.

The Gramado facies is made up of basalts and andesites massive flows. Centimeter sandstone dikes are filling fractures at the base of flows and levels of peperite breccia near the contacts of flows with the Botucatu Formation sandstones.

The Sandstones facies is composed of fine to medium well sorted quartz sandstones and deposited in eolian environment at the same time as Serra Geral volcanism. These sediments are represented by metric to decametric sandstones intertrapped layers positioned among flows of the volcanic Gramado and Caxias facies.

The Caxias facies is the main unit mapped and it is constituted by dacites and rhyolites with sub-centimeter horizontal to metric tabular disjunctions, sometimes forming folds and flow domes well developed. Massive black glass volcanic and levels of peperite breccia occur near the contacts of flows with intertrapped sandstones. The dacite mapped in the base levels of unit is the important agate mineralization host rock.

The most valuable mineral resource in this region is agate, being Salto do Jacuí Miner District, located in Northern area, the main deposit in Brazil. Currently, the ore exploitation is open pit mining in a few mines that remain in the licensed area. The geodes are extracted from volcanic rocks and have an average of 10 cm in diameter. The intense blue color "Umbu" species highlights among geodes and it is exported.

The most valuable mineral resource in this region is agate, being Salto do Jacuí Miner District, located in Northern area, the main deposit in Brazil. Currently, the ore exploitation is open pit mining in a few mines that remain in the licensed area. The geodes are extracted from volcanic rocks and have an average of 10 cm in diameter. The intense blue color "Umbu" species highlights among geodes and it is exported.

Main anomalies were determined through stream sediment geochemical mapping and data processing and are essentially controlled by the different lithologies and sediments which occur in the study area. The anomaly zones represented by the Cr-Cu-Ni-Zn-V-Co-Ti-Sc ( $\pm$  Pt, Ni or Ti) elements association are related to low TiO<sub>2</sub> basalts, Esmeralda e Gramado types. Likewise, zones with As-Ba-Be-U-Th-Pb-Ce-Sb-Pt-Pd-Tl take place in the Palma types acid volcanic rocks. Zr-Hf and Ag-Hg-Nb anomalies are probably correlated with sedimentary associations.

The studied area structural pattern genesis is linked to intracratonic environment in shallow crustal levels where the deformation regime is brittle, with a predominance of faults and joint structures kind. Two separate plots were defined as the structural pattern, represented by domain 01 (Northwest) and 02 (Southeast), distinguished on lineaments density, which is significantly higher in area 02.

## **SUMÁRIO**

---

<b>Apresentação .....</b>	<b>v</b>
<b>Resumo .....</b>	<b>vi</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>viii</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL .....</b>	<b>14</b>
<b>3 LITOESTRATIGRAFIA .....</b>	<b>18</b>
<b>3.1 Grupo Rosário do Sul.....</b>	<b>18</b>
3.1.1 Formação Caturrita (T3c).....	18
<b>3.2 Grupo São Bento.....</b>	<b>20</b>
3.2.1 Formação Guará (J3K1g).....	20
3.2.2 Formação Botucatu (J3K1bt) .....	22
3.2.3 Formação Serra Geral.....	24
Fácies Gramado (K1βgr) .....	24
Fácies Arenitos (K1sga).....	27
Fácies Caxias (K1αcx).....	30
<b>3.3 Formação Tupanciretã (ENtp).....</b>	<b>35</b>
<b>3.4 Depósitos Aluviais (Q2a) .....</b>	<b>37</b>
<b>4 LITOGEOQUÍMICA .....</b>	<b>39</b>
<b>4.1 Introdução.....</b>	<b>39</b>
<b>4.2 Litogeoquímica do Vulcanismo da Folha Sobradinho.....</b>	<b>39</b>
<b>4.3 Rochas Básicas.....</b>	<b>44</b>

4.4 Rochas Ácidas .....	49
4.5 Conclusões dos Resultados de Litogeoquímica .....	52
5 GEOLOGIA ESTRUTURAL .....	56
5.1 Estruturas cartografadas e domínios estruturais.....	58
5.1.1 Domínio Estrutural 01 .....	58
5.1.2 Domínio Estrutural 02 .....	61
6 RECURSOS MINERAIS.....	62
6.1 Mineralizações de Ágata.....	62
6.2 Ocorrências de Minerais para Emprego na Construção Civil.....	69
7 GEOQUÍMICA PROSPECTIVA .....	71
7.1 Introdução .....	71
7.2 Materiais e Métodos .....	71
7.2.1 Amostragem .....	71
7.2.2 Metodologia Analítica .....	73
7.3 Tratamento dos Dados Analíticos de Sedimento de Corrente.....	74
7.3.1 Sumário dos Estimadores.....	74
7.3.2 Histogramas.....	77
7.3.3 Diagramas Q-Q .....	83
7.3.4 Diagramas Box-Whisker .....	88
7.4 Distribuição dos Elementos, Cálculo das Anomalias e Estações Anômalas	94
7.5 Correlações .....	97
7.6 Análise de Agrupamentos.....	98
7.7 Conclusões e Recomendações.....	99
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES .....	100
9 REFERÊNCIAS .....	102

## 1 INTRODUÇÃO

---

A Folha Sobradinho (SH.22-V-C-II) abrange parte da porção central do estado do Rio Grande do Sul limitada entre os paralelos 29° 00' S e 29° 30' S e os meridianos 53° 00' W e 53° 30' W (Figura 1), totalizando cerca de 2700 km<sup>2</sup> de superfície. A região mapeada abrange parte significativa ou totalidade dos municípios de Salto do Jacuí, Sobradinho, Estrela Velha, Ibarama, Arroio do Tigre, Dona Francisca e Julio de Castilhos.

A região é drenada pela bacia hidrográfica do rio Jacuí e seus afluentes (rios Ivaí e Jacuizinho). O rio Jacuí corta a Folha Sobradinho no sentido Norte-Sul, e possui alto potencial hidrelétrico, sendo que a região conta com uma série de centrais de geração de energia elétrica que compõem o Complexo Hidrelétrico do Sistema Jacuí.

Os principais acessos rodoviários da Folha Sobradinho partindo de Porto Alegre são realizados pela BR-386 (Tabaí-Canoas), a seguir pela rodovia ERS-287 que corta o estado do Rio Grande do Sul no sentido leste-oeste. Na região mapeada as principais rodovias são as ERS-400 e ERS-481 que acessam as cidades de Sobradinho, Arroio do Tigre, Estrela Velha e Salto do Jacuí.

A economia da região é baseada na geração de energia elétrica, exploração mineral de ágatas e na agricultura extensiva de soja na porção norte da folha.

A Folha Sobradinho tem forte tradição na extração de ágatas, em especial o Distrito Mineiro de Salto do Jacuí. A mineração de ágatas é realizada através de garimpos a céu aberto, sendo que a região é a principal fornecedora dessa gema no país. A maior parte da produção é exportada em estado bruto, sendo a variedade "Umbu" a mais apreciada para produção dos mais diversos produtos (joias, objetos de decoração, etc.).

Somente nos últimos 15 anos, a região foi alvo de estudos relacionados à prospecção e à mineralização de ágatas e outros minerais associados, como ametista e opalas. A partir da compilação de trabalhos anteriores relacionados à geoquímica das rochas vulcânicas e à mineralização das ágatas presentes em rochas da região foi possível elaborar um mapa geológico atualizado na escala 1:100.000, que contou também com levantamento geoquímico prospectivo para sedimento de corrente.

Os resultados alcançados durante o Projeto Folha Sobradinho passam a fazer parte do SIG geológico final e do banco de dados corporativo do Serviço Geológico do Brasil-CPRM (GEOBANK), sendo disponibilizados ao público de forma irrestrita. Cabe ressaltar, que todas essas informações podem ser acessadas tanto no site da CPRM, como na forma de DVD-ROM gratuito aos interessados.

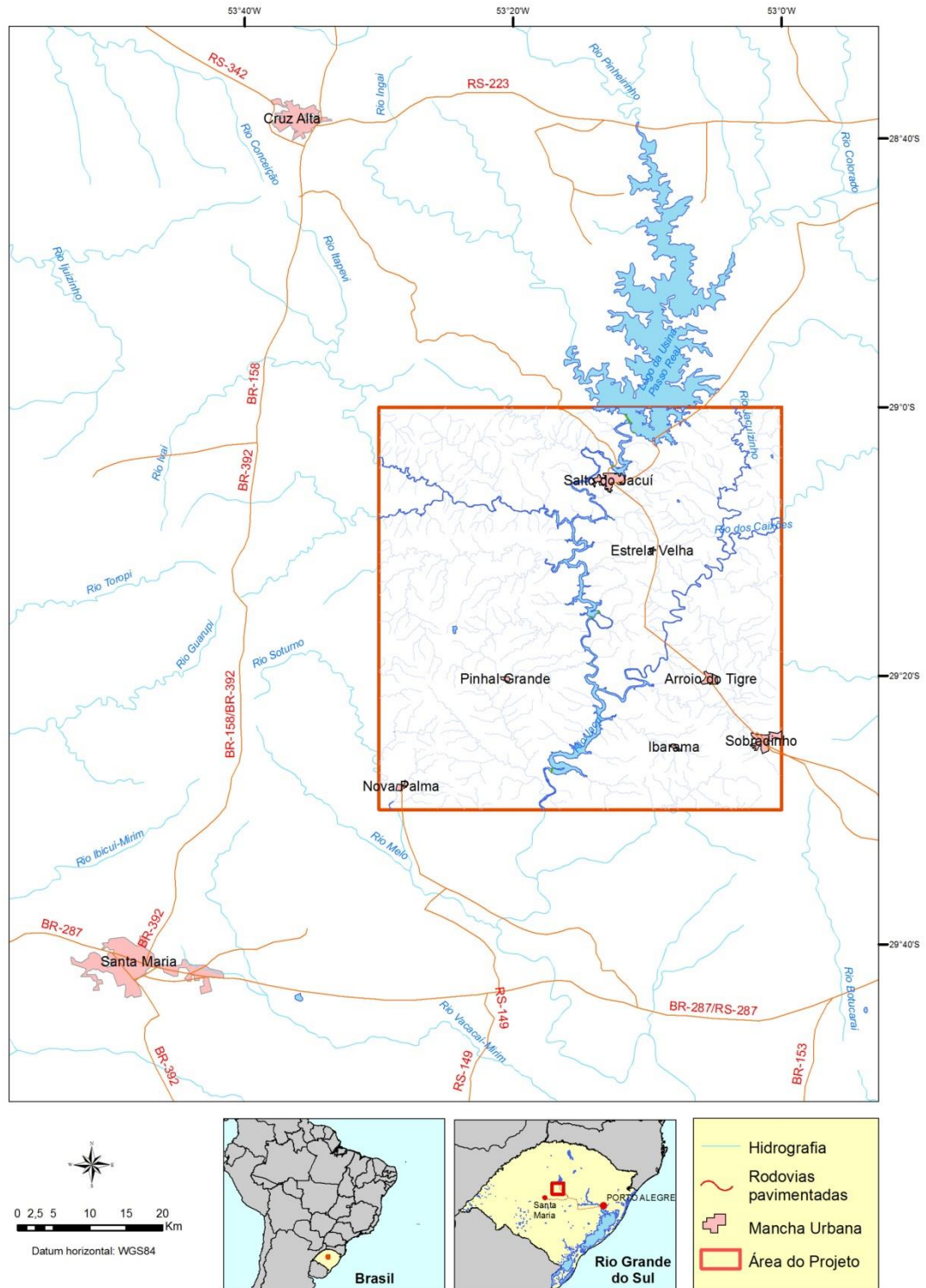


Figura 1 - Localização e principais acessos viários da Folha Sobradinho.

## 2 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

---

A Folha Sobradinho está inserida na porção sul da Bacia do Chaco-Paraná (Figura 2) desenvolvida no período Neo-Ordoviciano ao Eo-Cretáceo (458 Ma a 131 Ma). As unidades mais representativas mapeadas na folha estão inseridas na grande Província Vulcânica Paraná-Etendeka (Eo-Cretáceo) que capeia a maior porção desta bacia. A evolução deposicional da bacia ocorreu em pulsos separados por fases erosivas e não-deposicionais em ambiente intracratônico do paleocontinente Gondwana (MILANI, 1997), sendo que estes pulsos corresponderam a seqüências deposicionais de 2ª ordem condicionados por fatores climáticos e tectônicos (VAIL *et al.*, 1991).

A Província Basáltica Continental (PBC) Paraná-Etendeka destaca-se entre as maiores províncias ígneas do planeta. Estas regiões são conhecidas como LIPs (*Large Igneous Provinces*, cf. COFFIN & ELDHOLM, 1992), e são formadas por eventos magmáticos responsáveis pela geração de significativo volume de lavas basálticas. As LIP's possuem certas características em comum, como a predominância de lavas de natureza toleítica distribuídas por superfícies superiores a 0,1 Mkm<sup>2</sup> e acumuladas em volumes de pelo menos 1 Mkm<sup>3</sup>, extravasadas em períodos de tempo relativamente curtos.

O evento ígneo PBC Paraná-Etendeka está vinculado à fragmentação do supercontinente Gondwana e a abertura do Oceano Atlântico Sul durante o

Cretáceo Inferior, devido a fusão do manto litosférico (com ou sem contribuição crustal) pela interação da pluma Tristão da Cunha no Atlântico Sul (GALLAGHER & HAWKESWORTH, 1994).

A Bacia do Chaco-Paraná ocupa uma porção representativa da América do Sul, compreendendo o Brasil meridional, o Paraguai oriental, o nordeste da Argentina e o norte do Uruguai; além do noroeste da Namíbia na costa sul atlântica da África, onde é designada Bacia de Huab (JERRAM *et al.*, 1999). Em termos de extensão, a Bacia do Chaco-Paraná apresenta dimensões continentais com uma forma oval, com eixo maior N-S, com comprimento máximo de 1800 km, largura máxima de 900 km, espessura máxima dos depósitos sedimentares e ígneos de 7500m, e uma área de 1,5 milhões de km<sup>2</sup> (MELFI *et al.*, 1988).

A evolução geológica da Bacia do Chaco-Paraná está dividida em quatro estágios. Os dois primeiros compreendem a deposição sedimentar em bacia sinforme subsidente, e o terceiro e quarto estágios compreendem *uplift* e extrusões de grandes volumes de lavas, onde a bacia assume uma estrutura antiformal (ALMEIDA, 1981). A evolução da bacia está relacionada à reativação de estruturas pré-existentes do embasamento composto por vários núcleos cratônicos que formaram o supercontinente Gondwana (ZALAN *et al.*, 1990).

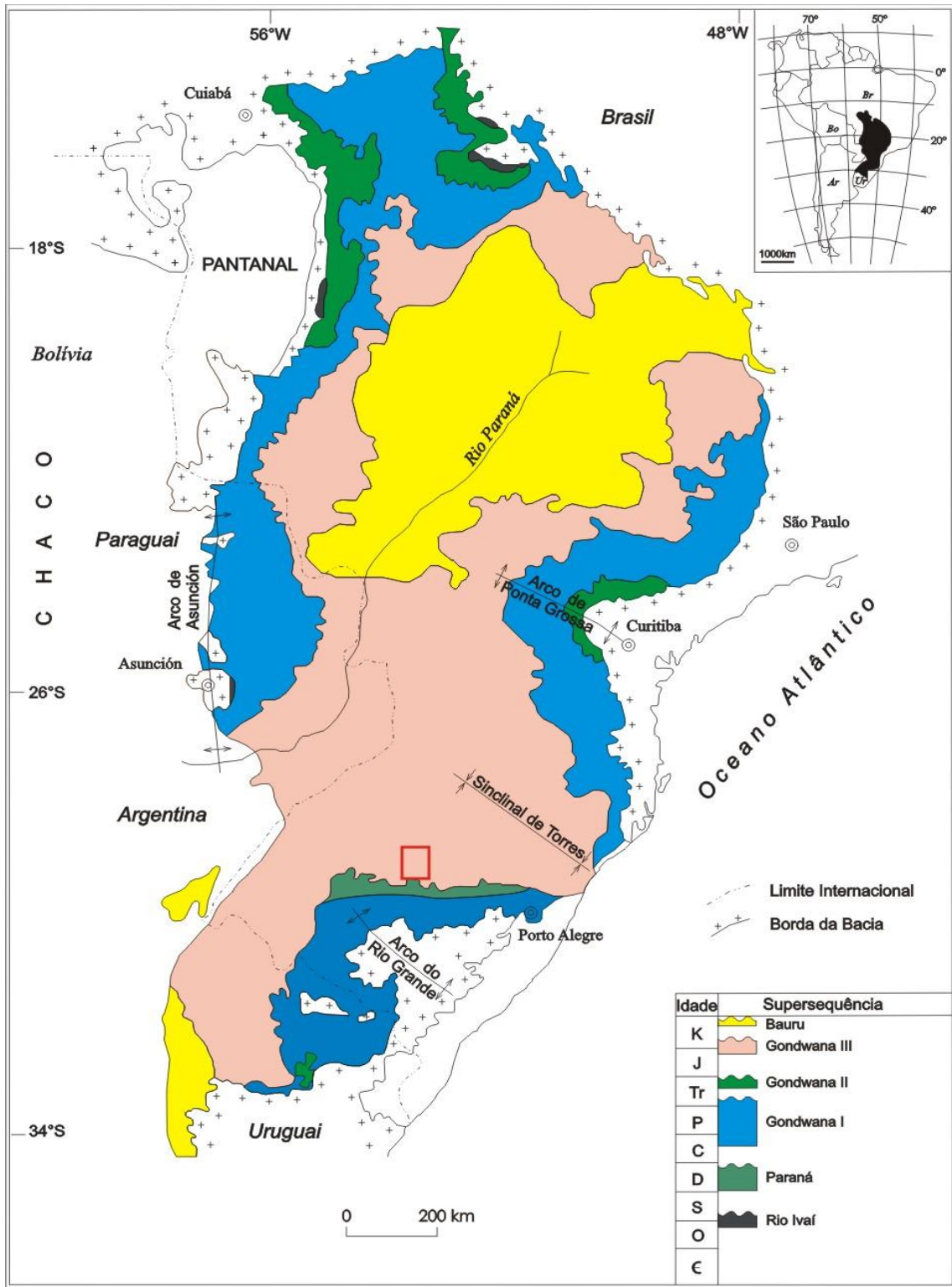


Figura 2- Compartimentação tectônica da Bacia do Paraná e área da Folha Sobradinho destacado em vermelho (Fonte: Adaptado de MILANI, 1997).



O embasamento foi dominado por extensas zonas de cisalhamentos, e subordinadamente por intenso padrão de fraturas e falhas extensionais, que posteriormente, com a ruptura do Gondwana Ocidental, foram reativadas e serviram de importantes condutos alimentadores de lavas da Província Vulcânica Paraná-Etendeka.

Trabalhos subsequentes de Milani (1997) detalham os depósitos sedimentares e magmáticos da Bacia do Chaco-Paraná, dividindo-os em seis Supersequências, conforme a concepção de Vail *et al.* (1977): 1) Supersequência Rio Ivaí, desenvolvida do Neo-Ordoviciano ao Eo-Siluriano; 2) Supersequência Paraná, de idade Devoniana; 3) Supersequência Gondwana I, do Carbonífero superior ao Triássico inferior; 4) Supersequência Gondwana II, de idade Triássica; 5) Supersequência Gondwana III, depositada do Jurássico superior ao Cretáceo inferior; 6) Supersequência Bauru de idade cretácica. As três primeiras supersequências correspondem a sucessões sedimentares desenvolvidas em ciclos transgressivo-regressivos marinhos, relacionados a oscilações do nível relativo do mar, enquanto que as outras três compreendem depósitos sedimentares associados a rochas ígneas.

No contexto da Folha Sobradinho ocorrem as unidades representadas pelas supersequências Gondwana II, e principalmente pela Gondwana III. As principais unidades mapeadas pertencem ao intervalo Triássico Superior-Cretáceo Inferior, e estão inseridas na faixa de afloramentos da borda leste da Bacia do Chaco-Paraná. Na área foram identificadas a Formação Caturrita de idade Triássico superior, as Formações Guará e Botucatu de idade Juro-Cretáceo, a Formação Serra Geral (Fácies Gramado, Arenitos e Caxias) de idade Cretáceo inferior, e a Formação Tupanciretã e depósitos aluviais de idade Cenozóica.

A Supersequência Gondwana II é formada pelo Grupo Rosário do Sul, e está representada pela Formação Caturrita (ANDREIS *et al.*, 1980) caracterizada pela presença de sedimentos de origem fluvial e lacustre. Em termos de área mapeada, esta unidade ficou restrita a poucos afloramentos mapeáveis localizados no extremo sudoeste da folha.

No caso da Supersequência Gondwana III de idade Juro-Cretáceo, estas rochas representam em cobertura as principais unidades mapeadas. O destaque em termos de ocorrência são as rochas vulcânicas da Formação Serra Geral (Fácies Gramado, Arenitos e Caxias) que cobrem quase a totalidade da Folha Sobradinho, e que pertencem à Província Basáltica Continental (PBC) Paraná-Etendeka. As rochas sedimentares das formações Guará (LAVINA & SCHERER, 1997; ZERFASS, 2007) e Botucatu também pertencem a essa supersequência, mas seus afloramentos estão restritos aos vales escarpados da folha. As rochas da Formação Geral sobrepõem-se diretamente aos depó-

sitos sedimentares, sendo que em alguns locais ocorre interação vulcano-sedimentar com as rochas da Formação Botucatu. Na zona de contato são comuns feições do tipo brechas peperíticas formadas por clastos de vulcânicos imersos em matriz arenítica, além de níveis interderrames formados por lentes areníticas intercalados com derrames vulcânicos (SCHERER 2000).

Em uma retrospectiva histórica, as pesquisas envolvendo a Província Basáltica Continental Paraná-Etendeka podem ser incluídas em cinco fases principais (MINCATO, 2000): (1) estudos descritivos pioneiros (de 1870 a 1960); (2) estudos paleomagnéticos e datações K-Ar (anos 1960); (3) estudos geoquímicos (anos 1970 e 1980); (4) estudos estratigráficos e datações  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  (anos 1990) e (5) estudos de avaliação de geologia econômica (anos 1990 e 2000).

As datações realizadas pelo método  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  em amostras da Formação Serra Geral indicaram idades entre 138–125 Ma, sendo o clímax do vulcanismo entre 133-129 Ma (RENNE *et al.* 1992, TURNER *et al.* 1994, MINCATO 2000).

Em trabalho de revisão da bacia, Frank *et al.* (2009) estimaram um volume mínimo de 1.700.000 km<sup>3</sup> para a Província Vulcânica Paraná-Etendeka como um todo. Na América do Sul, o vulcanismo está concentrado no Brasil, mas também ocorrem remanescentes na Argentina, Uruguai e Paraguai, com uma área de exposição das rochas estimada em torno de 917.000 km<sup>2</sup> ( $\pm$  15.000 km<sup>2</sup>), e com volume dos derrames estimados em 450.000 km<sup>3</sup> (FRANK *et al.*, 2009). A espessura varia de poucos metros nas bordas da província até mais de 1.700 m no seu depocentro (ZALÁN *et al.*, 1990). São assumidas taxas de extrusão de até 1,5 km<sup>3</sup> por ano (RENNE *et al.*, 1992).

O magmatismo Paraná-Etendeka é fortemente bimodal, dominado por uma sequência toleítica de basaltos e andesitos basálticos (>90%), porém quantidades significativas de rochas ácidas (riolitos e riolacitos) também ocorrem (PEATE *et al.*, 1992).

No caso da Folha Sobradinho, a principal unidade mapeada, corresponde justamente às rochas ácidas compostas basicamente por riolitos e dacitos classificadas como Fácies Caxias (WILDNER, 2004). Do ponto de vista geoquímico, as rochas ácidas da Bacia do Paraná foram divididas em dois grupos (BELLIENI *et al.*, 1986): tipo Palmas (afíricos) com baixo conteúdo de elementos incompatíveis presentes ao sul da bacia, e tipo Chapecó (porfíricos) presente no norte e centro da bacia, e que comparativamente é mais enriquecido em TiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Zr, Ba e Sr.

Posteriormente, novas subdivisões foram propostas para as rochas ácidas da Bacia do Paraná, e no caso das rochas do tipo Palmas, foram identificados os subtipos Santa Maria e Caxias do Sul (PEATE *et al.*, 1992). Trabalhos recentes fizeram um refinamento

geoquímicos das rochas do tipo Palmas, e estudos realizados por Nardy *et al.* (2008) dividiram estas rochas em subgrupos Santa Maria, Caxias do Sul, Anita Garibaldi (PEATE, 1997), Clevelândia e Jacuí. Cabe ressaltar, que na Folha Sobradinho as rochas ácidas do tipo Palmas são representadas pela Fácies Caxias (WILDNER *et al.*, 2003 e WILDNER, 2004).

Desta maneira, a compartimentação estratigráfica do magmatismo Serra Geral adotada na elaboração do mapa geológico da Folha Sobradinho (GODOY *et al.*, 2013) baseou-se na proposta apresentada por Wildner *et al.* (2003) e Wildner (2004). Esta metodologia buscou integrar, além de dados de geoquímica, estudos de petrografia e geocronologia, atributos e relações de campo que contaram com levantamentos geofísicos e interpretações a partir de sensoriamento remoto. O conjunto destes dados possibilitou a divisão do magmatismo Serra Geral em seis fácies de rochas vulcânicas de caráter máfico (Gramado, Paranapanema, Pitanga, Esmeralda, Campo Erê e Lomba Grande), e quatro fácies de rochas vulcânicas intermediárias a félsicas (Caxias, Várzea do Cedro, Chapecó e Alegrete).

Ressalta-se, que o conjunto das rochas vulcânicas da Bacia do Paraná foi apresentado como Grupo Serra Geral por Hartmann; Baggio (2014), sendo adotada a denominação de formações em substituição à fácies anteriormente utilizada. Com relação às rochas vulcânicas da Província Basáltica Continental Paraná-Etendeka presentes na Folha Sobradinho, as mesmas ainda foram cartografadas como fácies.

No contexto estratigráfico do vulcanismo Serra Geral foram mapeadas a Fácies Gramado relacionada ao magmatismo básico (máfico), e a Fácies Caxias relacionada ao magmatismo ácido (félsico), sendo a Fácies Caxias a mais representativas em termos de área mapeada, e que apresenta importantes mineralizações de ágata na região do Distrito Mineiro de Salto do Jacuí (DMSJ).

As unidades sedimentares cenozoicas são representadas pela Formação Tupanciretã e por depósitos aluviais recentes. Em termos de abrangência, a Formação Tupanciretã possui destaque ocorrendo no extremo norte da folha. Litologicamente, essa unidade é caracterizada pela presença de arenitos e conglomerados basais, seguidos de arenitos conglomeráticos e arenitos, por vezes intercalados com argilitos no topo das camadas (MENEGOTTO, *et al.*, 1968). Essa unidade é descrita exclusivamente no Rio Grande do Sul, e suas litologias estariam expostas nas cotas mais altas nas regiões do planalto na forma de manchas isoladas sotopostas à Formação Serra Geral. Essa característica topográfica aliada à alta friabilidade torna comum o surgimento de boçorocas em regiões

onde ocorre essa unidade (MENEGOTTO, 1971). Posteriormente, outros trabalhos trataram sobre a gênese (COULON *et al.*, 1973), faciologia sedimentar e área de ocorrência (NOWATZSKI *et al.*, 1999).

Os depósitos aluviais recentes são compostos por sedimentos grosseiros relacionados aos canais fluviais dos rios Jacuí e Soturno localizados na região centro-sul da Folha Sobradinho.

## 3 LITOESTRATIGRAFIA

---

A Folha Sobradinho possui um conjunto litológico sedimentar e vulcânico do Mesozoico da Bacia do Paraná. As principais unidades mapeadas são as Fácies Gramado e Caxias que representam o registro magmático da Formação Serra Geral. A Fácies Caxias é predominante em termos de área de exposição, constituída essencialmente de riolitos e dacitos, enquanto a Fácies Gramado é formada por basaltos e andesitos.

As unidades mais antigas da folha são compostas pelas Formações Caturrita (Triássico superior), Guará e Botucatu (Juro-Cretáceo). Com relação à Formação Botucatu, esta unidade serviu de base do paleorrelevo formado por sedimentos inconsolidados contemporâneos ao vulcanismo Serra Geral (Juro-Cretáceo). Este fato determinou a geração de importantes feições de interação sedimento e lava (peperitos), e a formação de sedimentos interderrames que representam a Fácies Arenitos da Formação Serra Geral.

Complementam a coluna estratigráfica da folha, arenitos cenozoicos da Formação Tupanciretã e depósitos aluviais recentes.

### 3.1 GRUPO ROSÁRIO DO SUL

O Grupo Rosário do Sul foi definido por Andreis *et al.* (1980) para organizar a estratigrafia do Triássico sulbrasileiro. O grupo é formado por um conjunto de unidades sedimentares composto pelas Formações Sanga do Cabral, Santa Maria e Caturrita, sendo esta última, a única aflorante na área da Folha Sobradinho.

#### 3.1.1 Formação Caturrita (T3c)

A Formação Caturrita foi inicialmente descrita na região de Santa Maria (RS) por Bortoluzzi (1971;

1974), que a denominou de Membro Caturrita da Formação Botucatu. Posteriormente, Andreis *et al.* (1980) publicaram uma nova proposta litoestratigráfica do Mesozoico do Rio Grande do Sul, e elevaram a unidade de membro à categoria de formação. Neste estudo, os mesmos autores propuseram o Grupo Rosário do Sul (Triássico), que englobava além da Formação Caturrita, as Formações Sanga do Cabral e Santa Maria que não afloram na área mapeada.

O “perfil-tipo” da Formação Caturrita foi descrito por Andreis *et al.* (1980) no município de Passo do Sobrado na região centro-leste do RS. A unidade consiste de uma intercalação de arenitos conglomeráticos com laminação cruzada acanalada e siltitos arenosos com laminação cruzada cavalgante, típica de sistemas fluviais. Este pacote assenta-se em contato erosivo sobre lutitos da Formação Santa Maria, que não aflora na área mapeada, e é recoberto por arenitos da Formação Botucatu.

A presença de conteúdo fóssil formada por paleotetrápodes fragmentos vegetais e escamas de peixes define como triássica a idade da Formação Caturrita. A Folha Agudo (ZERFASS, 2007) contígua à Folha Sobradinho, adotou a idade noriana (Triássico Superior) para esta formação.

Neste trabalho foi mencionado o fato do paleotetrápode dicinodonte *Jachalera*, pertencente à linhagem de origem dos mamíferos, também ocorrer na Bacia de Ischigualasto na Argentina. Nesta bacia, este fóssil ocorre na transição entre as formações Ischigualasto e Los Colorados de idade Carniana e Rética respectivamente (ZERFASS *et al.* 2004).

Outra ocorrência fóssilífera importante são os troncos silicificados pertencentes à flora *Araucarioxylon* (SOMMER *et al.*; 2002) que servem de marcadores dos níveis de topo da unidade. Estas camadas são formadas por arenitos fluviais de granulação grossa portadoras de troncos que ocorrem na forma

de expressivas acumulações fósseis. Estes depósitos de topo da unidade foram chamados de "Arenitos Mata" por Faccini (1989) que caracterizou ocorrências a oeste de Faxinal do Soturno, e especialmente nas regiões de São Pedro do Sul e Mata.

Um estudo detalhado das paleoalterações presentes nas rochas triássicas do sul do Brasil foi realizado por Rosa (2005). Com relação à Formação Caturrita, este trabalho identificou as características faciológicas dessa unidade marcadas por hidromorfismo freático que geram descoloração nos sedimentos, e por carbonatação na forma de nódulos, lentes e calcretes.

Na área da Folha Sobradinho, a Formação Caturrita ocorre de forma restrita no limite sudoeste da folha no vale do rio Soturno, próximo à Nova Palma (Figura 3). Nesta região foram descritos pacotes de sedimentos maciços de coloração salmão a castanho claro formado por arenito fino intercalados com siltitos (Figura 4). Por vezes, nestes pacotes são verificados níveis de calcretes na forma de lentes centimétricas.

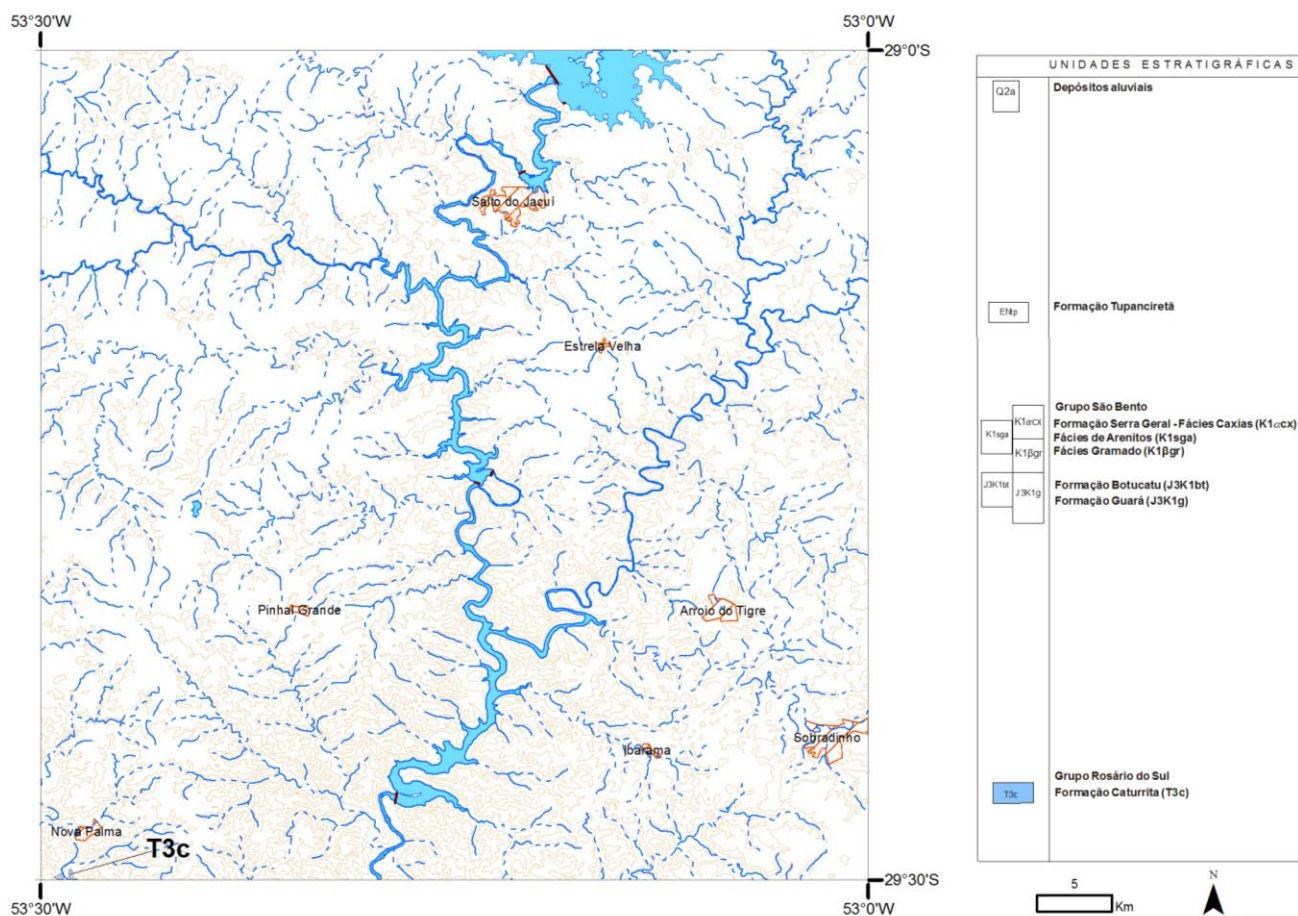


Figura 3 - Área de exposição da Formação Caturrita na Folha Sobradinho.



*Figura 4 - Afloramento formado por arenitos finos intercalados com siltitos da Formação Caturrita, localizado na RS-149 nas proximidades da cidade de Nova Palma.*

## 3.2 GRUPO SÃO BENTO

A compartimentação litoestratigráfica adota para o Grupo São Bento foi baseada em Wildner (2008). No estado do Rio Grande do Sul o grupo é formado por unidades sedimentares juro-cretácicas das Formações Guarú e Botucatu, e por unidades vulcânicas cretácicas da Formação Serra Geral.

### 3.2.1 Formação Guarú (J3K1g)

A Formação Guarú foi individualizada por Scherer e Lavina (1997) como Aloformação Guarú. Na Folha Agudo (ZERFASS, 2007), o termo "Formação Guarú" foi utilizado uma vez que essa classificação foi aplicado por Scherer e Lavina (2005).

A ocorrência da Formação Guarú na região central do Rio Grande do Sul foi verificada durante o mapeamento da Folha Agudo (ZERFASS, 2007), até então, somente na região oeste do Estado, da fronteira com o Uruguai até a região de Jaguari esta unidade tinha sido cartografada. Em território uruguaio, a unidade também ocorre, correspondendo, segundo

Scherer e Lavina (1997), à parte inferior da Formação Tacuarembó.

Na Formação Guarú ocorre intercalação, em escala métrica, de formas de leito fluviais e eólicas (Folha Agudo, 2007). Na Folha Sobradinho, a unidade é composta por fácies fluviais formada por arenitos finos à médios de coloração creme esbranquiçada, com estrutura maciça, e por vezes, com estratificação cruzada acanalada de pequeno e médio porte. Ocorre também camadas lenticulares de lutitos avermelhados com níveis intraclastos centimétricos (Figura 5 e Figura 6).

A Formação Guarú assenta-se em disconformidade sobre a Formação Caturrita, sendo recoberta pela Formação Botucatu em disconformidade ou, mais frequentemente, pela Formação Serra Geral através de uma não-conformidade.

A Formação Guarú na Folha Sobradinho tem ocorrência restrita próxima aos limites sul e sudoeste da folha que compreende os vales dos rios Soturnos e Jacuí, nas proximidades da cidade de Nova Palma e da Hidrelétrica de Dona Francisca respectivamente (Figura 7).



*Figura 5 - Arenitos em afloramento da Formação Guar nas margens do rio Soturno próximo a cidade de Nova Palma. Neste afloramento  possível visualizar a fácies de arenito maciço de coloração esbranuiada da unidade.*



*Figura 6 - Afloramento da Formação Guar nas margens do rio Jacuí. Neste afloramento  possível visualizar lentes pelíticas avermelhadas intercaladas com arenitos esbranuiados.*

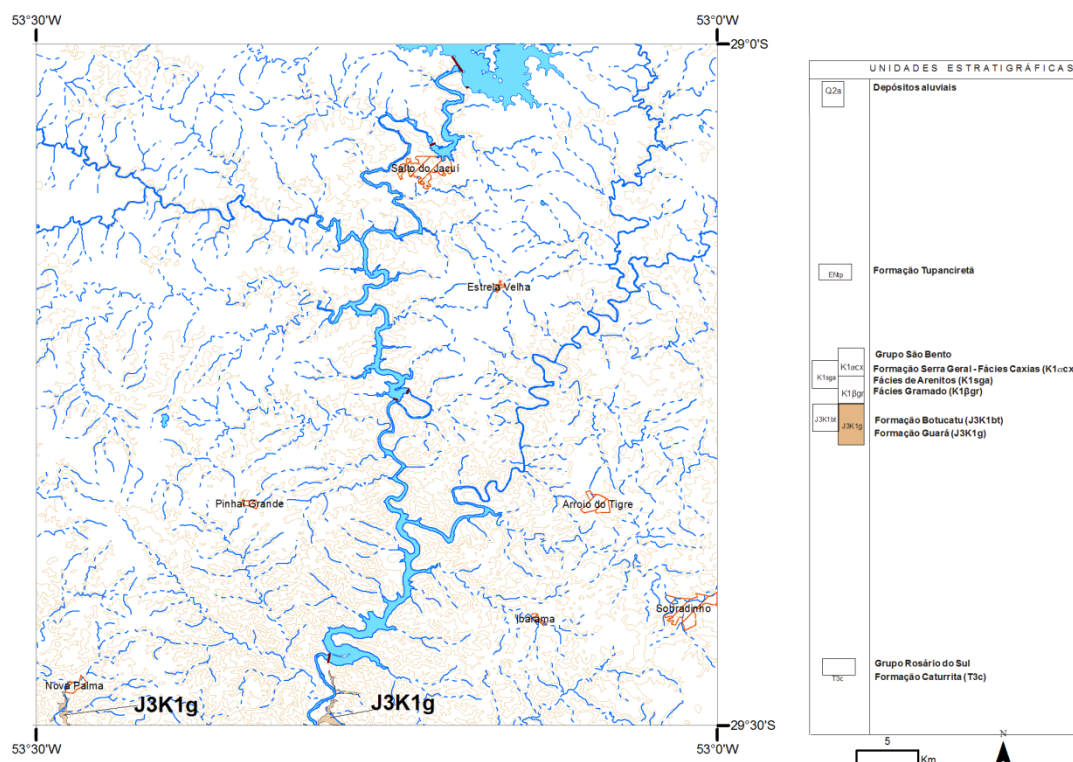


Figura 7 - Área de exposição da Formação Guará na Folha Sobradinho.

Na região oeste do Rio Grande do Sul, foram descritas pegadas de dinossauros saurópodes, terópodes e ornitópodes com uma possível idade do Jurássico Superior ou Cretáceo Inferior na Formação Guará (SCHULTZ *et al.* 2002; DENTZIEN-DIAS *et al.* 2005). Esta mesma equipe de paleontólogos verificou possíveis pegadas de dinossauros na região norte da Folha Agudo (ZERFASS, 2007). Até o momento, evidências relacionadas à icnofósseis na Formação Guará carecem de novas pesquisas na região central do RS.

### 3.2.2 Formação Botucatu (J3K1bt)

A Formação Botucatu compõe, juntamente com a Formação Serra Geral, o Grupo São Bento no estado do Rio Grande do Sul (SCHERER *et al.*, 2003). A unidade corresponde a uma ampla área de deposição eólica que gerou um erg com cobertura de aproximadamente 1.500.000 km<sup>2</sup>, abrangendo terrenos do Brasil, Uruguai, Argentina e Paraguai. A construção do paleoerg foi resultado de um alto suprimento sedimentar, associado à presença de condições climáticas extremamente áridas no interior do supercontinente Gondwana (SCHERER, 2000).

No estado do Rio Grande do Sul, a Formação Botucatu apresenta uma espessura bastante variada

(<100m), aflorando desde o município de Torres até Jaguarí, onde inflete para sul, estendendo-se em território brasileiro até Santana do Livramento. Cabe ressaltar, que em algumas localidades na região central do estado, a unidade se encontra ausente, estando os derrames vulcânicos da Formação Serra Geral dispostos diretamente sobre depósitos triássicos (Grupo Rosário do Sul).

Os depósitos eólicos são formados por arenitos finos à médios bem selecionados compostos basicamente por quartzo de coloração rósea a castanho-avermelhado, por vezes, muito endurecidos por processo de litificação. As estruturas sedimentares consistem de estratificação cruzada acanalada de grande e muito grande portes, sendo que internamente, a estratificação é composta por marcas onduladas eólicas e níveis com fluxo de grãos.

As camadas são formadas por depósitos de lençol de areia eólica e fluxos torrenciais, sendo estes, recobertos por estratos cruzados de grande porte interpretados como depósitos residuais de dunas crescentes simples e localmente compostas, e por dunas lineares complexas. O estudo de paleocorrentes eólicas indica um sentido dos paleoventos consistente para nordeste (Scherer *et al.*, 2007).

O fim da acumulação eólica foi resultado do rápido soterramento da Formação Botucatu pelos derrames vulcânicos da Formação Serra Geral, que “congelaram” integralmente as morfologias das dunas ativas (SCHERER, 2002). Este evento foi responsável pelo desenvolvimento de brechas vulcânicas formadas pela interação entre sedimentos eólicos e as lavas, formando feições similares a peperitos (JERRAN & STOLHOFEN, 2002), além de ocorrências de corpos de arenitos intercalados com derrames vulcânicos. Estes fatos corroboram a contemporaneidade entre a

sedimentação eólica e os fluxos de lava, indicando que não houve hiato temporal entre as duas unidades estratigráficas.

Na área da Folha Sobradinho, a ocorrência da Formação Botucatu é descontínua, por vezes ausente, apresentando uma espessura bastante variada (< 80m). As exposições ocorrem nos vales escarpados do rio Soturno próximo a Nova Palma, e principalmente, no rio Jacuí e seus afluentes entre as hidrelétricas de Itaúba e Dona Francisca na região centro-sul da folha mapeada (Figura 8 e Figura 9).

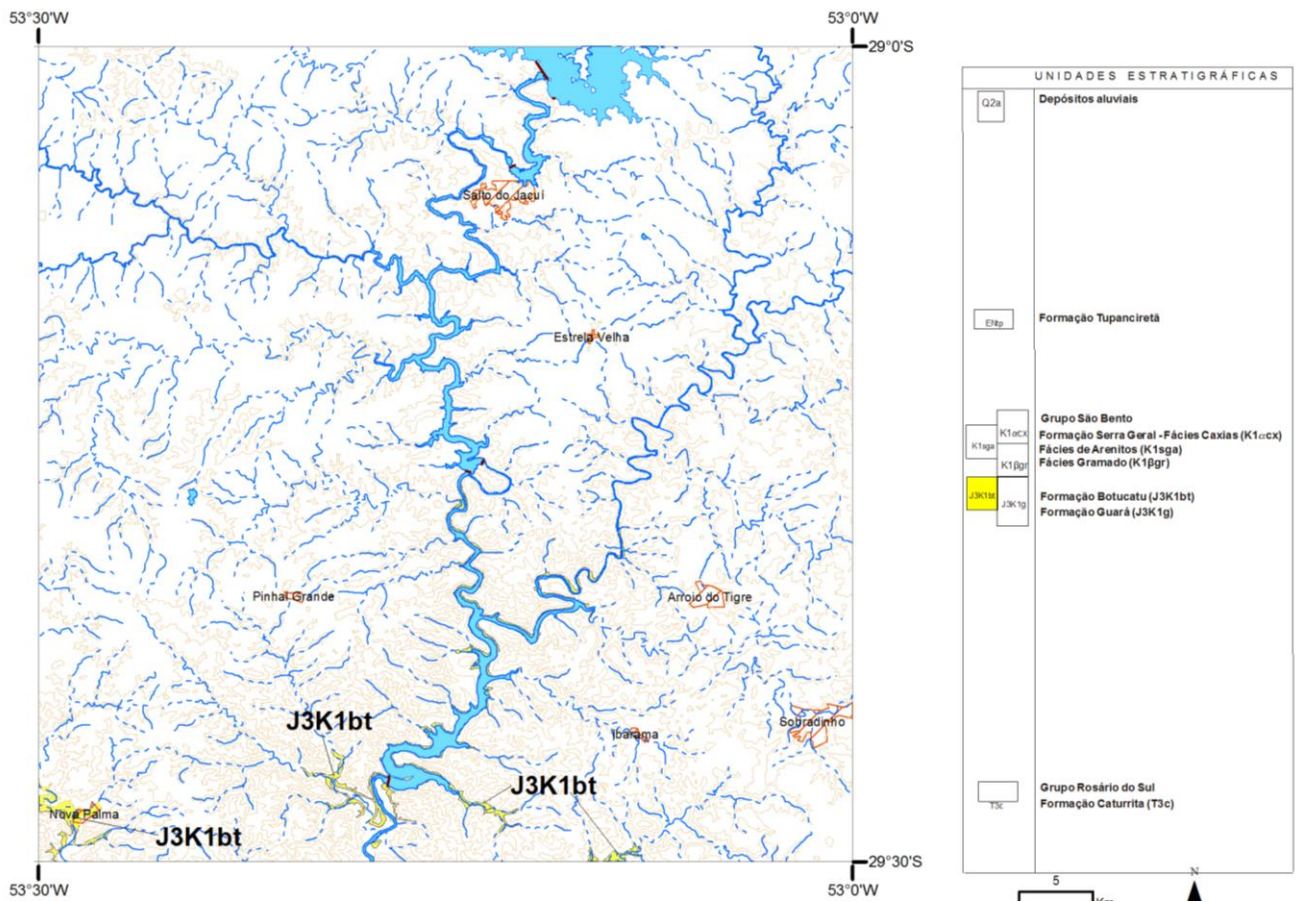


Figura 8 – Área de exposição da Formação Botucatu na Folha Sobradinho.





Figura 9 – Arenito em afloramento da Formação Botucatu nas margens do rio Jacuí na área da hidrelétrica de Dona Francisca.

Como constatado na Folha Agudo (ZERFASS, 2007), verificou-se durante o mapeamento que o contato das rochas vulcânicas da Formação Serra Geral muitas vezes ocorre diretamente com a Formação Guará. Desta maneira, os primeiros derrames recobriram um sistema fluvio-eólico com campos de dunas eólicas incipientes da Formação Botucatu distribuídos setorialmente. Em outras áreas do Rio Grande do Sul, no entanto, o sistema eólico franco representado pela Formação Botucatu já estava bem desenvolvido quando ocorreram os primeiros derrames. Isto permite considerar que, pelo menos setorialmente, a Formação Botucatu e a Formação Guará representam variações laterais quando extravasaram os primeiros derrames. Neste caso, não haveria hiato entre as duas unidades, e a passagem de uma para outra estaria indicando um aumento da aridez (ZERFASS, 2007).

Em termos de idade, considera-se que na área mapeada, a Formação Botucatu seja do Cretáceo Inferior pelas relações de contato com as formações Guará e Serra Geral.

### 3.2.3 Formação Serra Geral

#### *Fácies Gramado (K1βgr)*

A Fácies Gramado constitui os primeiros derrames vulcânicos da Formação Serra Geral que extravasaram sobre o "deserto" Botucatu. Este paleorelevo era formado por grandes extensões de areias eólicas inconsolidadas, pertencentes ao regime desértico ainda em atividade durante o início do vulcanismo. Em razão disto, foram geradas sequências de intercalações de sedimentos eólicos (interderrames) na porção inferior da pilha vulcânica (SCHERER *et al.*, 2007). Na Folha Agudo (Zerfass, 2007) contígua a Folha Sobradinho foi verificado que os contatos da Formação Serra Geral também ocorrem diretamente sobre a Formação Guará.

Os primeiros derrames vulcânicos da Formação Serra Geral apresentavam uma pequena expressão lateral, onde os derrames eram confinados ao paleorelevo, com volumes limitados e fluxos do tipo pahoehoe que formavam "lagos de lava" (WILDNER, 2004).

A ação de carga e arrasto de lavas sobre as areias inconsolidadas resultou em um conjunto de rochas híbridas. Na base dos derrames são verificados horizontes de autobrechas, onde fragmentos de lava encontram-se imersos em matriz de areia formando horizontes peperíticos (JERRAM & STOLLHOFEN, 2002). Além dos níveis de peperitos, também é verificada a presença de diques centimétricos de areia, que preenchem sistemas de fraturas na base dos derrames.

Durante o vulcanismo Serra Geral, o aporte de areias do deserto Botucatu se prolongou após o fim dos derrames da Fácies Gramado, sendo verificadas camadas arenosas (Fácies Arenitos) marcando o topo da pilha vulcânica, como níveis de arenito interderrames entre as Fácies Gramado e Caxias.

Os conjuntos de derrames da Fácies Gramado são descontínuos, e apresentam espessura máxima de 350m, sendo que os principais afloramentos ocorrem nas bordas sul e sudeste da Bacia do Paraná, com seção-tipo ao longo das escarpas da serra do Rio Grande do Sul. Cabe ressaltar que o nome Gramado, proposto por Peate *et al.* (1986) não corresponde à localidade-tipo (Gramado), já que a cidade de mesmo

nome está posicionada sobre lavas ácidas do tipo Caxias.

Os pacotes vulcânicos da Fácies Gramado são formados por basaltos e andesitos que variam entre 12 a 40m de espessura, contendo níveis de vesículas bem desenvolvidos no topo e incipientes na base, sendo que estas cavidades podem estar preenchidas por zeólitas (carbonatos e saponita). A porção central dos derrames, que ocupa entre 60 e 70% da espessura dos pacotes é formada por rochas granulares finas a médias, de coloração cinza-escuro a cinza-esverdeadas, onde predomina um padrão colunar irregular característico que compõe blocos colunares de contorno pseudo-hexagonal que variam entre 0,1 e 0,4m de espessura, delimitados por fraturas irregulares e entablamentos (WILDNER, 2004).

Na área mapeada, os principais afloramentos da Fácies Gramado estão localizados nos vales escarpados dos rios Jacuí, Jacuizinho e seus afluentes. Destaque para esse conjunto de exposições é verificado na borda do planalto próximo a cidade de Nova Palma, e na região próxima à Hidrelétrica de Dona Francisca no município de mesmo nome (Figura 10).

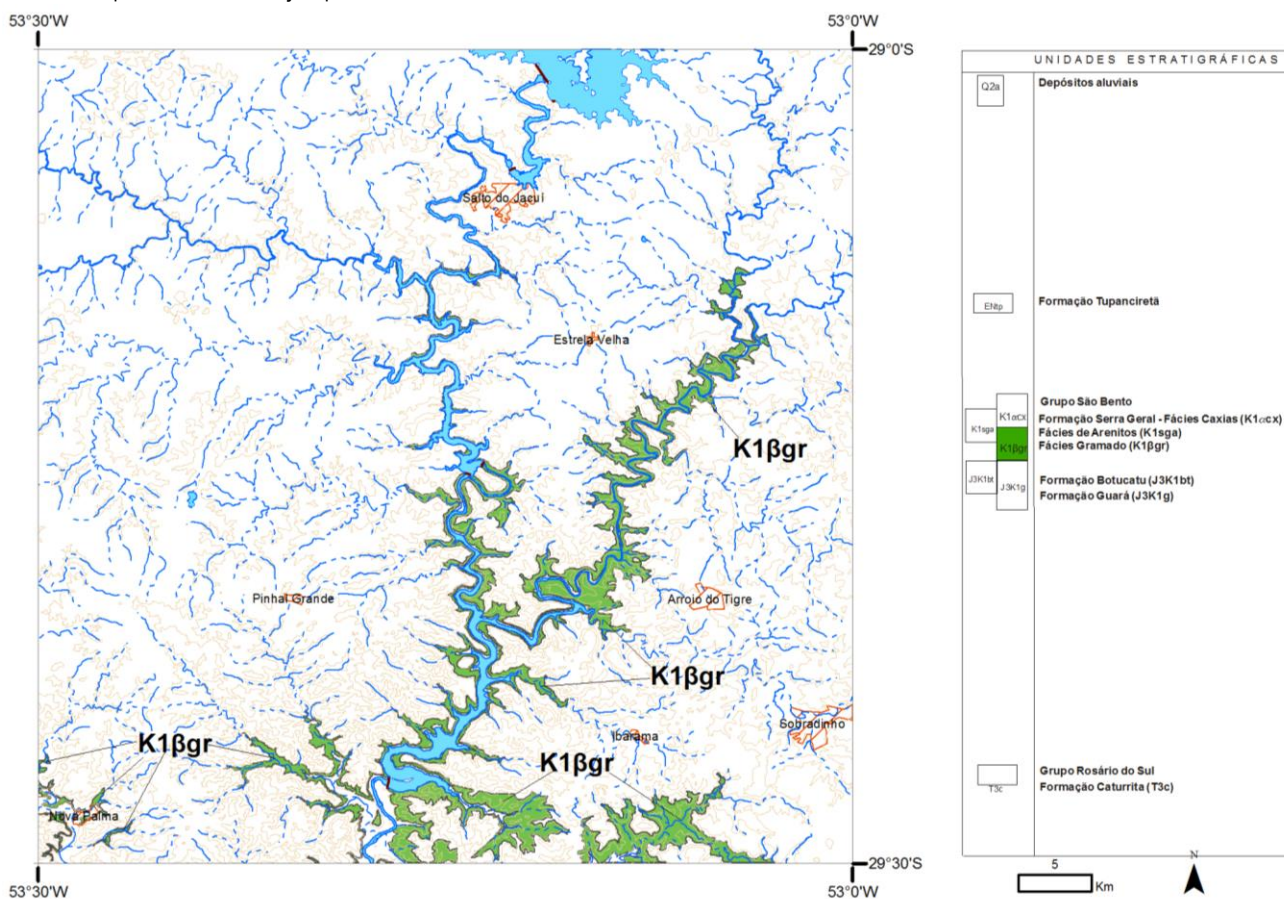


Figura 10 – Áreas de exposição da Fácies Gramado na Folha Sobradinho.

Os basaltos e andesitos expostos na Folha So-bradinho possuem coloração cinza escuro (fresca) a marrom avermelhado (alterada) com textura equigranular fina a afanítica, por vezes microporfírica em matriz vítrea a afanítica. Os derrames são maciços com disjunções colunares e esfoliações esferoidais

(Figura 11 e Figura 12). Diques centimétricos de areia preenchendo fraturas na base dos derrames e níveis de brechas peperíticas próximo aos contatos dos derrames com arenitos também são muito comuns na unidade mapeada (Figura 13 e Figura 14).



Figura 11 – Basaltos em pedreira desativa da Fácies Gramado nos arredores da cidade de Nova Palma. Neste afloramento é possível visualizar disjunções colunares decimétricas à métricas.



Figura 12 – Basaltos andesitos em afloramento da Fácies Gramado no vale do rio Jacuizinho. Neste ponto é possível visualizar o intenso intemperismo e fraturamento do afloramento.



Figura 13 - Basalto em afloramento da Fácies Gramado próximo ao lajeado do Gringo na região sul da folha. Neste ponto é possível visualizar o intenso intemperismo da rocha vulcânica que é cortada por dique arenítico.



Figura 14 – Detalhe de afloramento da Fácies Gramado próximo ao acesso a cascata das Bicas no vale do rio Jacuizinho. Neste ponto é possível visualizar o exemplo de brecha peperítica formado por interação de derrame vulcânico (clastos) com sedimento inconsolidado (matriz).

A análise petrográfica da fácies classificou a maioria das amostras como porfíricas ou microporfíricas, sendo pouco comum a variedade afírica. Nos tipos porfíricos, os fenocristais medem em geral entre 0,5 e 2 mm de comprimento, e são representados por plagioclásio labradorítico e clinopiroxênio, frequentemente agrupados constituindo texturas glomeroporfíricas. A matriz geralmente exibe textura intergranular fina a muito fina, formada por ripas de plagioclásio entre as quais ocorrem piroxênio e mine-

rais opacos. Texturas intersertais, com material vítreo ou hemivítreo entre os plagioclásios são observadas localmente em certas lâminas. Pequenas cavidades preenchidas por zeólitas ou argilo-minerais amarelos a castanho esverdeados, em geral menores do que 1 mm e de contorno arredondado ou irregular, ocorrem em quase todas as rochas. Cavidades dictytaxíticas ocupadas por celadonita verde escura, quartzo e restos de vidro vulcânico, podem ser frequentes em alguns basaltos e andesitos (Figura 15 e Figura 16).

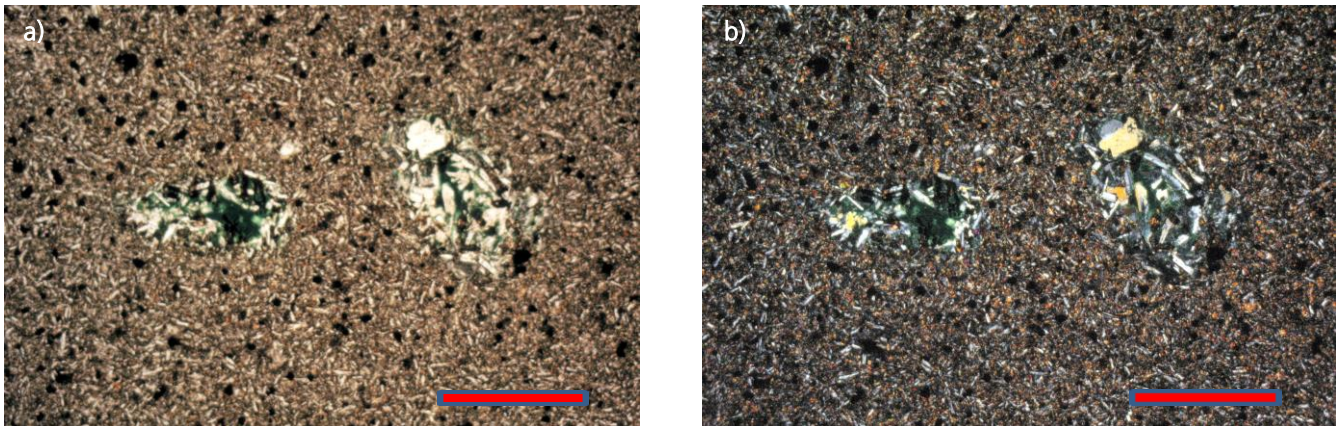


Figura 15 - a) Cavidades dictytaxíticas preenchidas por celadonita (verde escura) e quartzo em andesito pertencente à Fácies Gramado. Lâmina MM-28 (Vale do Rio Jacuí – próximo a cidade de Arroio do Tigre) B, luz plano-polarizada, escala = 1 mm; b) Idem foto anterior, polarizadores cruzados.

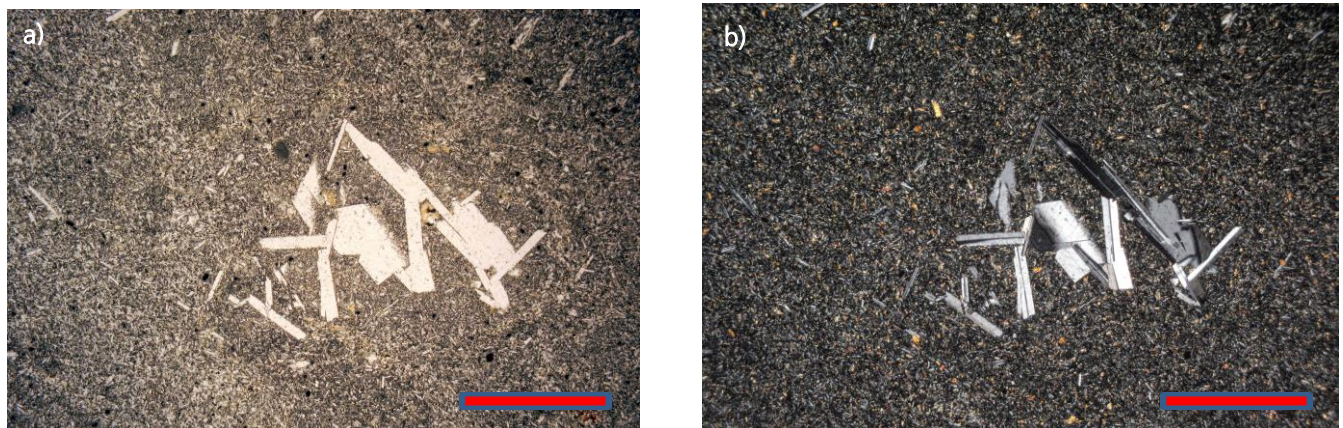


Figura 16 – a) Fenocristais de plagioclásio labradorítico agrupados, constituindo uma textura glomeroporfírica, em basalto da Fácies Gramado. Lâmina MM-134 (Lajeado da Gringa – próximo a cidade de Ibarama), luz plano-polarizada, escala = 1 mm; b) Idem foto anterior, polarizadores cruzados.

### **Fácies Arenitos (K1sga)**

As camadas lenticulares de arenitos relacionadas ao ambiente desértico da Formação Botucatu são verificadas ao longo dos níveis basais da seção estratigráfica da Formação Serra Geral, e constituem níveis arenosos interderrames em rochas vulcânicas. Estes pacotes arenosos variam de menos de 2 metros che-

gando até 15 metros, e possuem extensão lateral que pode chegar a centenas de metros dependendo da espessura (SCHERER et. al. 2004). Os dados de paleocorrente indicam que o vetor médio de mergulho dos estratos cruzados eólicos é para sudeste (SCHERER, 2000).

As camadas são compostas de arenitos finos a grossos com coloração róseo avermelhado. Os sedi-

mentos possuem estratificação horizontal ou de baixo ângulo quando interpretados como lençóis de areia eólico, e estratos cruzados de médio a grande porte quando relacionados como depósitos de dunas simples e composta (SCHERER, 2002).

As camadas da Fácies Arenitos afloram de forma descontínua na Folha Sobradinho no contato

entre as Fácies Gramado e Caxias, apresentando espessuras máximas em torno de 30 metros (Figura 17 e Figura 18). Na região que compreende os municípios de Sobradinho, Ibarama e Arroio do Tigre, na porção sudeste da folha, a Fácies Arenito foram cartografadas em pacotes vulcânicos da Fácies Caxias.

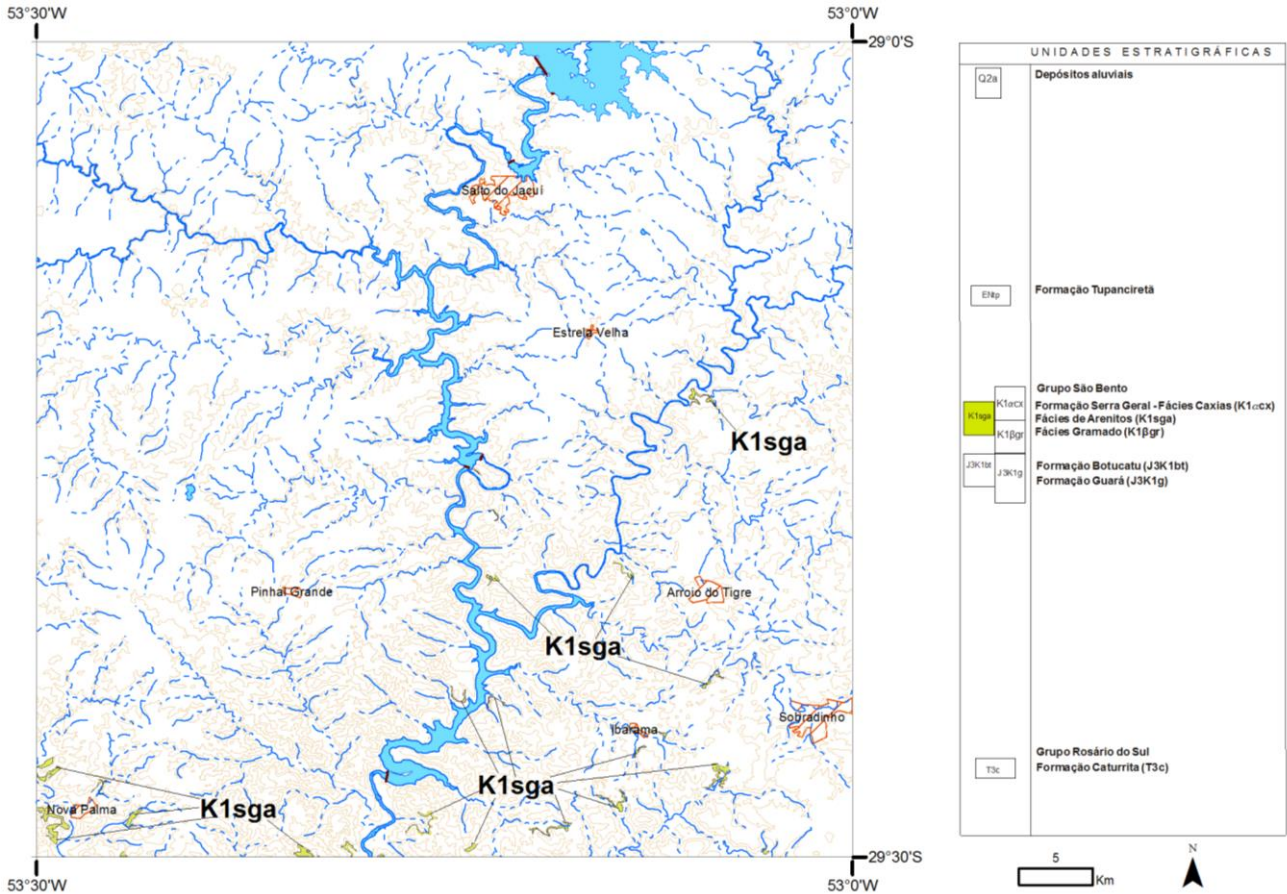


Figura 17 – Área de exposição da Fácies Arenitos na Folha Sobradinho.



Figura 18 – Afloramento da Fácies Arenitos na ERS-481 entre as cidades de Arroio do Tigre e Estrela Velha. Neste trecho da estrada é possível visualizar grande pacotes areníticos intercalados por rochas vulcânicas.

A ocorrência de níveis peperíticos na Fácies Arenitos é comum próximo aos contatos com unidades vulcânicas. Feições do tipo boulders também ocorrem nesta unidade, e constituem estruturas elípticas com diâmetro de 2 a 7 metros. Estas feições

possuem composição arenítica e/ou basáltica vesicular imersa em matriz argilosa de cor amarela esverdeada proveniente da alteração de rocha vulcânica vesicular e/ou vítrea (Figura 19 e Figura 20). Os boulders também afloram acima dos níveis interderrames, e

são comuns nas cotas altimétricas de 200 metros, entre as cidades de Arroio do Tigre e Estrela Velha, e em cotas de 400 metros na região dos garimpos de ágata em Salto do Jacuí. Os boulders marcam a inte-

ração entre rochas vulcânicas e sedimentos, e constitui importante guia prospectivo para camadas vulcânicas mineralizadas com ágata na área mapeada (HEEMANN, 1997).



Figura 19 - Afloramento de beira de estrada (Sobradinho-Ibarama) da Fácies Arenitos próximo a cidade de Sobradinho. No afloramento é possível observar níveis de arenito (castanho) e rocha vulcânica alterada (marrom avermelhado) na base do afloramento, sendo que alguns pontos, ocorre a interação entre derrames e sedimento formando peperitos.

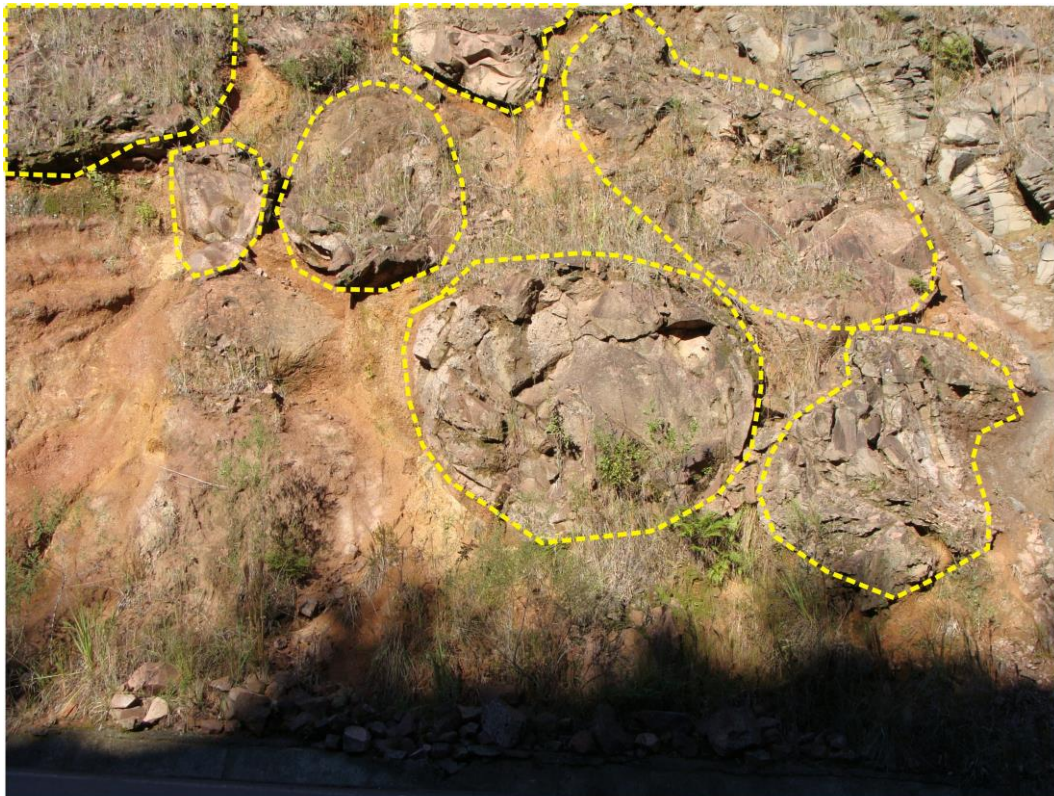


Figura 20 - Afloramento próximo ao contato entre as Fácies Arenitos e Caxias na ERS-481 entre as cidades de Arroio do Tigre e Estrela Velha. Neste trecho ocorrem boulders (destacados) de composição vulcânica vesicular imersa em porção areno-argilosa de cor amarelo avermelhado.

0 1m

### **Fácies Caxias (K1acx)**

A ocorrência da Fácies Caxias ou Palmas tem distribuição a partir do rio Iguazu na divisa dos estados de Santa Catarina e Paraná em direção ao sul no Rio Grande do Sul. A revisão apresentada por Nardy *et al.* (2008) para as rochas vulcânicas ácidas da Bacia do Paraná, aponta que estas unidades recobrem uma área de 64.000 km<sup>2</sup>, e que representam 2,5% do volume total da Formação Serra Geral.

Do ponto de vista litogeoquímico, Nardy *et al.* (2008) reconheceram cinco subgrupos distintos de rochas do tipo Palmas, denominados de Santa Maria, Caxias do Sul, Anita Garibaldi, Clevelândia e Jacuí. No RS, excluindo o subgrupo Clevelândia, as outras unidades ocorrem na região que compreende a borda centro-nordeste da Formação Serra Geral.

O conjunto de derrames da Fácies Caxias é constituído de dacitos e riolitos, e podem chegar a uma espessura máxima de 420 metros. Apresentam características marcantes correspondendo a espessas lavas tabulares, que variam entre 40 a 60 metros de espessura, com um proeminente horizonte de disjunção tabular junto ao topo, e uma porção central onde são comuns feições de bandamento de fluxo compondo dobras apertadas assimétricas sem raiz que localmente evoluem para autobrechas. A temperatura dos magmas ácidos, associada à pequena espessura e conseqüente resfriamento rápido, gera depósitos holohialinos (pitchstone), onde são comuns as fraturas conchoidais e/ou perlíticas, atribuídas a hidratação do vidro e a expansão regular de volume.

Ao longo da Estrada do Sol (RS 453) que liga a serra ao litoral norte do RS, as rochas ácidas tipo Caxias/Palmas assentam diretamente sobre as rochas básicas tipo Gramado, sendo que o contato entre as unidades se dá por uma importante zona de erosão responsável pela geração de espessos depósitos de sedimentos vulcanogênicos, e por um paleorelevo marcante formado de canais e platôs bem definidos no relevo.

Os níveis de brechas peperíticas, comuns na Fácies Gramado, também são verificados na Fácies Caxias, ocorrendo próximo aos contatos dos derrames com os sedimentos interderrames (Figura 21 e Figura 22). As feições tipo boulders e a presença de diques de composição arenítica também são comuns nessa unidade, e indicam a interação de lavas ácidas com sedimentos da Fácies Arenitos.

Em nível regional, Heemann (1997) descreveu três associações de derrames basálticos e dacíticos na Folha Sobradinho. A primeira associação (R1) caracterizada por derrames basálticos, a segunda (R2) pela

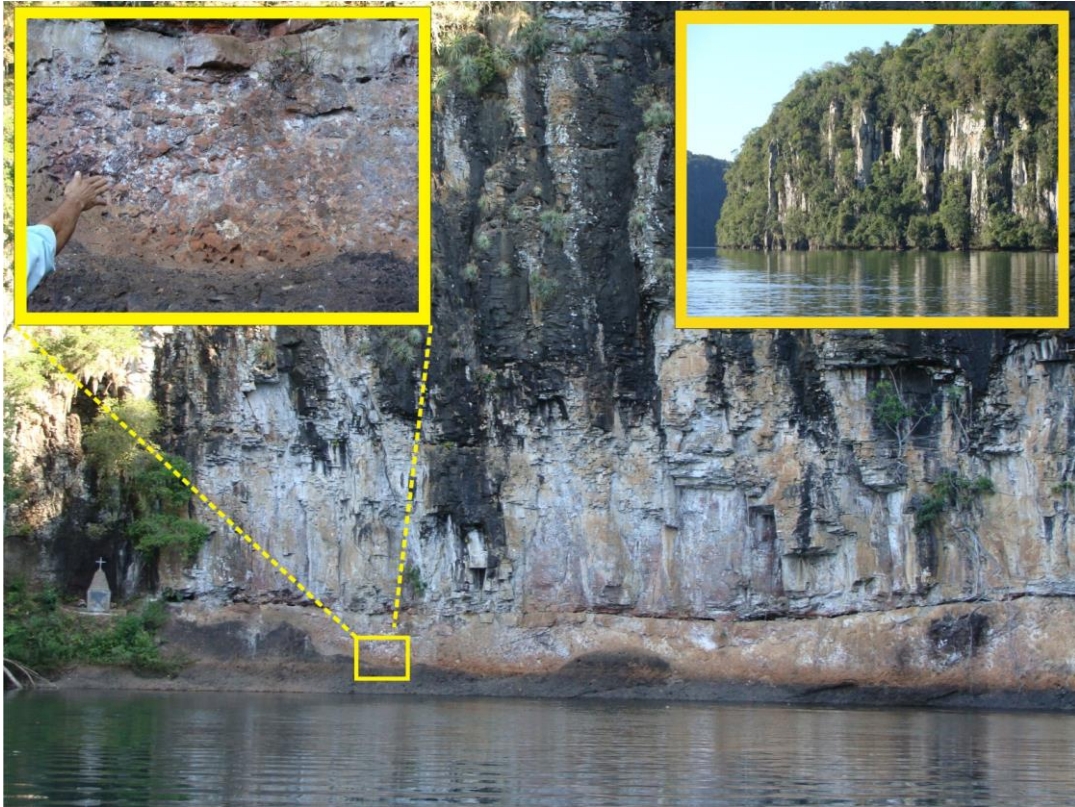
interrelação entre derrames básicos e ácidos com textura glomeropórfira, e a terceira (R3) por derrames dacíticos com textura holocristalina.

No caso da associação R2, Heemann (1997) realizou um estudo aprofundado em razão das mineralizações de ágata presentes nesses derrames. Na escala de garimpo, foram descritas cinco unidades litológicas principais para o Distrito Mineiro de Salto do Jacuí (DMSJ) localizado na região norte da Folha Sobradinho. No DMSJ foram classificados para a associação R2: dacito semi-vítreo vesículo-amigdaloidal inferior; basalto vesículo-amigdaloidal mineralizado com ágata ("tabatinga"); dacito vesicular ("cupim"); dacito semi-vítreo vesículo-amigdaloidal superior; e dacito glomeropórfiro superior. Os geodos de ágata representam o recurso mineral mais valorizado no DMSJ, tanto no nível basáltico, quanto no nível dacítico, ocorrendo associados com veios de arenito e material vítreo, que ocorrem com níveis de brecha vulcânica constituída por fragmentos de basalto vesículo-amigdaloidal e blocos angulares de arenito. Cabe ressaltar, que na Folha Sobradinho, as unidades descritas por Heemann (1997, 2005) para o DMSJ estão inseridas na porção basal da Fácies Caxias.

O conjunto de afloramentos das Fácies Caxias predomina em área de cobertura na Folha Sobradinho (Figura 23), sendo classificados como riolitos e dacitos, com textura glomeroporfirítica a microporfirítica em matriz afanítica à vítrea com ocorrência de zonas vesiculares. As rochas possuem cores que variam do castanho (alterada) a tons de cinza.

Ao longo dos afloramentos é marcante a ocorrência de disjunções tabulares sub-horizontais, por vezes, verticais com dimensões centimétricas a métricas bem desenvolvidas, que formam expressivas dobras e domos produzidos por fluxo vulcânico (Figura 24 e Figura 25).

A dinâmica formadora e o modelo de evolução dos domos de vulcanismo ácido da Formação Serra Geral foram descritos por Lima *et al.* (2012) para a Fácies Caxias na região nordeste do RS (São Marcos-Antônio Prado). As feições diagnósticas para domos e condutos vulcânicos foram descritas em pedreiras exploradas para rocha ornamental que expuseram as porções internas dos diques alimentadores. Na área mapeada pela Folha Sobradinho, os afloramentos oferecem cortes que apresentam ótimas exposições de dobras e disjunções subverticais que podem representar porções de domos e diques ácidos (Figura 27 e Figura 26).



*Figura 21 – Belíssimo afloramento em área alagada da barragem de Itaúba. Neste ponto acessado somente por embarcação foi possível visualizar contatos de riolitos e níveis de peperitos associados (destaque).*



*Figura 22 – Afloramento da Fácies Caxias próximo da hidrelétrica de Itaúba. Neste ponto ocorrem níveis (lentes) métricos de peperitos marcados por clastos vesiculados de rocha vulcânica.*



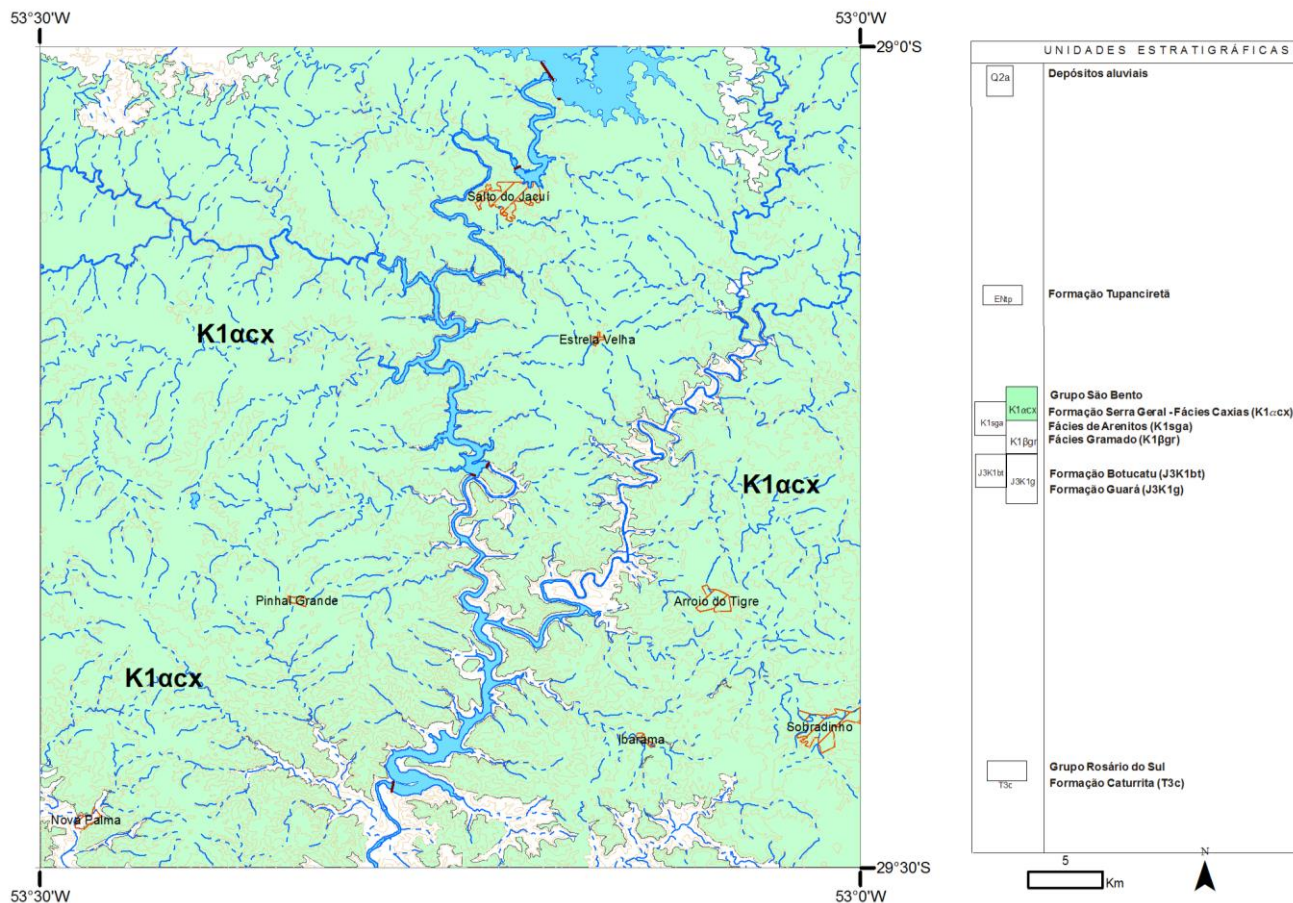


Figura 23 – Área de exposição da Fácies Caxias na Folha Sobradinho.

O conjunto de amostras coletadas para análise petrográfica apresentam texturas predominantemente porfírica ou microporfírica, com fenocristais de plagioclásio, clinopiroxênio, e mais raramente de opacos e ortopiroxênio, em geral medindo de 0,5 a 2 mm, podendo excepcionalmente alcançar 3 a 4 mm comprimento. Destacam-se, sendo bastante comuns, as texturas glomeroporfíricas, nas quais os fenocristais constituem agregados (Figura 28 e Figura 29).

A matriz das vulcânicas ácidas possui texturas diversas. Geralmente observam-se micrólitos dispersos, de 0,1 a 0,3 mm de comprimento, de plagioclásio ripiforme, piroxênio acicular e pontuações de minerais opacos, no meio de uma massa félsica que pode variar de hemivítrea a cripto e microcristalina, por vezes numa mesma amostra. As partes hemivítreas e criptocristalinas possuem fraca resolução óptica e são em geral escuras sob luz plano-polarizada. As partes microcristalinas são claras, formadas por quartzo e feldspato alcalino em arranjos micropoiqui-

líticos, microgranofíricos ou esferulíticos, resultantes de devitrificação (Figura 30).

Pequenas cavidades ovais, de até 3 mm de comprimento, preenchidas por quartzo, ocorrem em algumas rochas. Uma alteração para argilo-minerais afeta boa parte das vulcânicas deste fácies, incidindo principalmente sobre as porções hemivítreas e fenocristais e micrólitos de piroxênio. Também ocorrem, variedade marrom avermelhada impregnada por hidróxido de ferro.

O principal perfil geológico levantado na Folha Sobradinho foi realizado na BR-481, entre as cidades de Arroio do Tigre e Estrela Velha (Figura 31), sendo que ao longo do trajeto foi possível visualizar a heterogeneidade faciológica da Fácies Caxias descrita por Heemann (1997). Diferentes derrames ácidos foram verificados neste perfil, assim como, a interação das diferentes lavas ácidas, que geraram afloramentos heterogêneos do ponto de vista faciológico, em razão dos diferentes graus de intemperismo imposta à associação de rochas ácidas.



Figura 24 - Dacito em pedreira ativa da Fácies Caxias localizada próxima a cidade de Sobradinho. No detalhe é visto a coloração cinza homogênea, por vezes, com tingimento de óxidos marcando fluxo vulcânico. No local são preparados blocos e paralelepípedos para construção civil.



Figura 25 - Dacito em pedreira ativa da Fácies Caxias localizada próxima a cidade de Salto do Jacuí. No local são preparados blocos, chapas e paralelepípedos para construção civil.



Figura 27 - Riolitos em afloramento de beira de estrada (ERS-481) da Fácies Caxias próximo à cidade de Estrela Velha. No local é possível visualizar grandes dobras de fluxo relacionadas a derrames vulcânicos ácidos.



Figura 26 - Riolito em afloramento da Fácies Caxias no vale do rio Jaquirana próximo à cidade de Arroio do Tigre. No local é possível visualizar grande domo de fluxo com foliação horizontalizada relacionada a lava ácidas.



Figura 28 - a) Bandamento de fluxo em riolito, marcado por camadas microcristalinas (mais claras) alternadas com bandas criptocristalinas (mais escuras). Uma maior concentração de pontos ferruginosos e uma vênula de quartzo acompanham a banda criptocristalina. Lâmina MM-117 (Lajeado do Turvo - próximo a cidade de Arroio do Tigre), luz plano-polarizada, escala = 1 mm; b) Idem foto anterior, polarizadores cruzados.

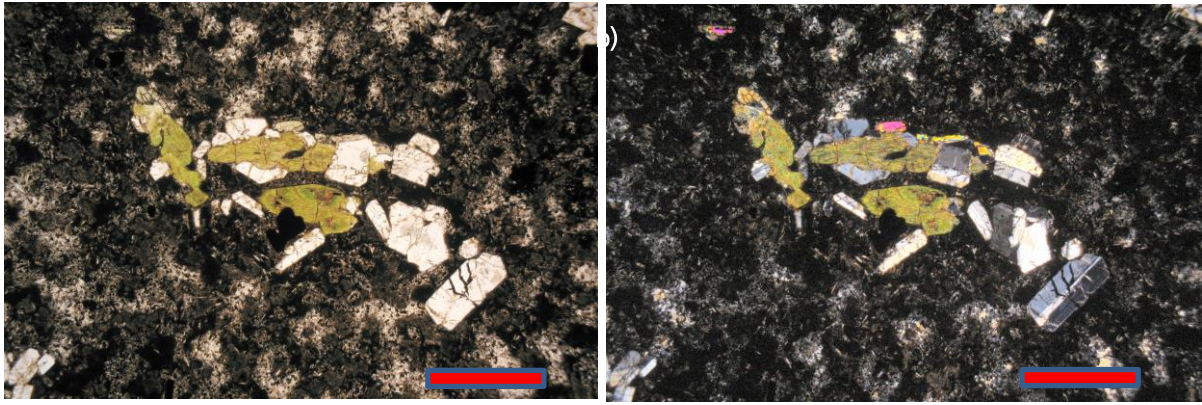


Figura 29 - a) Textura glomeroporfírica em riolito, caracterizada por um agregado de fenocristais de plagioclásio e clinopiroxênio, o último mostrando alteração em argilo-minerais verdes. Lâmina MM-15 (Vale do Rio Ivaí – PCH Kotzian), luz plano-polarizada. Escala = 1 mm; b) Idem foto anterior, polarizadores cruzados

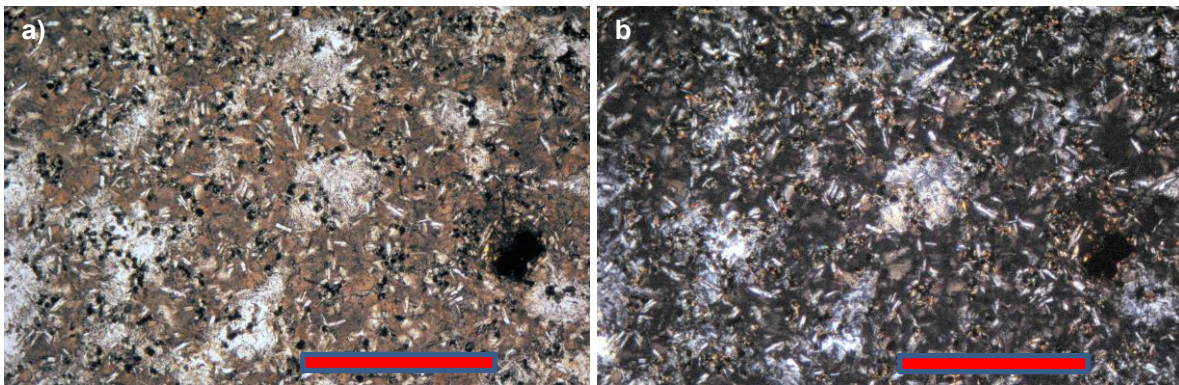


Figura 30 - a) Aspecto da matriz de um riolito do fácies Caxias, contendo micrólitos dispersos de plagioclásio, piroxênio e opacos no meio de uma massa félsica formada por porções hemivitreas a criptocristalinas marrom alaranjadas e porções microcristalinas à base de quartzo e feldspato alcalino. Lâmina MMG-117, luz plano-polarizada. Escala = 1 mm; b) Idem foto anterior, polarizadores cruzados.

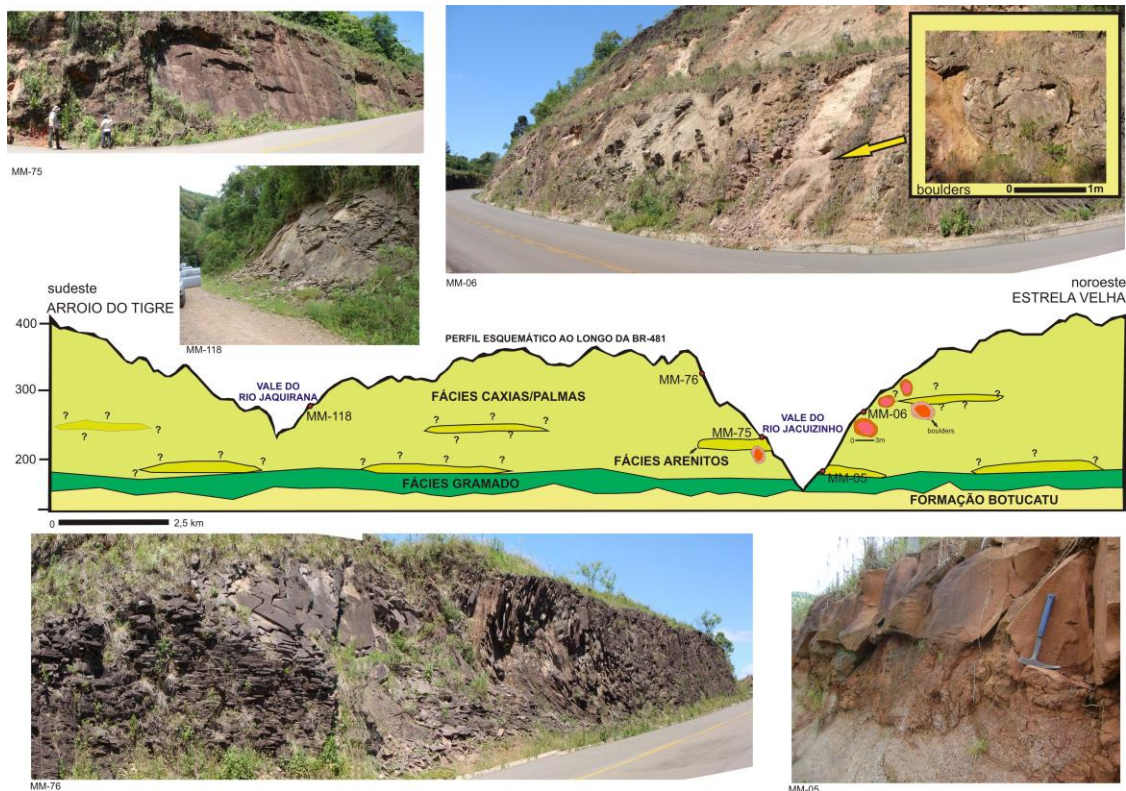


Figura 31 – Conjunto de afloramento da Formação Serra Geral (Fácies Gramado, Arenito e Caxias) ao longo da rodovia ERS-481 entre as cidades de Arroio do Tigre e Estrela Velha.

### 3.3 FORMAÇÃO TUPANCIRETÁ (ENTp)

A Formação Tupanciretá é uma unidade descrita apenas no estado do Rio Grande do Sul, com ocorrências mapeadas nas cotas mais altas do planalto gaúcho na região centro-norte do estado. Esta unidade foi descrita originalmente por Menegotto *et al.* (1968), que identificou camadas sedimentares sobrepostas a unidades vulcânicas da Formação Serra Geral no RS. Essas camadas compreendem arenitos e conglomerados basais, seguidos de arenitos conglomeráticos e arenitos, por vezes intercalados com argilitos no topo do pacote.

As rochas da Formação Tupanciretá são altamente friáveis e possuem coloração dominante rósea-avermelhada. A unidade ocorre na forma de manchas isoladas entre os municípios de Tupanciretá, Júlio de Castilhos, Cruz Alta, Carazinho e Passo Fundo, sendo as características topográficas do planalto aliadas à alta friabilidade dessas rochas, fatores erosivos desencadeadores de boçorocas quando os afloramentos são expostos aos efeitos do intemperismo (MENEGOTTO, 1971).

Os arenitos da Formação Tupanciretá possuem granulometria fina a muito fina, e são compostos predominantemente por quartzo e feldspato bastante alterado, sendo que a coloração avermelhada típica desses sedimentos ocorre em razão da capa de óxido de ferro que cobre os grãos.

No caso das argilas, a caulinita é o argilo-mineral dominante, e que constitui produto de alteração do feldspato. Além da caulinita, ocorrem também de forma interestratificada illita-montmorilonita, clorita e montmorilonita. De acordo com esses resultados, Colon *et al.* (1973) indicaram rochas metamórficas, graníticas e sedimentos quartzo-feldspáticos retrabalhados como possíveis fontes dos sedimentos da Formação Tupanciretá. Sendo assim, descarta-se a Formação Serra Geral como área fonte dos sedimentos. Os autores ressaltam que somente a base da unidade composta por conglomerados formados

predominantemente por fragmentos vulcânicos, apresenta influência de rochas da Formação Serra Geral.

Um estudo paleoambiental da Formação Tupanciretá foi realizado por Nowatzki *et al.* (1999) que analisaram as diferentes faciologias sedimentares presentes na unidade. Para isso, os autores percorreram ocorrências da unidade plotadas no mapa geológico de Santos *et al.* (1989), e concluíram que a abrangência da Formação Tupanciretá era bastante inferior a postulada na época. Neste estudo foram visitados afloramentos entre as cidades de Júlio de Castilhos, Cruz Alta e Santa Bárbara do Sul, onde foram descritos principalmente conglomerados e arenitos, sendo esses depósitos relacionados com fácies fluviais e eólicas.

A idade da Formação Tupanciretá ainda é muito controversa, pois o fato da unidade ser pós-vulcanismo Serra Geral com um intervalo de tempo muito abrangente que compreende o final do Cretáceo ao Cenozoico, torna a idade muito imprecisa (COLON *et al.* 1973; NOWATZSKI *et al.* 1999). Outro fator que contribui para essa imprecisão é a ausência de fósseis na unidade, já que esta informação seria de grande valia para determinação de uma datação relativa confiável.

Na Folha Sobradinho os depósitos da Formação Tupanciretá possuem destaque ocorrendo no extremo norte da área mapeada (Figura 32).

Os afloramentos mapeados caracterizam-se como áreas erodidas na forma de ravinas ou grandes depressões geradas em razão das características friáveis das rochas (Figura 33). A maioria dos afloramentos corresponde a sedimentos de origem eólica formados principalmente por arenito fino a muito fino de coloração avermelhada com estratificação cruzada de médio a grande porte (Figura 34 e Figura 35).

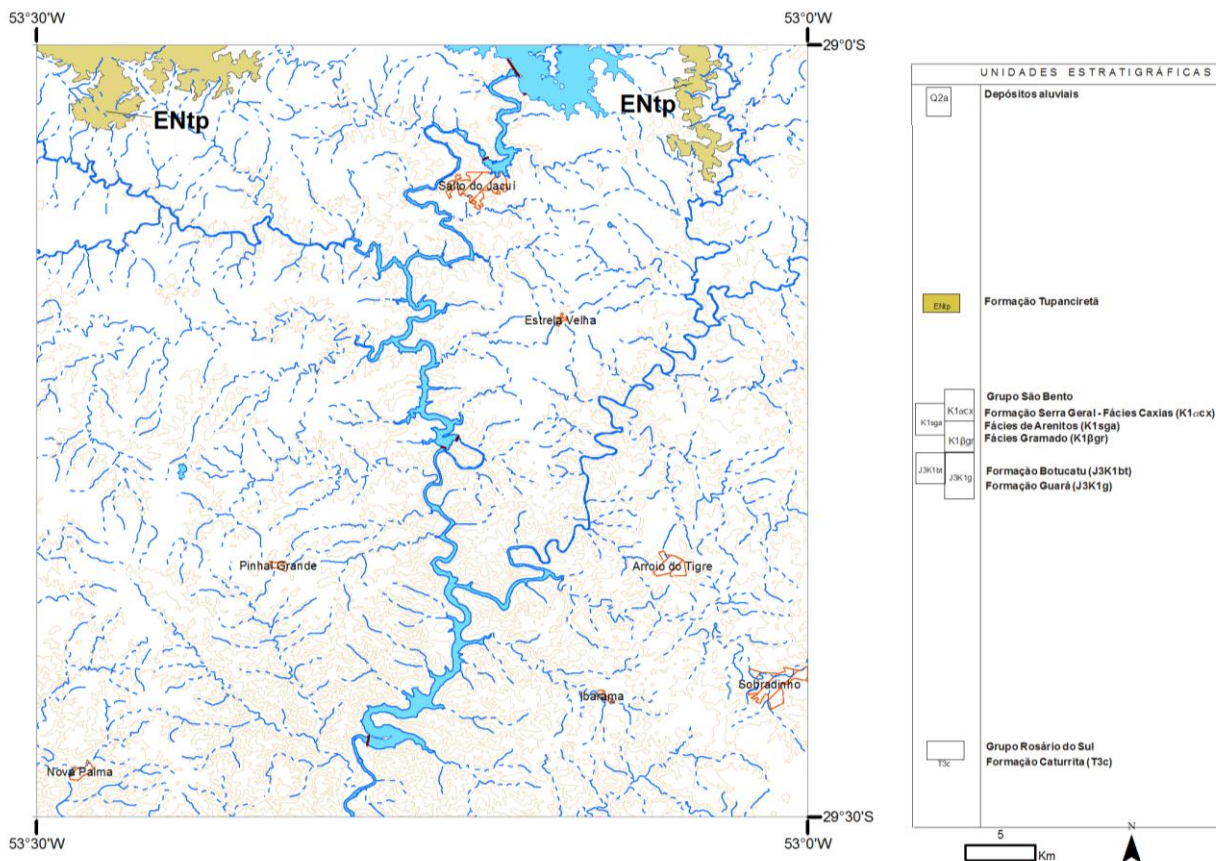


Figura 32 - Área de exposição da Formação Tupanciretã na Folha Sobradinho.



Figura 33 - Vista geral do afloramento do Barrocão localizado no extremo noroeste da folha.



Figura 34 - Vista de detalhe do afloramento do Barrocão. Neste ponto é possível verificar arenitos com estratificação cruzada de grande porte de origem eólica.



Figura 35 - Arenitos em afloramento de beira de estrada da formação Tupanciretã próximo ao acesso a localidade de Barrocão.

Os resultados da análise mineralógica realizada nas amostras MM-84 e MM-136 referentes à localidade de Barrocão no extremo norte da Folha Sobradinho são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1- Resultados da análise mineralógica de amostras coletas na Formação Tupanciretã em afloramentos localizados na região norte da folha.

Amostra	MM-84	MM-136
Grau de Arredondamento	bom	bom
Esfericidade	alto	alto
Seleção de Grão	muito bem selecionado	muito bem selecionado
Classificação - Wentworf	areia fina a muito fina	areia média
Peso da Amostra – Leve X Pesados	99,85% leves e 0,15% pesados	99,98% leves e 0,02% pesados
Material Orgânico	raros fragmentos	ausente
Presença de Ouro	ausente	ausente
Mineralogia Básica (%)	quartzo - 98%	quartzo – 98%
Mineralogia Secundária (menor ou igual a 1%)	magnetita, hematita, ilmenita, óxido de manganês, rutilo, zircão, mica, turmalina, leucóxênio, agregados terrosos, óxido de ferro, argila, zeolita	magnetita, hematita, ilmenita, limonita, zircão, monazita, óxido de manganês, rutilo, turmalina, leucóxênio, agregados terrosos, argila, zeolita, feldspato alterado.

Os resultados destas análises apontam o quartzo tingido por óxido de ferro como o principal componente da amostra (98%). Com relação aos minerais restantes da amostra, o destaque é dado para minerais como turmalina e zircão.

A análise petrográfica foi realizada em sedimento inconsolidado da amostra MM-84 por técnica de impregnação. Esta amostra revelou a presença grãos arredondados a subarredondados, com esfericidade média, moderadamente selecionados, com o predomínio de grão areia fina e, subordinadamente, grãos de areia média a grossa. A mineralogia constituiu-se de quartzo (93%), feldspatos (5%), plagioclásio (1%), turmalina (1%), mica branca (traço), leucóxênio (traço) e zircão (traço) (Figura 36).

Os resultados das análises mineralógicas e petrográficas das amostras da Formação Tupanciretã na Folha Sobradinho apontaram como área fonte dos sedimentos as rochas do Escudo Sul-rio-grandense. A

ocorrência de grãos minerais como feldspato microclínio, turmalina e quartzo policristalino com extinção ondulante corroboram como área fonte da unidade, as rochas metamórficas e graníticas do embasamento, e as características texturais nas amostras sugerem um retrabalhamento eólico sobre sedimentos fluviais. Da mesma forma, não foram encontrados nas amostras litoclastos vulcânicos ou fragmentos de geodos preenchidos por quartzo euédrico e/ou calcedônia, fato esse, que seria diagnóstico de sedimentos derivados deste tipo de litologia.

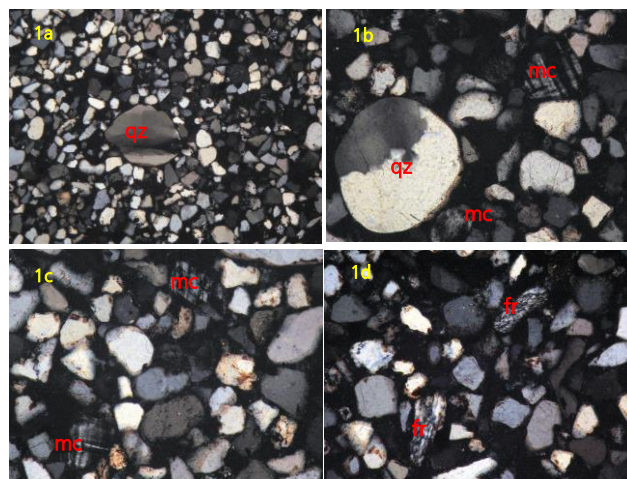


Figura 36 – Fotomicrografia mostrando detalhe de grão policristalino de quartzo (qz) e microclínio com macla da Albite-Periclina (mc). Técnica de LP, aumento 100X, escala gráfica 0,2 mm. 1c – Fotomicrografia mostrando grãos no tamanho areia fina de microclínio com a típica macla da Periclina-Albite (mc). Técnica de LP, aumento e escala idênticos a fotomicrografia 1b. 1d – Fotomicrografia mostrando fragmentos de rocha compostos de quartzo policristalino e estirado (fr) oriundos de rocha metamórfica. Técnica de LP, aumento e escala idênticos a fotomicrografia 1b.

### 3.4 DEPÓSITOS ALUVIAIS (Q2a)

Os depósitos aluviais recentes cartografados na Folha Sobradinho são compostos por sedimentos grossos formados por areias de granulometrias diversas e cascalhos de origem vulcânica (Formação Serra Geral) relacionados principalmente a depósitos de canais fluviais dos rios Jacuí e Soturno localizados na região centro-sul da folha (Figura 37).

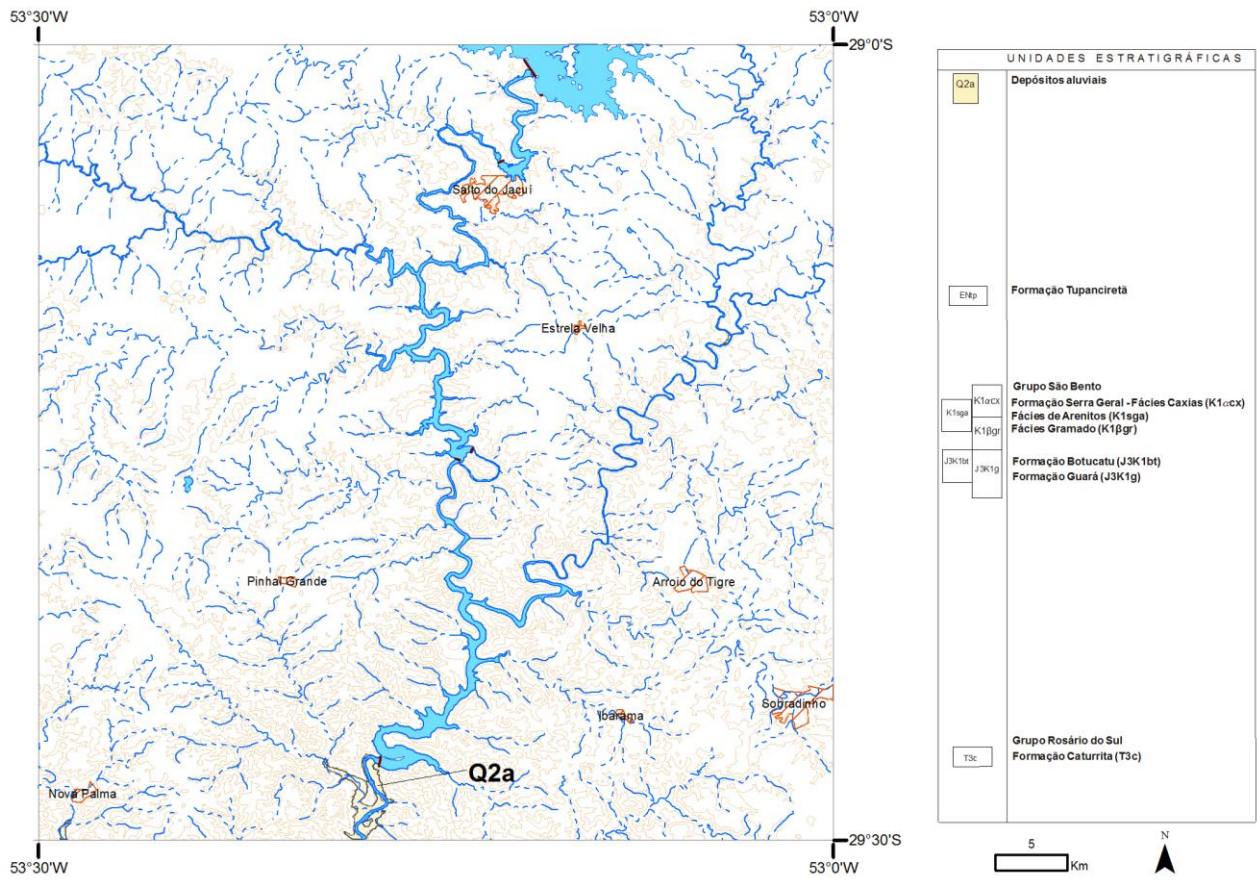


Figura 37 – Área de exposição dos depósitos aluviais na Folha Sobradinho.

## 4 LITOGEOQUÍMICA

### 4.1 INTRODUÇÃO

A ruptura e separação do super-contidente Gondwana durante o Cretáceo Inferior foi acompanhada por um expressivo evento magmático, resultando em extenso magmatismo nas porções centro-sul da América do Sul e noroeste do continente africano, associado com a abertura do Oceânico Atlântico Sul (ROISENBERG *et al.*, 2000; WILDNER *et al.*, 2006, NARDY *et al.*, 2008, PEATE *et al.*, 1992). Esse evento magmático recobre as Províncias do Paraná-Etendeka, com um volume de magma da ordem de 800 km<sup>3</sup> (PEATE *et al.*, 1997, NARDY *et al.*, 2008, COFFIN & ELDHOLM, 1992; FRANK *et al.*, 2009).

O magmatismo Serra Geral ou Formação Serra Geral como é denominada a província, apresenta uma área de aproximadamente 917.000 km<sup>2</sup> alongada na direção NNE-SSW, com espessura máxima em torno de 1700 m junto ao depocentro da bacia, e situa-se na porção sudeste da Plataforma Sul-Americana, com ocorrência mais expressiva no Brasil, mas também abrangendo áreas da Argentina, Paraguai e Uruguai. O magmatismo Serra Geral representa uma das maiores Províncias Vulcânicas de Basaltos de Platô (*LARGE IGNEOUS PROVINCES* - LIP's) do planeta (WILDNER *et al.*, 2003, PEATE *et al.*, 1992, NARDY *et al.*, 2008, Lima *et al.*, 2012), e apresenta uma evolução com idade de 137 a 120 Ma (PINTO & HARTMANN, 2011; SANTOS *et al.*, 2008), com ápices de taxas de efusão em torno de 135 Ma de até 1,5 km<sup>3</sup> por ano (RENNE *et al.*, 1997).

A sucessão vulcânica é composta por um vulcanismo bimodal, onde predominam as rochas basálticas e basáltico-andesíticas de natureza toleítica, distribuídas em uma pilha de derrames de até 2 km de espessura, e que representam cerca de 97,5% do volume do vulcanismo (PEATE *et al.*, 1997). Também ocorrem em menor proporção, rochas de composição ácida a intermediária que correspondem a cerca 2,5%

do volume total da pilha vulcânica (NARDY *et al.*, 2008).

### 4.2 LITOGEOQUÍMICA DO VULCANISMO DA FOLHA SOBRADINHO

As pesquisas pioneiras em rochas vulcânicas da Formação Serra Geral na Bacia do Paraná determinaram que a maior parte das rochas pertencentes a pilha de lavas da Formação Serra Geral fosse considerada como uma sequência aparentemente homogênea de basaltos toleíticos virtualmente afaníticos (LEINZ, 1949; CORDANI; VANDOROS, 1967; COMINCHIARAMONTI *et al.* 1988). Com o avanço das pesquisas, foram sendo reconhecidos diferentes litotipos (e.g. andesitos basálticos, riolitos, riodacitos, traquitos, dentre outros). Diferentes autores conseguiram separar e classificar essa sequência aparentemente homogênea, utilizando critérios mineralógicos e petrográficos (PECCERILLO; MELFI, 1988; NARDY *et al.*, 2008), ou com base nas variações geoquímicas (BELLINI *et al.* 1983, 1984a, 1984b, 1986; MANTOVANI; CORDANI; ROISENBERG, 2000; MANTOVANI *et al.*, 1988; PICIRILLO *et al.*, 1988; PEATE, HAWKESWORTH; MANTOVANI, 1992; PEATE, *et al.* 1997; GARLAND *et al.*, 1995; WILDNER *et al.*, 2003; NARDY *et al.*, 2008).

A separação de tipos de magmas tendo por base o uso da litogeoquímica tem sido amplamente utilizada em Large Igneous Provinces (LIP's), sendo que esta metodologia geoquímica tem ajudado na definição de critérios que permite separar e correlacionar horizontes estratigráficos, dando suporte à modelos petrogenéticos (e.g. PEATE *et al.*, 1992; PEATE *et al.*, 1997; WILDNER *et al.*, 2003).

Entre as décadas de 1980 e 1990 foram propostos diversos modelos petrológicos (e.g. PICCIRILLO *et al.*, 1988; GARLAND *et al.*, 1996) na tentativa de elucidar as variações composicionais atribuídas à geração e contaminação dos magmas em diferentes



níveis crustais. A primeira grande compartimentação, que utilizou parâmetros geoquímicos para separar em grupos as rochas basálticas da Formação Serra Geral, se baseou nos teores de  $TiO_2$ , dividindo os basaltos em alto-Ti ( $TiO_2 > 2\%$ ), predominantes na porção norte da Bacia do Paraná, e baixo-Ti ( $TiO_2 < 2\%$ ), que ocorrem no sul da bacia (e.g. BELLINI *et al.*, 1984 a e b; PICCIRILLO *et al.*, 1988; MANTOVANI *et al.*, 1985).

Com a geração de um grande volume de dados geoquímicos tornando-se disponíveis e com os avanços no conhecimento sobre o vulcanismo da Formação Serra Geral, a divisão dos basaltos apenas com base no limite de 2% wt de  $TiO_2$  parecia arbitrária, e outros critérios composicionais pareciam funcionar de forma eficiente para o reconhecimento de subgrupos composicionais, dentro dos grandes grupos de basaltos alto-Ti e baixo-Ti (BELLINI *et al.* 1984, PEATE *et al.* 1992). Dessa forma, através do estudo da variação do comportamento geoquímico de diversos elementos bivariantes, e do cruzamento entre as razões destes e outros elementos, foram identificados e individualizados diferentes tipos de

magma dentro dos dois grandes grupos (PEATE *et al.*, 1992; PICCIRILLO; MELFI, 1988).

Na tentativa de selecionar os melhores critérios de separação geoquímica além do  $TiO_2$ , Peate *et al.* (1992) observam que elementos com grande potencial iônico (High Field Strength Elements - HFSE) como Ti, Zr, Y, Rb, Ba e Y, geralmente mais estáveis durante a alteração hidrotermal e a processos intemperísticos, também apresentam padrões bastante confiáveis quando da individualização dos basaltos em sub-grupos. A utilização desses elementos HFSE na classificação dos magmas da Formação Serra Geral gera um conjunto de limites nas variações composicionais de um elemento específico e/ou razão, dentro de cada magma. Diante dessa nova abordagem, as rochas basálticas foram agrupadas em seis diferentes tipos de magma: Esmeralda, Gramado e Ribeira (Baixo-Ti) e Urubici, Pitanga e Parapanema (alto-Ti) (PEATE *et al.*, 1992). As composições médias de cada tipo e subtipos de magma podem ser observados na Tabela 2 (PEATE *et al.*, 1992).

Tabela 2 - Composições médias dos diferentes tipos de magma que ocorrem na Formação Serra Geral. Compilado de Mantovani *et al.*, 1988; Fodor *et al.*, 1985; Bellini *et al.*, 1986; Hawkesworth *et al.*, 1988; Peate *et al.*, 1992; Peate, 1997; Piccirillo e Melfi, 1988.

Elem.	Basalto Baixo - Ti			Basalto Alto - Ti			Riolito			
	Gramado	Esmeralda	Ribeira	Parapanema	Pitanga	Urubici	Palmas		Chapecó	
							Caxias do Sul	Santa Maria	Guarapurava	Ourinhos
SiO <sub>2</sub>	53,68	51,33	50,48	50,21	50,52	51,77	68,07	71,19	65,57	66,88
TiO <sub>2</sub>	1,43	1,55	1,8	2,31	3,53	3,74	0,99	0,72	1,41	1,15
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,26	13,82	14,56	13,2	12,9	13,32	12,97	12,54	13,22	13,36
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (t)	12,64	14,25	13,74	14,92	15,19	13,24	6,36	5,23	7,3	6,57
MnO	0,19	0,2	0,2	0,22	0,22	0,17	0,1	0,09	0,14	0,12
MgO	4,9	5,39	5,62	5,36	4,36	4,53	1,3	0,83	1,35	1,24
CaO	8,64	9,8	10,06	9,69	8,34	8,19	2,94	1,91	3,06	2,51
Na <sub>2</sub> O	2,68	2,63	2,49	2,79	2,92	2,8	3,07	2,64	3,46	3,38
K <sub>2</sub> O	1,33	0,83	0,79	0,99	1,48	1,71	3,92	4,64	4,03	4,43
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,21	0,2	0,25	0,31	0,56	0,54	0,27	0,2	0,46	0,36
Ni	42	52	77	51	30	54	7	6	6	7
Rb	45	27	17	21	32	37	168	206	98	138
Sr	238	191	288	306	266	768	135	107	375	326
Y	33	34	29	35	41	38	55	76	78	66
Zr	166	131	135	174	268	307	267	322	661	572
Nb	14	10	11	15	25	28				
Ba	388	240	337	290	484	636	664	693	1056	1208
	n = 121	n = 70	n = 26	n = 33	n = 82	n = 65	n = 132	n = 42	n = 40	n = 39

A primeira identificação de dois grupos distintos de rochas vulcânicas ácidas na Formação Serra Geral foi realizada por Mantovani *et al.* (1985b), tomando por base o conteúdo de elementos traços incompatíveis e seguindo a terminologia de Bellieni *et al.* (1986). Desta maneira, foram reconhecidos: um grupo com baixo conteúdo de elementos incompatíveis, denominado de Palma e outro grupo enriquecido em elementos incompatíveis, chamado de Chapecó. A disposição geográfica das litologias proposta por Bellieni *et al.* (1986), indicava que na província setentrional, ao norte do lineamento Rio Piquiri, predominariam as rochas básicas alto-Ti e ácidas do tipo Chapecó, e a sul do lineamento Rio Uruguai, predominariam as rochas básicas baixo-Ti e as rochas ácidas do tipo Palmas.

Para a realização do estudo litogeoquímico foram coletadas 49 amostras das rochas vulcânicas da Formação Serra Geral da Folha Sobradinho. As amostras foram analisadas no Acme Analytical Laboratories Ltda., Vancouver, Canadá, sendo utilizadas as rotinas 4A & 4B. Na rotina 4A foram obtidas as percentagens totais de óxidos e vários elementos menores a partir de 0,5 g da amostra analisada por ICP-MS. Na rotina 4B foram obtidos os resultados de elementos terras raras e refratários em 0,2 g de amostra determinado também por ICP-MS. Os resultados estão na Tabela 3.

As amostras coletadas na área de mapeamento da Folha Sobradinho encontram-se distribuídas em dois grupos distintos, quando analisadas no diagrama

de classificação das rochas vulcânicas (TAS) de Le Bas *et al.*, (1986) (Figura 38): basaltos e basaltos andesíticos com  $\text{SiO}_2$  variando entre 50 e 56% e álcalis entre 2 e 5%, 10 amostras; e riolitos e dacitos com  $\text{SiO}_2$  variando entre 64 e 72% e álcalis entre 6 e 8%, 39 amostras. Todas as amostras analisadas apresentam um caráter toleítico, indicando que o padrão bimodal de rochas vulcânicas ácidas versus básicas da Formação Serra Geral também é refletido nas rochas vulcânicas da área de mapeamento da Folha Sobradinho. Quando utilizado o diagrama AFM, sendo que  $A = (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ ,  $F = \text{FeO total}$  e  $M = \text{MgO}$  em porcentagem de peso, de Irvine e Baragar (1971) (Figura 39), as amostras mostram um trend toleítico para as rochas vulcânicas analisadas.

Visando a observação das variações composicionais das rochas da área de estudo, foram construídos diagramas do Tipo Harker dos elementos maiores e usando o  $\text{SiO}_2$  como índice de variação (Figura 40). Como já identificado anteriormente ocorrem dois conjuntos distintos de amostras, um com características básicas e outro com características ácidas. Dentro de cada conjunto individual é possível observar uma discreta variação dos elementos maiores, separando as rochas ácidas e básicas em subgrupos. Dessa forma, será necessário um estudo individualizado de cada grupo para a melhor caracterização das variações composicionais dos subgrupos.

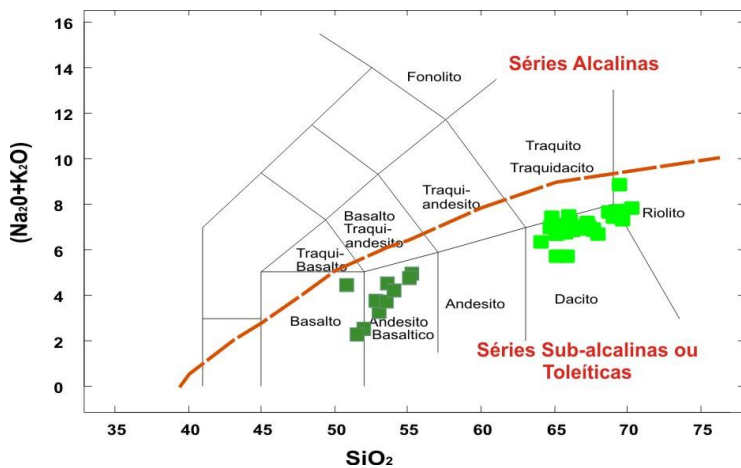


Figura 38 - Diagrama de classificação das rochas vulcânicas e posição das 49 amostras analisadas no projeto, no diagrama de álcalis vs. sílica (TAS) de Le Bas *et al.* (1986). A curva de subdivisão das rochas vulcânicas em alcalinas e toleíticas utilizada é de Irvine & Baragar (1971). Símbolos: quadrados verde-escuro = rochas básicas; quadrados verde-claro = rochas ácidas.

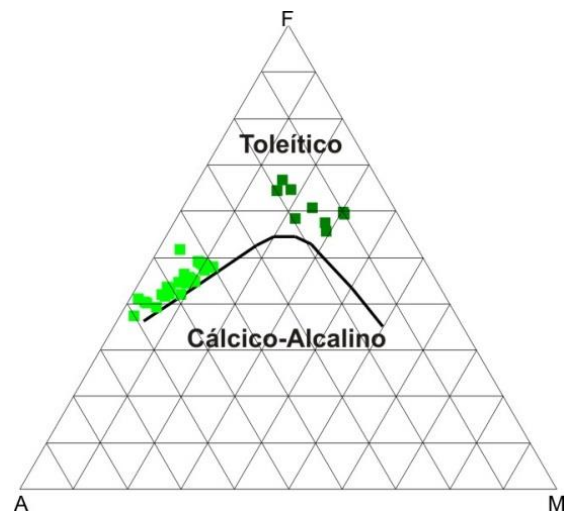


Figura 39 - Diagrama AFM, sendo  $A = (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ ,  $F = (\text{Fe total})$  e  $M = (\text{MgO})$ , das rochas básicas e ácidas da Formação Serra Geral na área de estudo (Irvine & Baragar, 1971). Símbolos: quadrados verde-escuro = rochas básicas; quadrados verde-claro = rochas ácidas.

Tabela 3 - Dados geoquímicos representativos das rochas vulcânicas que ocorrem na área de estudo da Folha Sobradinho.

Nº Lab	JCC-800	JCC-807	JCC-794	JCC-814	JCC-777	JCC-798	JCC-786	JCC-795	JCC-805	JCC-806
Nº Campo	MM085	MM102	MM062	MM120G	MM003A	MM079	MM007B	MM069	MM100	MM101
Rocha	Rochas Básicas Baixo-Ti				Rochas Ácidas do Tipo Palmas					
Subgrupo	Esmeralda		Gramado		Santa Maria		Caxias do Sul		Jacuí	
SiO <sub>2</sub>	50,88	51,73	55,13	54,04	69,69	68,74	66,03	67,29	65,33	65,32
TiO <sub>2</sub>	2,25	1,11	1,59	1,35	0,63	0,66	0,93	0,93	1,07	1,06
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,87	13,8	13,16	13,82	12,68	12,13	12,5	12,73	12,67	12,67
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,11	12,12	13,59	12,62	5,47	5,11	6,46	6,32	7,3	7,38
MnO	0,23	0,19	0,18	0,19	0,09	0,06	0,1	0,22	0,1	0,1
MgO	4,21	6,19	3,15	4,53	0,45	0,91	1,47	0,82	1,47	1,2
CaO	8,1	9,97	6,34	7,9	2,1	1,4	2,7	2,71	3,5	3,18
Na <sub>2</sub> O	2,48	1,87	2,67	2,41	2,81	2,28	2,77	2,89	3,11	3,02
K <sub>2</sub> O	1,9	0,47	2,24	1,81	4,53	5,4	4,48	4,13	3,65	3,72
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,28	0,12	0,2	0,19	0,19	0,15	0,25	0,26	0,3	0,31
LOI	1,4	2,2	1,5	0,9	1,2	3	2,1	1,5	1,3	1,9
Sum	99,7	99,74	99,76	99,75	99,84	99,8	99,79	99,78	99,82	99,84
As	0,6	0,9	1	1,2	2,5	2,3	0,7	1,3	1,4	0,8
Ba	414	235	400	415	650	658	627	840	541	524
Be	1	0,5	1	1	3	4	3	2	2	2
Bi	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,1	0,2	0,1	0,3	0,2
Ce	55	29,3	57,8	52	93,6	86,4	85	107,6	80,3	74,7
Co	40,1	43,7	41	38,5	5,2	5,7	14,4	14,4	14,1	11,9
Cs	2,1	1,5	2,5	1,3	10,4	8,6	7,6	7,8	7,3	6,3
Cu	249,2	98,3	66,4	85,8	14,2	15	40,1	47,2	61,3	55,7
Dy	7,14	4,05	6,39	5,4	9,01	7,73	8,27	11,54	6,97	6,54
Er	4,46	2,33	3,79	3,16	5,06	4,52	5,08	5,89	4,02	3,88
Eu	2,06	1,1	1,68	1,46	1,77	1,45	1,7	3,49	1,67	1,59
Ga	19,4	16,9	21,4	18,9	17,4	18,3	18,5	17,7	18,2	18,2
Gd	7,34	3,8	6,57	5,45	8,95	7,8	8,59	13,33	7,49	7
Hf	5,3	2,5	4,9	4,7	8,4	8,2	7,5	6,4	7	6,5
La	25,3	13,8	27,4	24,5	45,1	42	42,3	61,7	38	35,8
Lu	0,61	0,33	0,53	0,44	0,74	0,63	0,64	0,78	0,56	0,51
Mo	0,5	0,3	0,5	0,4	0,7	0,8	0,4	0,5	0,6	0,5
Nb	14,5	6,5	12,6	11,4	22,3	23,6	20	18,9	19,9	19
Nd	29,3	16,4	29,3	26,3	43,8	40,5	40,1	78,5	40	36,7
Ni	18,3	8,6	6,2	11,3	2,5	1,4	3,4	3,8	2,3	2,1
Ni	44	55	10	34	10	10	10	10	10	10
Pb	0,9	3,9	2,2	2	3,3	3	2,2	2,1	2,4	2
Pr	7,02	3,86	7,28	6,5	11,49	10,5	10,47	20,13	9,77	9,22
Rb	56,9	19,9	87,2	56,5	206	234,5	191,1	179,7	146,2	141,6
Sb	0,05	0,05	0,05	0,05	0,2	0,1	0,05	0,05	0,05	0,05
Sc	41	42	34	35	14	16	17	17	18	18
Sm	6,64	3,69	6,44	5,45	9,04	8,46	8,6	16,3	7,7	7,27
Sn	2	1	2	1	7	7	6	5	5	5
Sr	246,2	240,8	202,6	219,3	113,6	100	141,3	152,1	164	153,6
Ta	1	0,4	0,9	0,7	2	1,7	1,7	1,6	1,7	1,6
Tb	1,24	0,69	1,1	0,94	1,5	1,34	1,43	2,15	1,24	1,17
Th	3,4	3,6	8	6	18,5	15,7	15,6	14,6	13,1	12,5
Tl	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	1,9	0,05	0,05
Tm	0,64	0,37	0,56	0,49	0,8	0,7	0,73	0,89	0,6	0,57
U	1	0,8	1,9	1,1	5,1	4,5	4,8	4,3	3,6	3,1
V	420	351	387	335	24	29	91	94	110	107
W	0,25	0,25	1,5	0,25	1,7	2	0,7	0,9	1,1	0,9
Y	37,2	22,4	34,2	29,5	46,4	44,3	51	53,4	40,3	37,6
Yb	4,1	2,14	3,42	2,94	4,91	4,24	4,16	5,66	3,79	3,44
Zn	80	25	61	31	47	64	47	60	44	54
Zr	182,8	92,3	172,6	160,3	272,1	309,6	238,3	227,8	234,4	225,3

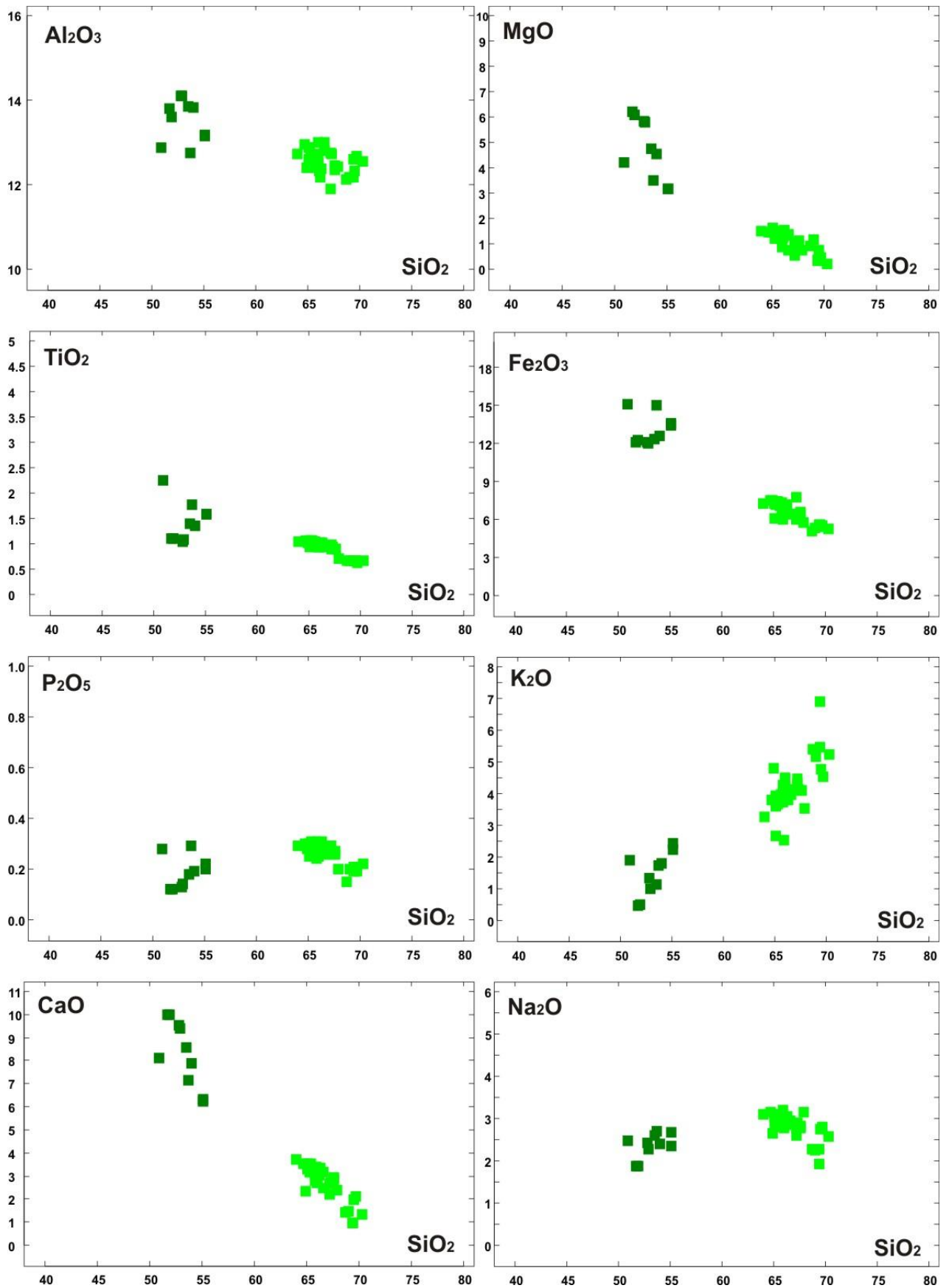


Figura 40 - Diagramas Harker de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, FeO e MgO x SiO<sub>2</sub> wt% para as análises de rocha total das rochas vulcânicas que ocorrem na área mapeada. Símbolos: quadrados verde-escuro = rochas básicas; quadrados verde-claro = rochas ácidas.

### 4.3 ROCHAS BÁSICAS

Uma subdivisão mais detalhada das rochas básicas da Formação Serra Geral foi proposta por Peate *et al.* (1992), como já citado anteriormente, onde foram utilizadas como critérios para a classifica-

ção, além das concentrações de  $TiO_2$  %, teores de Sr, Ba e Zr e razões  $Ti/Zr$ ,  $Ti/Y$ ,  $Zr/Y$ ,  $Sr/Y$ ,  $Ba/Y$ .

Esta proposta classifica as rochas basálticas da Formação Serra Geral em seis magmas distintos (Tabela 4): baixo-Ti (Gramado, Esmeralda e Ribeira) e alto-Ti (Urubici, Pitanga e Paranapanema).

Tabela 4 - Composição média dos magmas basálticos da Bacia do Paraná (compilado de Peate *et al.*, 1992).

Grupo	Alto - Ti			Baixo - Ti		
Magma-tipo	Urubici	Pitanga	Paranapanema	Ribeira	Esmeralda	Gramado
Subprovincia	Sul	Norte	Norte	Norte	Sul	Sul
SiO <sub>2</sub> (%)	> 49	> 47	48 - 53	49 - 52	48 - 55	29 - 60
TiO <sub>2</sub> (%)	> 3,3	> 2,8	1,7 - 3,2	1,5 - 2,3	1,1 - 2,3	0,7 - 2,0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	> 0,45	> 0,35	0,2 - 0,8	0,15 - 0,50	0,1 - 0,35	0,05 - 0,40
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (t) (%)	< 14,5	12,5 - 18	12,5 - 17	dez/16	dez/17	set/16
Sr (μg/g)	> 550	> 350	200 - 450	200 - 375	< 250	140 - 400
Ba (μg/g)	> 500	> 200	200 - 650	200 - 600	90 - 400	100 - 700
Zr (μg/g)	> 250	> 200	120 - 250	100 - 200	65 - 210	65 - 275
Ti/Zr	> 57	> 60	> 65	> 65	> 60	> 70
Ti/Y	> 500	> 350	> 350	> 300	< 330	< 330
Zr/Y	> 6,5	> 5,5	4,0 - 7,0	3,5 - 7,0	2,0 - 5,0	3,5 - 6,5
Sr/Y	> 14	> 8	4,5 - 15	5 - 17	< 9	< 13
Ba/Y	> 14	> 9	5 - 19	6 - 19	< 12	< 19

Na Figura 41, representada pelo diagrama  $TiO_2$  x  $MgO$  wt%, de Peate *et al.* (1997) são exibidas as variações composicionais dos diferentes tipos de basalto da Formação Serra Geral. De acordo com essa classificação, todas as rochas vulcânicas básicas analisadas da área de estudo caem no campo dos magmas tipo baixo-Ti.

Dentro das rochas vulcânicas de baixo-Ti, os magmas tipo Ribeira tem teor de Sr superior aos tipos Gramado e Esmeralda. Na Figura 42, onde é realizado o plot das razões  $Ti/Y$  versus Sr, pode ser observado que as rochas vulcânicas básicas da área de estudo se localizam no campo das lavas do tipo Gramado e Esmeralda. Em quantidades semelhantes de  $MgO$ , as lavas do tipo Esmeralda têm  $TiO_2$  e  $Fe_2O_3$  (total) mais altos e teores de  $SiO_2$  inferiores aos das vulcânicas do tipo Gramado. As razões  $Zr/Y$  são geralmente mais baixas nos magmas do tipo Esmeralda. A razão geoquímica que melhor discrimina os dois magmas do grupo baixo-Ti é representada pela razão  $Ti/Zr$ . Magmas do tipo Esmeralda têm razão  $Ti/Zr > 60$  enquanto os magmas do tipo Gramado apresentam  $Ti/Zr < 60$  (Figura 42).

Da mesma forma, o diagrama discriminatório de Sr x  $TiO_2$  (PEATE *et al.*, 1992; 1997), apresenta os campos com os diferentes tipos de magmas basálticos da Formação Serra Geral (Figura 43), sendo que a plotagem dos resultados das rochas básicas da área

de estudo indicam que essas amostras são compatíveis com magmas do tipo Esmeralda e Gramado.

A Figura 44 mostra um grupo de diagrama binários, do Tipo Harker, de elementos maiores ( $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $K_2O$ ,  $P_2O_5$ ,  $FeO$  e  $MgO$  versus  $SiO_2$  wt %) para as rochas básicas coletadas na Folha Sobradinho. Nestes diagramas observa-se que o conteúdo de sílica das amostras estudadas varia entre 50 a 55 %. Além disso, é possível notar uma correlação positiva entre o conteúdo de  $K_2O$  e  $SiO_2$  e negativa entre o  $MgO$  e o  $SiO_2$ . Através da análise desses diagramas binários é possível identificar dois grupos principais, um enriquecido em  $SiO_2$  que também é enriquecido em  $K_2O$  e empobrecido em  $FeO$  e  $MgO$ , e um outro grupo, empobrecido em  $SiO_2$  e  $K_2O$ , mas enriquecido em  $FeO$  e  $MgO$  em relação ao primeiro grupo. Nota-se também uma discrepância em uma amostra do magma do Tipo Esmeralda.

A Figura 45 apresenta os diagramas de Harker com elementos traços (Y, Zr, Nb, Rb, Sr, Ba, Yb e Th em ppm) versus #Mg. A partir destes diagramas é possível observar que com o aumento do #Mg decrescem Y, Zr, Nb, Rb, Ba, Yb e Th.

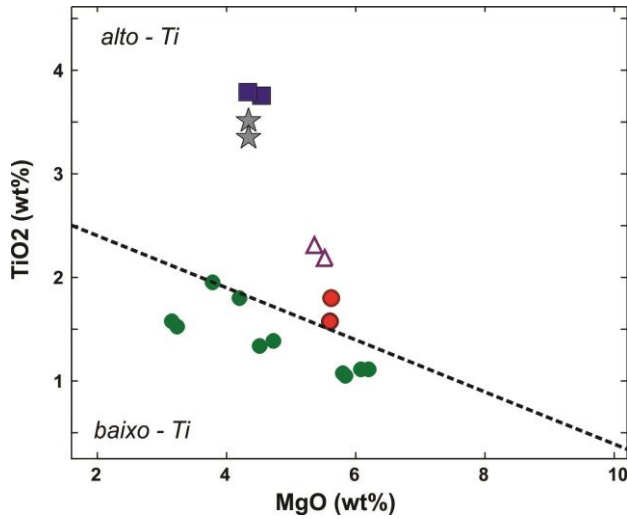


Figura 41 – Diagrama  $MgO \times TiO_2$ , com a variação composicional dos basaltos da Formação Serra Geral. A linha tracejada marca a divisão aproximada entre os basaltos alto-Ti e os basaltos baixo-Ti (Peate, 1997). Os círculos verde-escuros representam as amostras básicas coletadas na área de estudo. As demais análises presentes no gráfico foram compiladas de Peate et al. (1992) e Peate (1997). Os círculos vermelhos representam rochas do magma tipo Ribeira, os triângulos roxos representam as rochas do magma tipo Paranapanema, as estrelas cinza rochas do magma tipo Pitanga e os quadrados azuis as rochas do magma tipo Urubici.

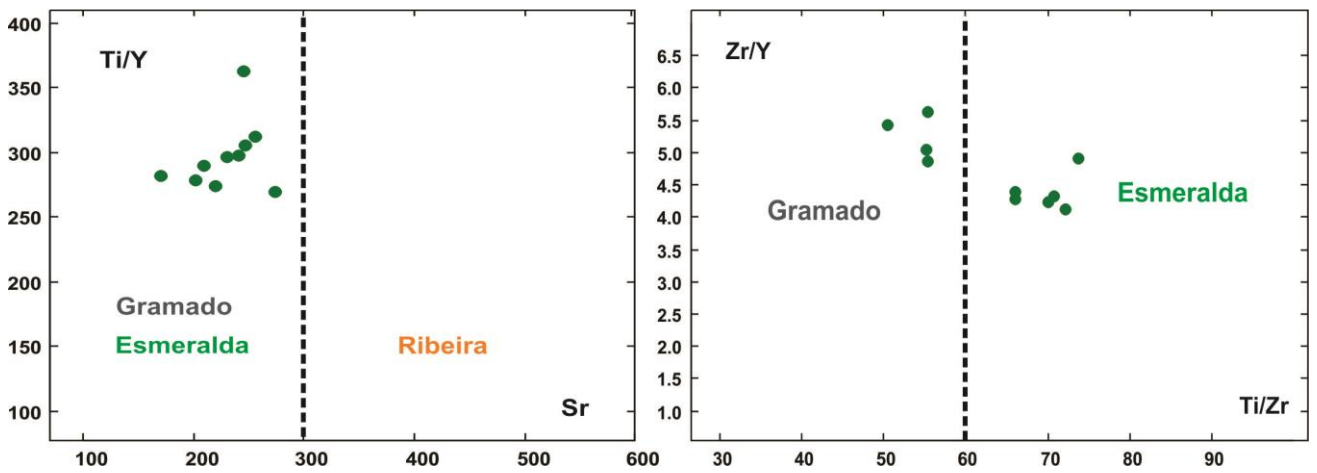


Figura 42 – Diagramas de variação de elementos ilustrando as diferenças entre os três tipos de magmas basálticos de baixo-Ti encontrados na área de estudo. a)  $Ti/Y$  vs  $Sr$  - b)  $Zr/Y$  vs  $Ti/Zr$  (Extraído e modificado de Peate, 1992).

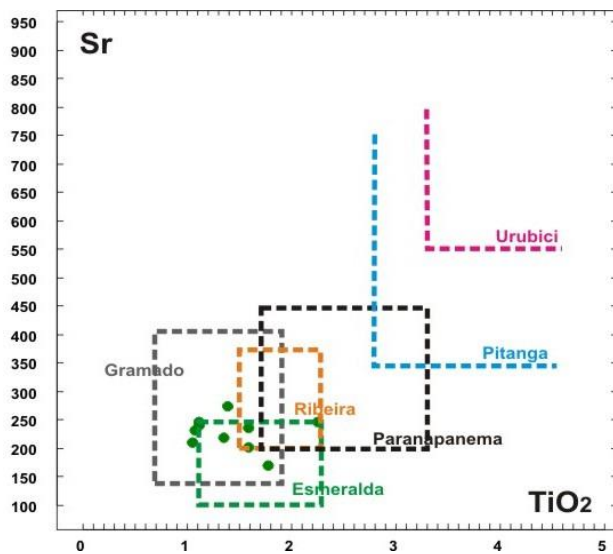


Figura 43 – Diagrama discriminatório  $Sr$  vs  $TiO_2$  para as rochas vulcânicas básicas da Formação Serra Geral na Folha Sobradinho, campos definidos por Peate et al. (1992), Peate (1997). Extraído e modificado do Renner et al, (2008). Os círculos verde-escuros representam as amostras de basalto coletadas na área de estudo.

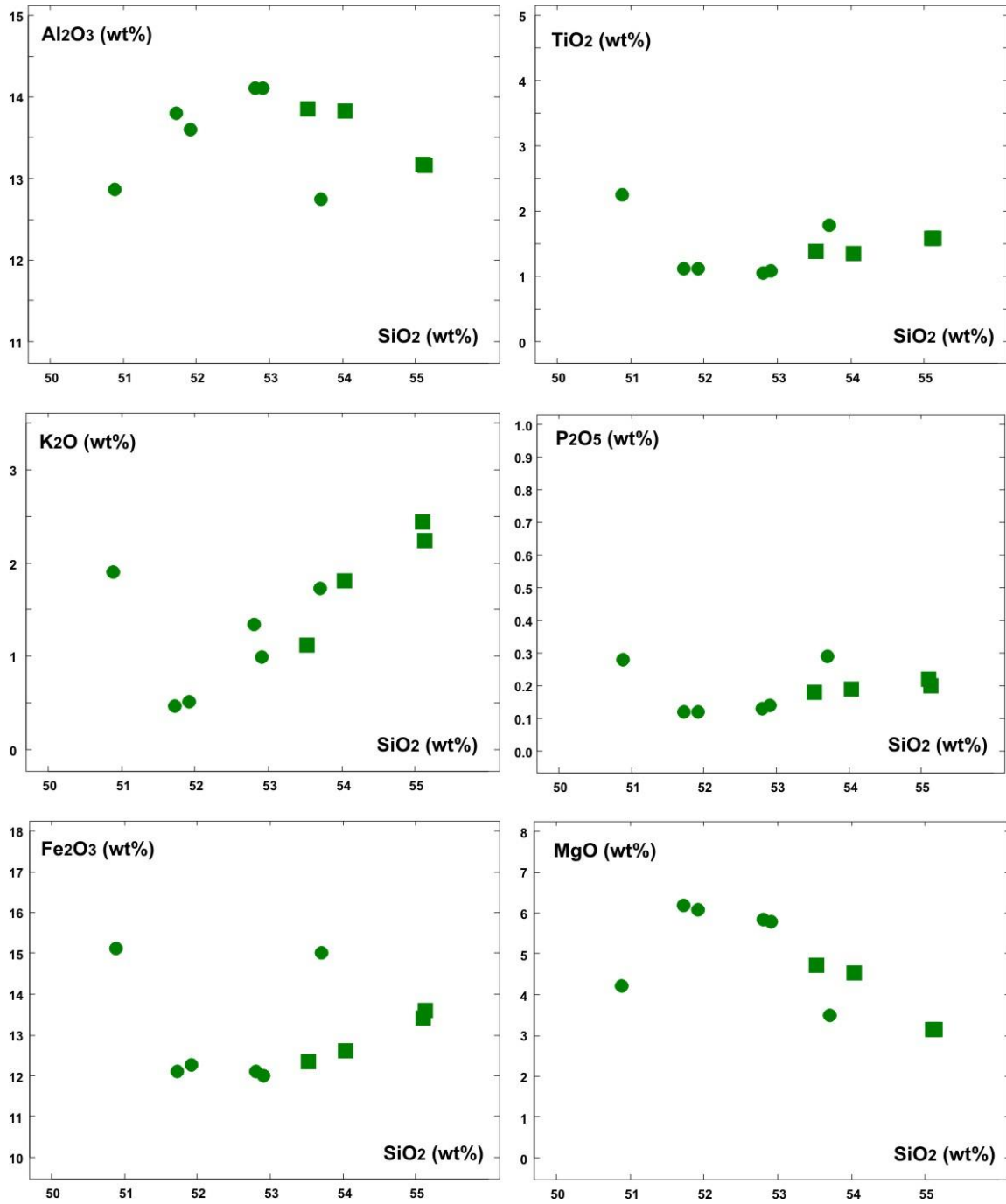


Figura 44 - Diagramas Harker de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, FeO e MgO versus SiO<sub>2</sub> wt% para as rochas básicas da Folha Sobradinho. Os círculos verde-escuro representam os magmas tipo Esmeralda e os quadrados verde-escuro representam os magmas tipo Gramado.

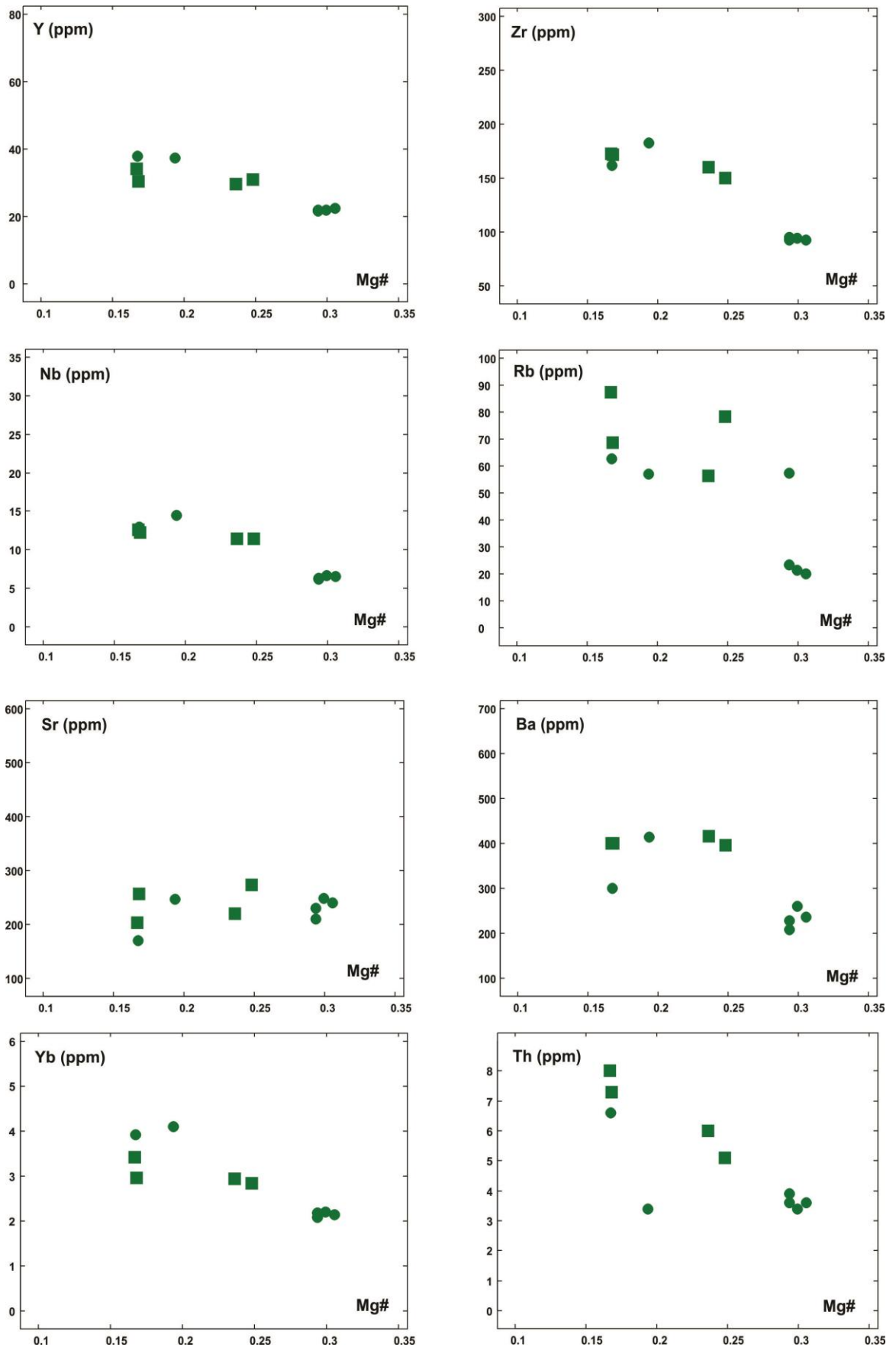


Figura 45 - Diagramas do tipo Harker para elementos traços e terras raras versus Mg#, mostrando a variação desses elementos nos basaltos e andesito-basaltos da área de estudo. Os círculos verde-escuro representam os magmas tipo Esmeralda e os quadrados verde-escuro representam os magmas tipo Gramado.



As rochas básicas colocadas no diagrama multielementar, normalizados pelo manto primitivo de McDonough & Frey (1989) (Figura 46), mostram um padrão inclinado dos elementos compatíveis para os incompatíveis, com anomalias negativas de Ba, Ta, Nb, Sr e positiva de Pb. As rochas do magma do tipo Gramado têm uma anomalia negativa de Ti, enquanto que as do magma tipo Esmeralda mostram uma anomalia negativa de Rb. Os elementos terras raras

(ETR) (Figura 47) mostram uma inclinação dos elementos mais leves para os mais pesados e um leve achatamento nas terras raras pesadas, quando normalizadas pelo manto primitivo de McDonough & Frey (1989). A distinção entre os dois tipos de magma, nas rochas analisadas, se dá por uma anomalia negativa de Eu nas rochas do magma tipo Esmeralda e um teor menor de terras raras nas rochas do magma do tipo Gramado.

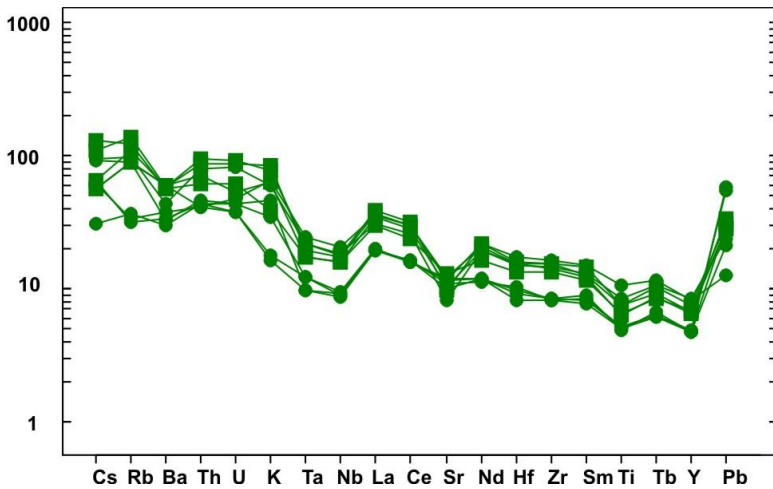
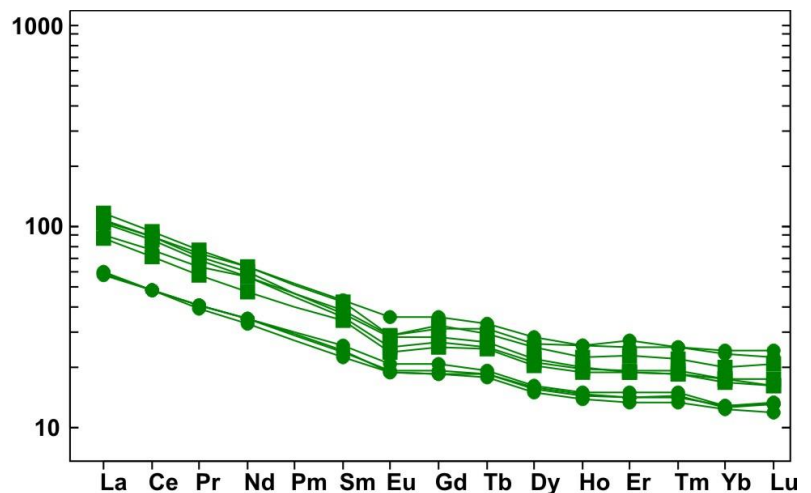


Figura 46 - Diagrama multielementar em ordem crescente de incompatibilidade, normalizados pelo manto primitivo de McDonough & Frey (1989) mostrando a distribuição das rochas básicas coletadas na área da Folha Sobradinho. Os círculos representam as amostras de rochas básicas do tipo Esmeralda e os quadrados do tipo Gramado.

Figura 47 - Padrões de ETR das amostras de basaltos coletadas na área de estudo, divididos em magmas do tipo Esmeralda (círculos verdes) e do tipo Gramado (quadrados verdes), normalizados pelo manto primitivo de McDonough & Frey (1989).



#### 4.4 ROCHAS ÁCIDAS

As primeiras evidências da presença de dois grupos distintos de rochas vulcânicas ácidas na Formação Serra Geral tiveram por base estudos geoquímicos que levaram em consideração o conteúdo de elementos traços incompatíveis, permitindo a individualização das rochas do Tipo Chapecó e Tipo Palmas (MANTOVANI *et al.*, 1985; BELLIENI *et al.*, 1986; PEATE *et al.*, 1992, 1997; GARLAND *et al.*, 1995). As rochas do tipo Palmas, de maneira geral, estão dis-

postas no campo dos riolitos e riolitos, enquanto que as do tipo Chapecó estão no campo dos traquitos (NARDY *et al.*, 2008). A Figura 48 mostra um diagrama binário de álcalis ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) versus  $\text{SiO}_2$  (TAS) de Le Bas *et al.* (1986), onde são plotadas as amostras de rochas vulcânicas ácidas coletadas na Folha Sobradinho. Pelo diagrama, as amostras caem no campo dos riolitos e dacitos, sugerindo que as rochas ácidas, coletadas na Folha Sobradinho, se aproximam quimicamente das do Tipo Palmas.

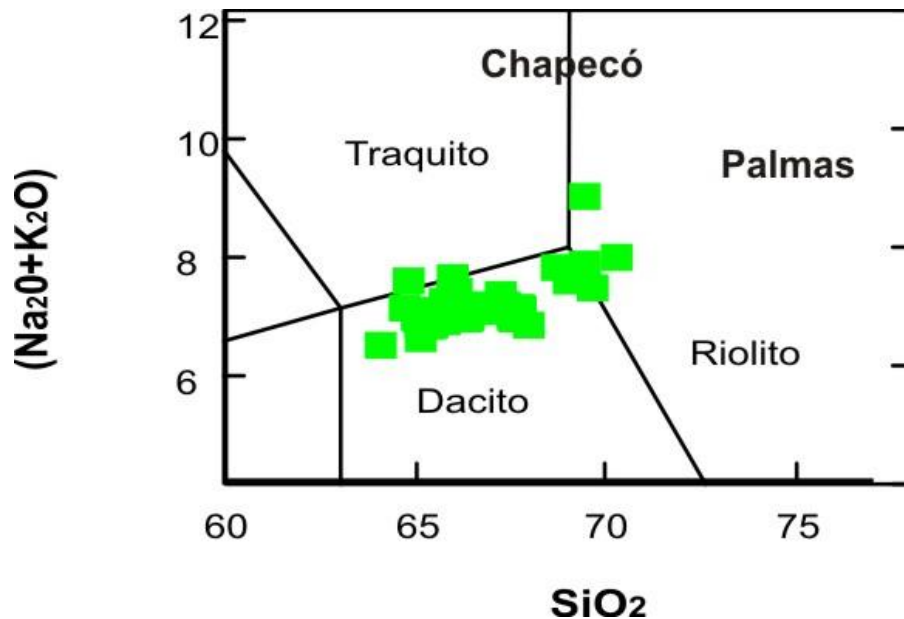


Figura 48 - Diagrama TAS (Le Bas *et al.*, 1986) indica a classificação e nomenclatura das rochas vulcânicas ácidas coletadas na área de estudo. O diagrama, extraído e modificado de Nardy *et al.*, (2008), mostra a separação entre a composição das rochas dos tipos Palmas e Chapecó, considerando os valores de álcalis ( $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ ) versus  $\text{SiO}_2$ .

Genericamente, as rochas do tipo Chapecó tendem a apresentar conteúdos mais baixos de  $\text{SiO}_2$  em relação as do tipo Palmas, com intervalos variando de 63,37% a 68,37% no tipo Chapecó, e de 63,0% a 72,07% nas do tipo Palmas. Por outro lado, as lavas do tipo Chapecó são enriquecidas em  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e empobrecidas em  $\text{CaO}$  e  $\text{MgO}$  relativamente as do tipo Palmas (PEATE *et al.*, 1992; NARDY *et al.*, 2008). Também é observado, para um mesmo intervalo de  $\text{SiO}_2$ , que as rochas do tipo Chapecó contêm maiores concentrações de álcalis (de 7,45 a 8,34%) em comparação com as do tipo Palmas (5,98 a 8,64%) (PEATE *et al.*, 1992). No entanto, a diferença mais marcante está na abundância de determinados elementos incompatíveis: as rochas do tipo Chapecó são mais enriquecidas em Ba, Nb, La, Ce, Zr, P, Nd, Y, Yb, Lu e K e empobrecidas em Rb, Th e U em comparação com as rochas do tipo Palmas. Os resultados geoquímicos mais representativos das

associações de rochas vulcânicas ácidas e seus sub-grupos são exibidos na Tabela 5 conforme dados compilados de Nardy *et al.* (2008).

Tendo como base as variações geoquímicas de elementos maiores, menores, traços e terras raras das rochas vulcânicas ácidas da Formação Serra Geral é possível gerar diagramas binários para diferenciar as rochas dos magmas tipo Palmas e Chapecó (e.g. MANTOVANI *et al.*, 1985; BELLIENI *et al.*, 1986; PEATE *et al.*, 1992, 1997; GARLAND *et al.*, 1995; NARDY *et al.*, 2008). No diagrama  $\text{SiO}_2$  versus Zr de Peate *et al.* (1992), o teor Zr (400 ppm) serve como discriminante entre as ácidas dos tipos Chapecó e Palmas, estando o tipo Chapecó acima da linha discriminante (4.4.2a). Já o diagrama Zr versus Rb (4.4.2b), é usado para separar os sub-grupos dos magmas Palmas e Chapecó pelas diferenças nas razões Rb/Zr (PEATE *et al.*, 1992).

Tabela 5 - Dados geoquímicos representativos de elementos maiores, menores e traços das rochas ácidas da Formação Serra Geral. Classificação em tipos e subgrupos compilado de Mantovani *et al.* (1985); Bellieni *et al.* (1986); Peate *et al.* (1992), (1997); Garland *et al.* (1995); Nardy *et al.* (2008). Dados extraídos de Nardy *et al.* (2008).

Tipo	Palmas										Chapecó		
	Caxias do Sul		Jacuí		Anita Garibaldi		Santa Maria		Clevelândia		Guarapuava	Tamarana	Ourinhos
Sub-grupos	KSE	KPT	KSC	KSJ	KC	KSE	KSU	KSS	HI	HI	HI	KNA	KNO438
Amostra	406	047	203	212	505	361	237	195	083	054	098	128	
SiO <sub>2</sub>	66,44	66,78	65,22	66,33	65,48	66,00	70,46	70,53	68,83	69,78	65,02	64,29	65,64
TiO <sub>2</sub>	0,96	0,97	1,08	1,13	1,11	1,10	0,71	0,70	0,87	0,77	1,54	1,38	1,25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,74	12,92	12,70	12,78	12,96	12,56	12,38	12,24	12,16	12,34	13,14	13,50	13,25
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,15	6,05	7,10	6,93	6,78	6,63	5,22	5,41	5,54	5,49	7,37	7,65	6,92
MnO	0,11	0,09	0,17	0,09	0,08	0,12	0,09	0,08	0,12	0,10	0,10	0,11	0,12
MgO	1,70	1,36	1,41	1,29	1,08	1,32	0,61	0,66	1,11	0,73	1,58	1,26	1,12
CaO	2,93	3,46	3,46	3,13	2,78	3,34	2,20	1,84	1,87	2,15	2,96	3,05	2,61
Na <sub>2</sub> O	2,87	2,81	3,39	3,13	3,64	3,19	2,92	2,83	2,62	2,84	3,43	3,79	3,56
K <sub>2</sub> O	3,89	4,01	3,66	3,97	4,01	4,06	4,74	4,85	4,59	4,88	4,40	4,16	4,53
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,27	0,26	0,30	0,29	0,33	0,32	0,20	0,20	0,22	0,21	0,47	0,41	0,34
Soma	99,98	100,63	99,44	100,09	100,17	99,47	100,09	100,61	99,46	100,29	100,9	100,4	100,2
Cu	75	76	67	61	128	228	18	22	24	22	7	7	16
Ni	8	7	9	7	7	6	3	7	4	4	4	5	6
Ba	706	535	553	538	610	552	613	638	680	652	960	1106	1063
Rb	160	159	155	174	169	154	206	208	197	207	102	110	134
Sr	143	148	155	146	135	142	102	94	92	99	382	391	328
Zr	258	248	270	257	279	280	319	336	331	320	648	595	595
Y	41	40	44	41	63	47	55	58	61	72	66	64	64
Nb	20	20	22	20	22	23	23	25	24	24	50	45	46
U	4,07	5,19	4,04	4,74	3,51	3,91	3,25	4,10	5,40	4,10	1,97	2,32	3,08
Th	11,30	14,90	11,64	12,23	11,53	11,40	12,25	16,77	17,63	17,33	8,79	10,29	13,04
La	35	40,0	35	38	42	37,0	43,2	45,4	44,6	45,2	62,0	62,0	67,4
Ce	76	92	78	79	88	77,0	95,5	97,8	95,8	93,4	140,0	140,3	149,1
Nd	36	44	34	37	46	38,0	42,7	42,8	42,6	43,8	68,4	68,3	68,3
Sm	7	9,3	6,70	7,30	9,4	7,70	8,78	9,61	9,46	9,86	15,30	15,07	14,08
Eu	1,66	1,84	1,53	1,59	2,02	1,72	1,60	1,70	1,72	1,79	3,55	3,35	3,17
Gd	7,30	9,20	6,60	7,10	9,8	7,50	8,78	9,07	9,08	9,94	13,20	13,26	12,34
Dy	6,9	8,8	6,30	6,80	8,3	7,50	8,32	9,09	9,26	10,50	11,50	11,05	10,47
Ho	1,40	1,8	1,40	1,50	1,7	1,50							
Er	4	5,10	3,80	4,30	4,7	4,50	5,25	5,48	5,55	6,38	5,94	5,99	5,65
Yb	3,4	4,80	3,30	3,50	4,5	4,10	4,61	4,98	4,84	5,36	4,83	4,76	4,47
Lu	0,5	0,7	0,50	0,50	0,6	0,60	0,71	0,79	0,75	0,83	0,72	0,66	0,63

As rochas ácidas do tipo Chapecó podem ser divididas em dois grupos principais de rochas, um grupo com concentrações de TiO<sub>2</sub> ≤ 1,29% (subtipo Ourinhos), e outro com TiO<sub>2</sub> ≥ 1,47% (subtipo Guarapuava) (GARLAND *et al.*, 1995). Entre esses dois grupos principais pode ser reconhecido um grupo de rochas ácidas que tendem a assumir razões de

TiO<sub>2</sub>/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> entre 3,5 e 4,5 (Tipo Tamarana) (NARDY *et al.*, 2008).

Os gráficos abaixo (Figura 49) evidenciam que as rochas vulcânicas ácidas, coletadas na área de mapeamento da Folha Sobradinho apresentam composições químicas compatíveis com as rochas do magma do tipo Palmas.

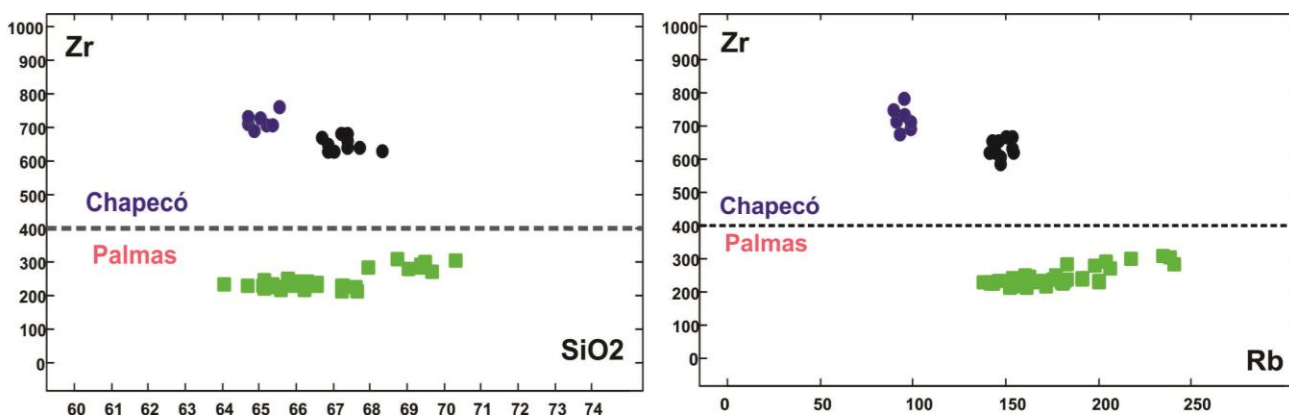


Figura 49 - Diagramas de variação ilustrando os dois grandes grupos de rochas vulcânicas ácidas. A - Zr vs  $\text{SiO}_2$ , e B - Zr vs Rb, onde o conteúdo de Zr de 400 ppm serve como discriminante entre as rochas ácidas do tipo Palmas e tipo Chapecó; (Extraído e modificado de Peate *et al.*, 1992). As amostras do projeto são representadas por quadrados verdes. Os círculos azuis e pretos exemplificam algumas composições dos magmas do tipo Chapecó (Dados extraídos de Peate *et al.* 1992, 1997).

As rochas ácidas do tipo Palmas não são homogêneas quimicamente (BELLIENI *et al.*, 1986; PEATE *et al.*, 1992; GARLAND *et al.*, 1995). São reconhecidos dois grupos principais, um deles com baixo  $\text{TiO}_2$  ( $\text{TiO}_2 \leq 0,87\%$ ), formado por dois subgrupos, o Santa Maria e o Clevelândia, e o outro com alto em titânio ( $\text{TiO}_2 \geq 0,90\%$ ), que é representado por três subgrupos, denominados de Caxias do Sul ( $0,91 < \text{TiO}_2 < 1,03$  e  $0,25 \leq \text{P}_2\text{O}_5 \leq 0,28$ ), Anita Garibaldi ( $1,06 < \text{TiO}_2 < 1,25$  e  $0,32 \leq \text{P}_2\text{O}_5 \leq 0,36$ ) e Jacuí ( $1,05 < \text{TiO}_2 < 1,16$  e  $0,28 \leq \text{P}_2\text{O}_5 \leq 0,31$ ) (NARDY *et al.*, 2008).

O subgrupo Santa Maria caracteriza-se geoquimicamente por apresentar  $\text{TiO}_2$  menor ou igual a 0,87, e por exibir conteúdos de  $\text{P}_2\text{O}_5$  maiores ou iguais a 0,21 wt % (PEATE *et al.*, 1992; NARDY *et al.*, 2008). Este sub-grupo abrange uma área de aproximadamente 12.300  $\text{km}^2$ , e distribui-se de forma praticamente contínua na porção centro-oeste do Estado do Rio Grande do Sul, entre as cidades de Santiago e Soledade, apresentando espessuras variando entre 150 e 450 m (NARDY *et al.*, 2008). O subgrupo Clevelândia que também exibe  $\text{TiO}_2$  menor ou igual a 0,87, e que apresenta conteúdos de  $\text{P}_2\text{O}_5$  variando entre 0,25 e 0,28 wt %, ocorre em um platô de 4.087  $\text{km}^2$ , estendendo-se das proximidades de General Carneiro até Clevelândia ao sul no Estado do Paraná (NARDY *et al.*, 2008).

O subgrupo Caxias do Sul é caracterizado por apresentar conteúdos  $\text{TiO}_2$  variando entre 0,91 e 1,03 (wt%) e  $\text{P}_2\text{O}_5$  entre 0,25 e 0,28 (wt %) (NARDY *et al.*, 2008), foi inicialmente reconhecido por Peate *et al.* (1992) ocorrendo em cinco platôs distintos e ocupando uma área de aproximadamente 16.000  $\text{km}^2$ , denominados de Serra da Farofa e São Joaquim em

Santa Catarina, e Bento Gonçalves, Antônio Prado e Nova Prata no Rio Grande do Sul, (NARDY *et al.*, 2008).

O subgrupo Anita Garibaldi foi individualizado por Garland *et al.* (1995) e caracteriza-se por apresentar valores de  $\text{TiO}_2$  variando entre 1,06 e 1,25 (wt %) e  $\text{P}_2\text{O}_5$  entre 0,32 e 0,36 (wt %). Este subgrupo recobre uma área de 4.486  $\text{km}^2$ , sendo representado por cinco platôs distintos, distribuídos pelos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (NARDY *et al.*, 2008).

O subgrupo Jacuí apresenta teores de  $\text{TiO}_2$  variando entre 1,05 e 1,16 (wt %) e  $\text{P}_2\text{O}_5$  entre 0,28 e 0,31 (wt%), e ocorre em regiões distintas do Rio Grande do Sul cobrindo uma área de 3.451  $\text{km}^2$  (NARDY *et al.*, 2008).

Analisando os diagramas de Harker de elementos maiores versus  $\text{SiO}_2$  (Figura 50), é possível observar a ocorrência de dois grupos maiores com correlação negativa com  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ , MgO, CaO e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , levemente negativa com o  $\text{Na}_2\text{O}$ , positiva com o  $\text{K}_2\text{O}$  e sem uma tendência com o  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Um dos grupos apresenta menor teor de sílica, alto  $\text{TiO}_2$ , e enriquecido em  $\text{P}_2\text{O}_5$ , MgO, CaO e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  com relação ao outro grupo de amostras.

As subdivisões dos magmas ácidos do tipo Palmas, representados pelos subgrupos Santa Maria, Clevelândia, Caxias do Sul, Anita Garibaldi e Jacuí (NARDY *et al.*, 2008), como citado anteriormente, apresentam diferenças composicionais entre si. Para delimitar e identificar estes cinco subgrupos, Nardy *et al.* (2008) gerou o diagrama  $\text{P}_2\text{O}_5$  versus  $\text{TiO}_2$ , que exibe o comportamento das duas principais variáveis composicionais. A Figura 51, apresenta este diagrama, onde são exibidos os subgrupos do tipo Palmas

que ocorrem na área mapeada, além de exemplos dos outros subgrupos, que foram extraídos da bibliografia.

Neste diagrama são ressaltadas duas amostras (JCF-524 e JCF-525), coletadas no Garimpo Billig, com o objetivo de caracterizar as rochas portadoras de ágata que ocorrem na Folha Sobradinho. Também foram plotadas as amostras analisadas por Heemann (1997, 2005). Estes dois conjuntos de amostras representam o mesmo nível mineralizado, e mostraram-se coerentes nos resultados (Figura 51), sendo as mesmas classificadas como dacitos pertencentes ao magma do Tipo Palma e subgrupo Caxias do Sul.

Na Figura 52 são apresentados diagramas Harker dos óxidos de  $TiO_2$ ,  $P_2O_5$  e elementos Cu e Zr versus  $SiO_2$ , que exibem a variação composicional desses elementos nas rochas vulcânicas ácidas dos diferentes subgrupos: Santa Maria, Caxias e Jacuí, indicando que eles definem *trends* individuais distintos. A ocorrência de *trends* distintos para cada subgrupo analisado, que também é observado através do diagrama binário entre o Zr e o Rb (Figura 53), foi usado por Nardy *et al.* (2008) para sugerir que as diferenças geoquímicas observadas entre os subgrupos do magmatismo ácido do tipo Palmas não estão, provavelmente, relacionados a graus de evoluções distintas de um mesmo magma parental, mas a diferentes níveis de contaminação crustal.

Considerando as composições químicas de cada um dos subgrupos do magma do tipo Palma que ocorrem na área de estudo, representadas no diagrama de concentrações de elementos traços em relação ao manto primordial de Sun & McDonough (1989) (Figura 54), pode-se observar que as amostras apresentam um mesmo padrão de distribuição, com fortes anomalias negativas de Ba, Ta, Nb, Sr e Ti, e positiva de K. Também observa-se que o subgrupo Santa Maria apresenta conteúdo mais baixo de Ti e Sr e é o que possui maior concentração de elementos traços incompatíveis, como Th, U e K e elementos

terras raras. Por outro lado, os subgrupos Caxias do Sul e Jacuí apresentam uma maior relação La/Lu (6,99), que o sub-grupo Santa Maria (5,88). Os diagramas de elementos terras raras (Figura 55), de maneira geral, são bem homogêneos, com padrão inclinado e achatamento dos elementos terras raras pesadas.

#### 4.5 CONCLUSÕES DOS RESULTADOS DE LITOGEOQUÍMICA

Cabe ressaltar, que as amostras analisadas não representam a totalidade das litologias presentes na Folha Sobradinho, sendo que a amostragem litogeoquímica da área mapeada caracterizou somente uma porção das unidades vulcânicas da Formação Serra Geral presentes na folha.

Dentro deste enfoque, os dados litogeoquímicos das amostras coletadas na Folha Sobradinho não distoam do comportamento geoquímico das litologias presentes na Formação Serra Geral, que ocorrem predominantemente na porção sul da Bacia do Paraná.

As rochas básicas analisadas são basaltos e basaltos andesíticos de caráter toleítico baixo-Ti, correspondentes aos magmas tipo Gramado e Esmeralda.

Com relação as rochas félsicas, classificadas como dacitos e riolitos do tipo Palmas, coexistem as rochas ácidas baixo- $TiO_2$ , correspondente ao subgrupo Santa Maria, e as rochas ácidas alto- $TiO_2$  representadas pelos subgrupos Caxias do Sul e Jacuí, com predominância das litologias do subgrupo Caxias do Sul, que corresponde ao nível ácido mineralizado com ágatas no Distrito Mineiro de Salto do Jacuí.

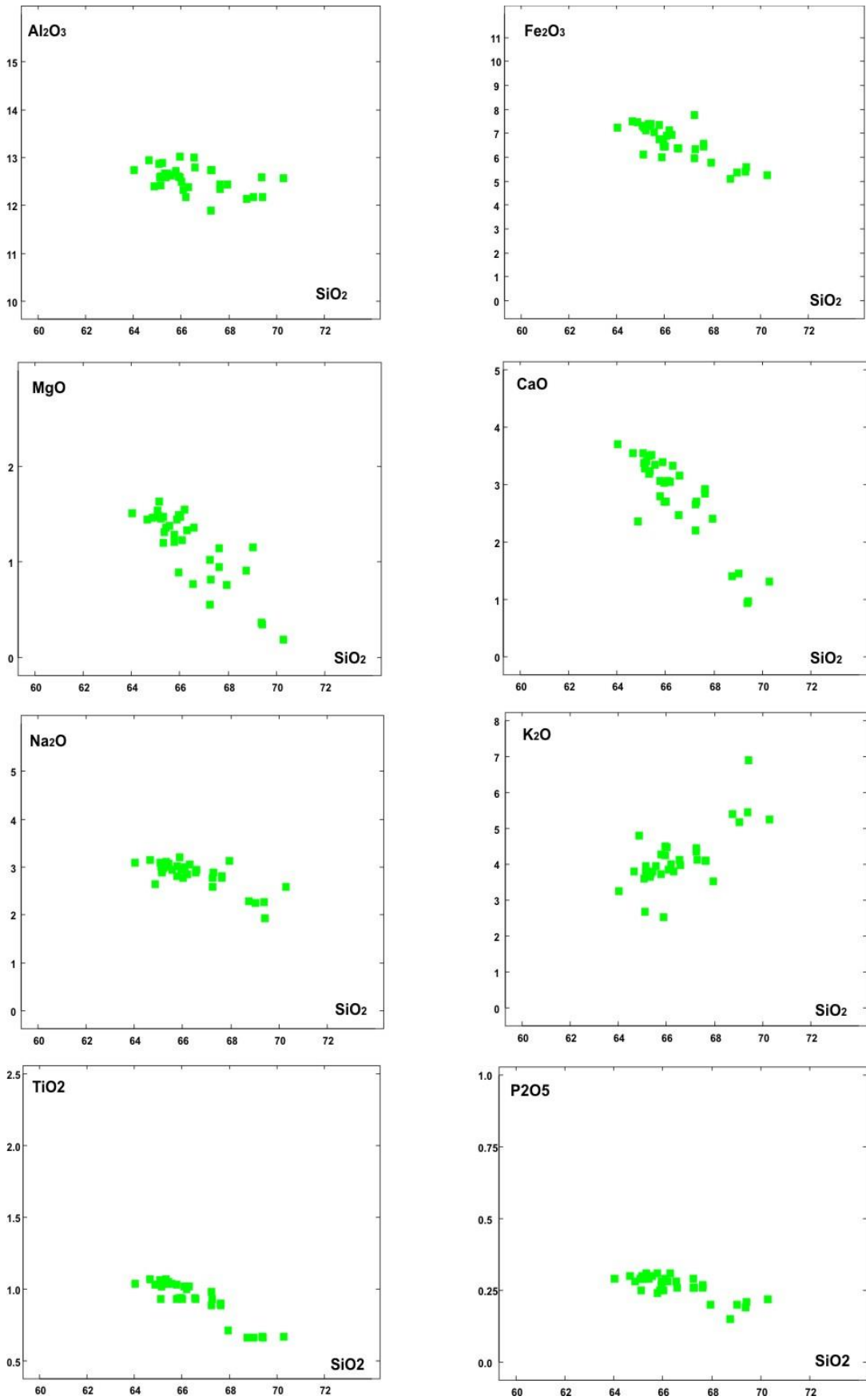


Figura 50 - Diagramas Harker de elementos maiores em porcentagem, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, FeO e MgO versus SiO<sub>2</sub> mostrando a variação composicional das amostras de rochas vulcânicas ácidas da área de mapeamento do Projeto Sobradinho.

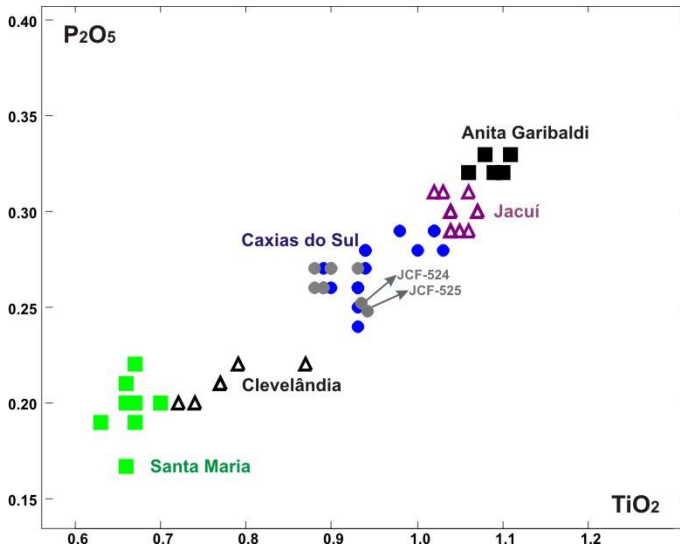


Figura 51 - Diagrama  $P_2O_5$  versus  $TiO_2$  discriminando os diferentes subgrupos de rochas vulcânicas ácidas do magma tipo Palmas que ocorrem na Bacia do Paraná. Legenda: quadrados verdes, círculos azuis e triângulos fúcsia correspondem às rochas vulcânicas ácidas analisadas no presente estudo e que são classificadas como pertencentes ao subgrupo Santa Maria; Caxias do Sul e Jacuí, respectivamente. Os círculos de coloração cinza correspondem as amostras de dacito semi-vítreo inferior de Heeman (1997). Os subgrupos Clevelândia (triângulos pretos) e Anita Garibaldi (quadrados pretos) não ocorrem na área de mapeamento, sendo os dados compilados de Nardy et al. (2008). Diagrama extraído e modificado de Nardy et al. (2008).

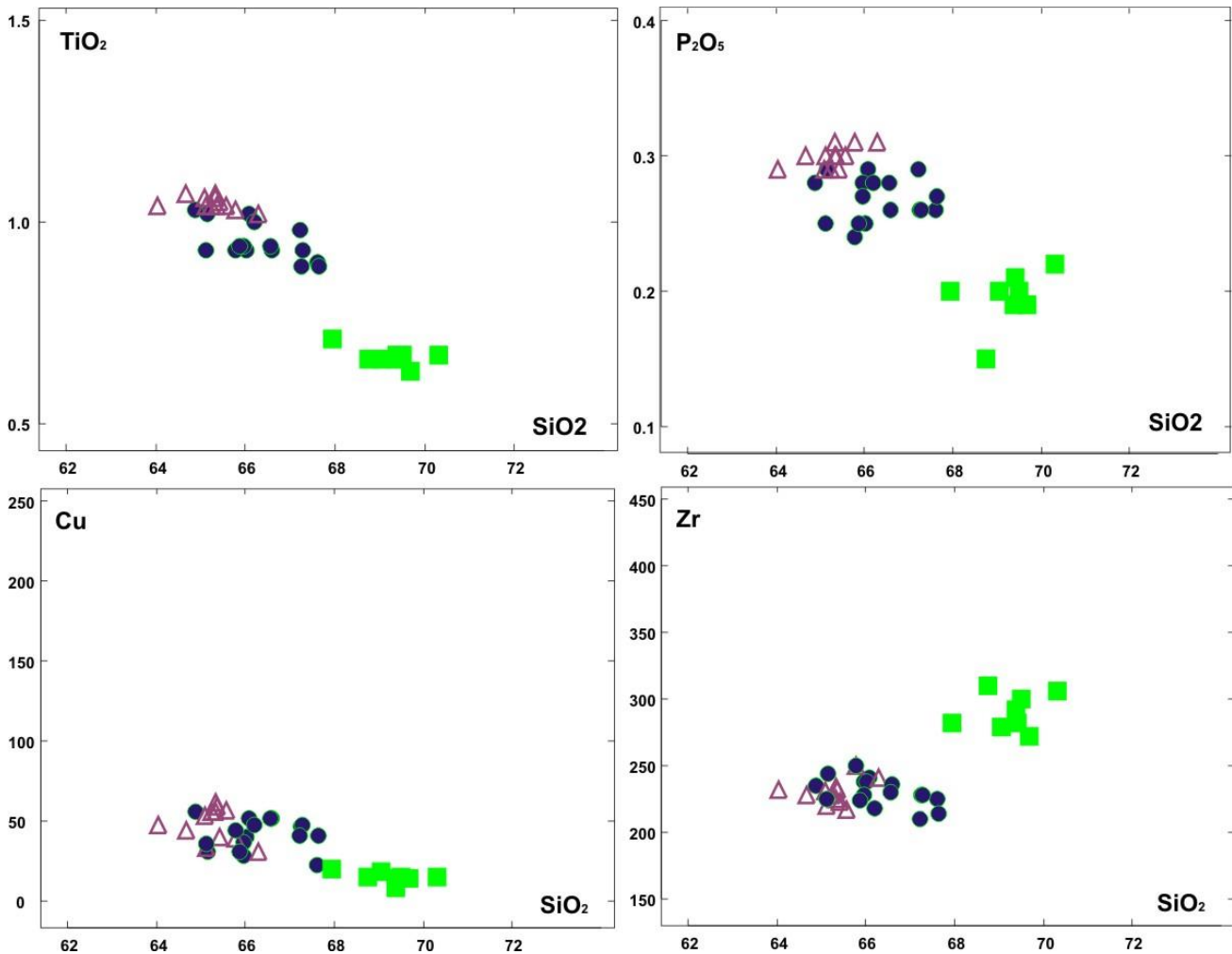


Figura 52 - Diagramas de Harker de elementos maiores,  $TiO_2$ ,  $P_2O_5$  e menores Cu e Zr versus  $SiO_2$  das rochas vulcânicas ácidas encontradas na área do Projeto Sobradinho. Esses diagramas servem para identificar os diferentes subgrupos de rochas do tipo Palmas. Legenda: Santa Maria (quadrados verdes), Caxias do Sul (círculos azuis), Jacuí (triângulos fúcsia).

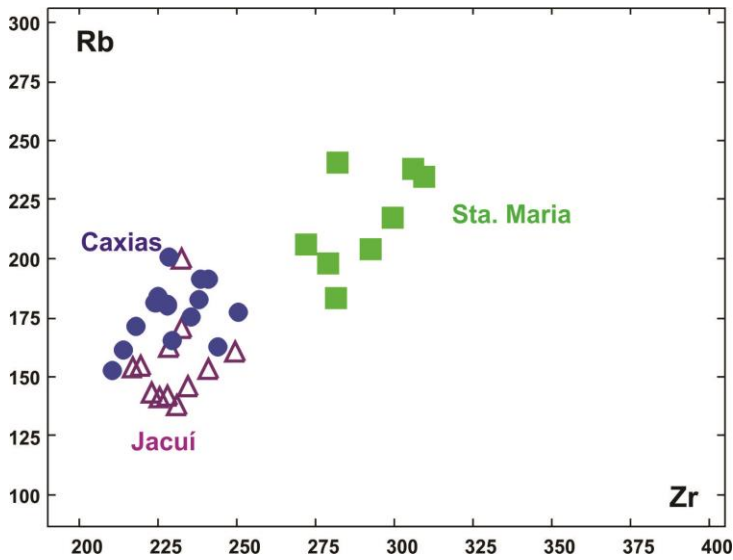


Figura 53 - Diagrama de variação dos elementos incompatíveis Rb versus Sr mostrando a variação composicional dos diferentes subgrupos de rochas ácidas do tipo Palmas amostradas na área de estudo. Legenda: Santa Maria (quadrados verdes), Caxias do Sul (círculos azuis), Jacuí (triângulos fúcsia).

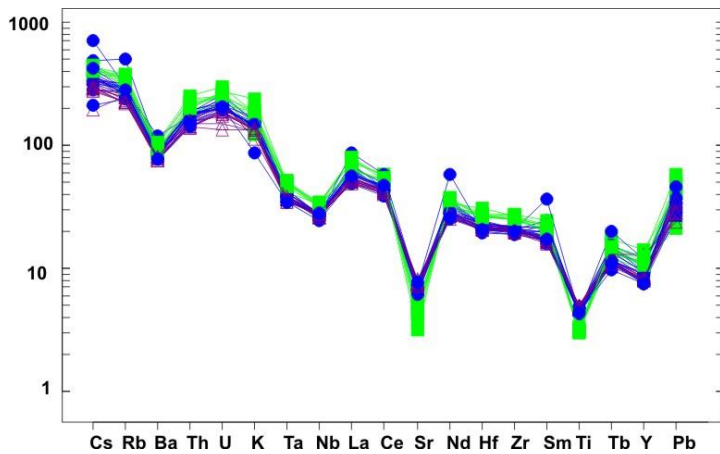


Figura 54 - Diagrama de elementos incompatíveis normalizados ao manto primordial (Sun & McDonough, 1989) das rochas ácidas do magma do tipo Palmas. Legenda: quadrados verdes – subgrupo Santa Maria, círculos azuis – subgrupo Caxias, triângulos fúcsia – subgrupo Jacuí.

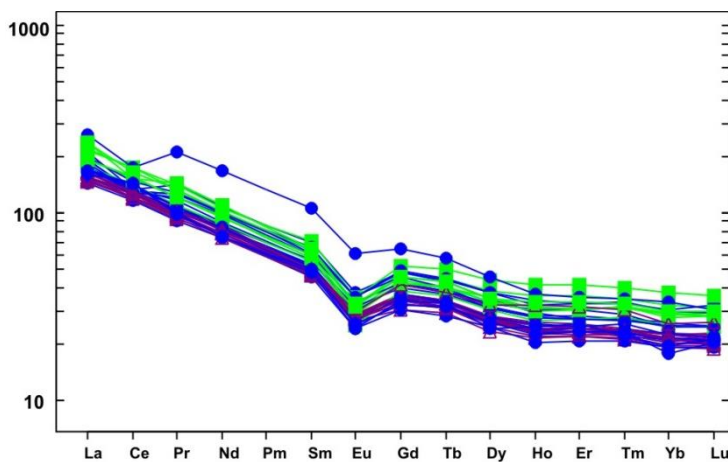


Figura 55 - Diagrama de elementos terras-raras para as rochas ácidas da Folha Sobradinho, normalizado pelo manto primordial (Sun & McDonough, 1989). Legenda: quadrados verdes – subgrupo Santa Maria, círculos azuis – subgrupo Caxias, triângulos fúcsia – subgrupo Jacuí.



## 5 GEOLOGIA ESTRUTURAL

---

As principais estruturas tectônicas observadas na Folha Sobradinho tem sua geração ligada a ambiente intracratônico em níveis crustais rasos. Desta maneira, o regime deformacional é rúptil, com predomínio de estruturas tipo falhas e juntas. O reconhecimento das feições tectônicas da área da folha baseou-se principalmente em análises de imagens de satélite Landsat TM 5/7 e CBERS 2B HRC, em modelos digitais de terreno (MDT), que posteriormente foram checados em trabalhos de campo. Para análise de lineamentos foram utilizados mapas de relevo sombreado com iluminante posicionado a N45oE, sendo as propriedades dos lineamentos (azimute e comprimento) obtidas automaticamente no programa ArcGis 9.3 e os dados tratados no programa RockWorks™ (Figura 56). Os fotolineamentos identificados nas imagens foram reconhecidos segundo sua extensão e orientação, e estas feições integram zonas de falha de centenas de quilômetros de extensão que separam blocos estruturais com implicações estratigráficas e hidrogeológicas (MACHADO, 2005).

A análise estrutural da Folha Sobradinho também contou com dados de perfis construtivos de poços tubulares cadastrados no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas – SIAGAS/CPRM. Os poços analisados foram perfurados pela Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN), e estão instalados em aquíferos fraturados da Formação Serra Geral na região que compreende os rios Jacuí e Jacuizinho na porção sul do município de Estrela Velha. Os dados litológicos desses poços tubulares apresentaram informações importantes com relação aos limites das Formações Botucatu e Serra Geral, sendo que estes contatos muitas vezes se encontram acima das cotas previstas para o limite destas duas unidades. Estas informações também confirmam a existência de blocos estruturais em sequências mesozoicas na região central do Rio Grande do Sul (ROSA, 2005), assim como, níveis de pacotes arenosos interderrames em

rochas vulcânicas básicas (Fácies Gramado) e ácidas (Fácies Caxias), configurando intertraps.

A área mapeada está inserida no “Compartimento Central-Missões”, o qual consiste em um bloco estrutural maior do Rio Grande do Sul, definido por Machado (2005) com objetivo de compartimentar o Aquífero Guarani. Os grandes lineamentos são bastante evidentes sobre as litologias vulcânicas da Formação Serra Geral, devido à sua reologia. Em menor escala, Rosa (2005) definiu vários blocos estruturais em sequências mesozoicas na região central do Rio Grande do Sul. Neste contexto, o bloco Faxinal do Soturno abrange a porção sul da área mapeada, e é delimitado pelo lineamento rio Soturno (N50oW), que se estende pelo rio de mesmo nome até sua confluência com o rio Jacuí, e pelo lineamento Agudo (N50oE), paralelo à margem oeste do rio Jacuí, em segmento que se prolonga até a confluência com o rio Soturno.

A Folha Sobradinho localiza-se na província geomorfológica denominada Planalto Basáltico, que abrange os estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (CARRARO *et al.*, 1974). A região mapeada tem sua fisiografia marcada por topos aplainados com dimensões regionais, como feição característica das formas tabulares dos derrames de rochas vulcânicas ácidas. No caso dos grandes vales da região, onde ocorrem rochas vulcânicas básicas, o tipo de relevo sempre se alterna em vales profundamente dissecados e profundos, ora apresentando uma forma de “V” aberto, ora em “V” estreito, associados a encostas na forma de patamares. Os fatores estruturais condicionam as dimensões dos vales, que são dissecados por lineamentos representados por falhas normais, que geram segmentos retilíneos, corredeiras, saltos e pequenas quedas d’água. Todas essas estruturas constituem locais preferenciais para erosão e geram um relevo escarpado comum na região centro-sul da área mapeada.

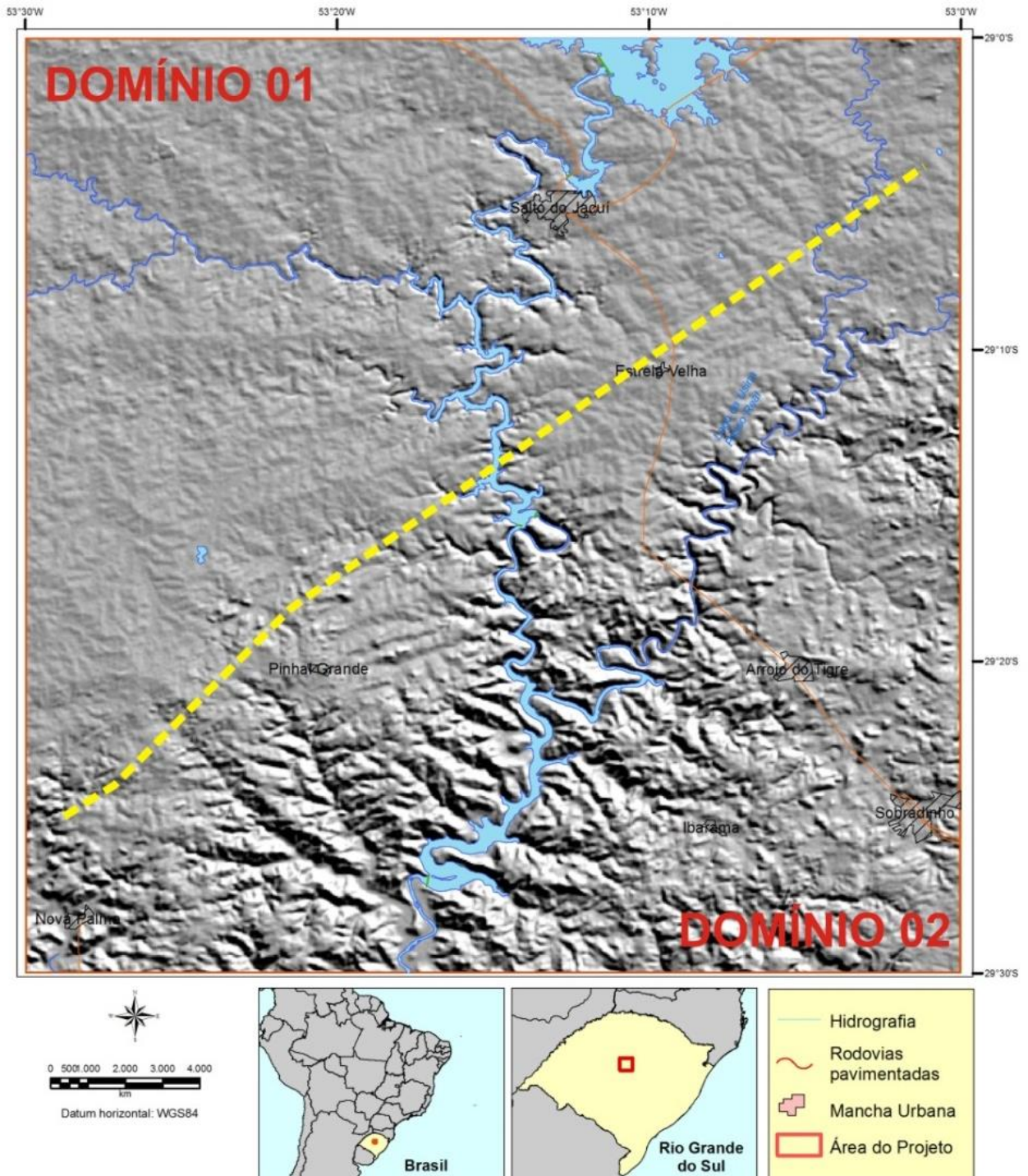


Figura 56 - Mapa de relevo sombreado da Folha Sobradinho, construído a partir de modelos digitais do terreno das cartas topográficas 1:50.000 que compõem a folha.

Os principais cursos d'água da região estão encaixados em estruturas tectônicas, e compõem a bacia hidrográfica do rio Jacuí e seus principais afluentes. Devido às suas características morfológicas (vales escarpados), a bacia possui grande potencial energético, gerando através do Complexo Hidrelétrico Jacuí mais da metade da energia elétrica produzida no RS.

De acordo com os dados apresentados no mapa geológico, os principais lineamentos associados a zonas de falhas de maior expressão tem Az=640 a Az=3000, e incidem em quatro sistemas distintos, de orientação NE e NW, os mais expressivos, e os EW e NS, com expressão local. Os sistemas NE e NW são apresentados pela literatura geológica (SOARES *et al.*, 1982; FÚLFARO *et al.*, 1982) como reativação de estruturas herdadas do embasamento, sendo que o segundo, apresenta nítido comportamento distensivo, e aloja enxames de diques básicos que correspondem a canais alimentadores dos derrames da Formação Serra Geral. Os traços EW são creditados à abertura do Atlântico e poderiam reproduzir padrão de estruturas de placa oceânica, segundo Zalán *et al.* (1990).

No campo, as juntas foram discriminadas das estruturas ígneas, como disjunções colunares e planares, por sua continuidade métrica. As falhas foram identificadas e classificadas por indicadores cinemáticos como lineações do tipo slickenlines. A falta de continuidade lateral entre os afloramentos estudados, a presença de uma extensa cobertura vegetal (lavouras) e a geomorfologia tipo platôs da Formação Serra Geral presente nas porções centro-norte do estado são fatores que configuram dificuldade ao mapeamento estrutural da Folha Sobradinho.

Os planos de falha são geralmente revestidos por fases minerais de percolação hidrotermal, como filmes de sílica, minerais carbonáticos (calcita) e zeolitas. São também encontrados planos de hematita e hidróxidos de ferro que favorecem a preservação de lineações tipo slickenlines (Figura 57).

Os principais afloramentos utilizados na análise estrutural da folha foram descritos nos vales escarpados dos rios Jacuí, Ivai e seus afluentes, rodovias (principalmente a RS-481 entre as cidades de Sobradinho, Arroio do Tigre e Estrela Velha) e nas pedreiras de grande porte da região (Figura 58).

A conformação das estruturas de falha à zona de disjunção colunar são feições comuns na Formação Serra Geral. As faces de juntas colunares são elementos prévios às estruturas tectônicas, e acabam por se constituir em caminho preferencial para a deformação rúptil. Nas principais pedreiras e nos grandes cortes de estrada visitadas na Folha Sobradinho, os planos de falha se destacam como paredes contínuas, por vezes onduladas, enquanto que nos aflo-

ramentos em piso os traços de planos de falha raramente cortam os polígonos de disjunção.

## 5.1 ESTRUTURAS CARTOGRAFADAS E DOMÍNIOS ESTRUTURAIS

A partir da fotointerpretação de imagens de satélite Landsat TM 5/7, CBERS 2B HRC, e modelos digitais de terreno (MDT), foram definidos dois terrenos distintos quanto ao padrão estrutural, representados pelos Domínios 01 (NW) e 02 (SE) (Figura 59). A distinção dá-se em primeiro lugar com base na densidade de lineamentos, que é nitidamente maior no Domínio 02.

Os dois domínios encontram-se delimitados por uma extensa estrutura de falha normal do sistema NE que secciona de forma diagonal a Folha Sobradinho, definindo a SE, um bloco alto com maior incidência de deformação rúptil, e onde estão expostos os terrenos da Fácies Gramado e sequências sedimentares sotopostas, sendo esse conjunto capeado pelos derrames da Fácies Caxias. Na também são apresentados os estereogramas gerados com atitudes de planos coletados em afloramentos, e também as frequências de fotolineamentos nos dois domínios. Os principais alinhamentos verificados nas grandes morfoestruturas da Folha Sobradinho recaem em quatro sistemas distintos de orientações NE-SW e NW-SE, os mais expressivos, e E-W e N-S, com expressão local. Para fins de classificação em sistemas quanto à atitude espacial, as falhas e fraturas cartografadas e medidas foram agrupadas sob as orientações N-S (340°-20° e 160°-200°), NE-SW (21°- 79° e 201°-259°), NW (101° a 160° e 281° a 339°) e E-W (80° a 120° e 260° a 280°).

### 5.1.1 Domínio Estrutural 01

O Domínio 01 foi definido na porção noroeste da Folha Sobradinho, onde estão expostas unicamente rochas da Fácies Caxias e da Formação Tupanciretã, sendo marcante nesta região a menor incidência de deformação rúptil da folha. Como observado no diagrama da Figura 59, nesta porção da folha predominam estruturas do sistema E-W, que dentre os lineamentos cartografados, são as estruturas com maior frequência. São estruturas com continuidade inferior a 10 quilômetros, particularmente concentradas na porção central do domínio, onde encaixam segmentos do rio Jacuí.

O segundo sistema com maior representação no Domínio 01 é o de direção NE, com traços que raramente ultrapassam 3 quilômetros, com frequência interrompidos por estruturas do sistema NW.



Figura 57 – a) Visão geral do afloramento MM-07, a NE do vertedouro da Hidrelétrica Leonel Brizola, e b) detalhe do plano de falha transcorrente orientada com atitude  $260/90^\circ$  (sistema E-W), apresentando estrias de atrito e lineações de crista que indicam movimento dextral. Notar caráter rugoso do plano de falha.



Figura 58 - Aspectos de falhamentos dos vários sistemas rúpteis ocorrentes na Folha Sobradinho. A: Afloramento MM-101, Pedreira na cidade de Salto do Jacuí. Em primeiro e segundo plano, falhas transtensivas do sistema NW ( $300/75$  NE) em planos regulares e lisos, revestidos por óxidos de ferro, que apresentam estrias com inclinação de  $45^\circ$ . Entrando no afloramento: planos de falha do sistema  $50/90$ , igualmente transtensivos, com slickenlines oblíquos. Notar traços da disjunção planar dos dacitos nos planos de falha. B: Planos de falha irregulares de continuidade métrica, representando conjugados de fraturas verticais em provável estrutura em flor do sistema  $90/90$ . C: Plano de fratura irregular no lajeado do Rio Jacuí, à jusante do vertedouro da Usina Leonel Brizola. Sistema EW ou NW ( $285/60^\circ$ ). D: A esquerda da foto, é visto plano de falha transpressiva do sistema EW ( $90/90^\circ$ ), com estrias oblíquas a  $45^\circ$ . No lado direito, ocorre corredor de falhas transcorrentes do sistema NW ( $320/90^\circ$ ) com espaçamento decimétrico a centimétrico (MM-03/Pedreira próxima à cidade de Sobradinho). E: Escarpas no arroio Ferreira, materializando os planos de falhas do sistema N-S.

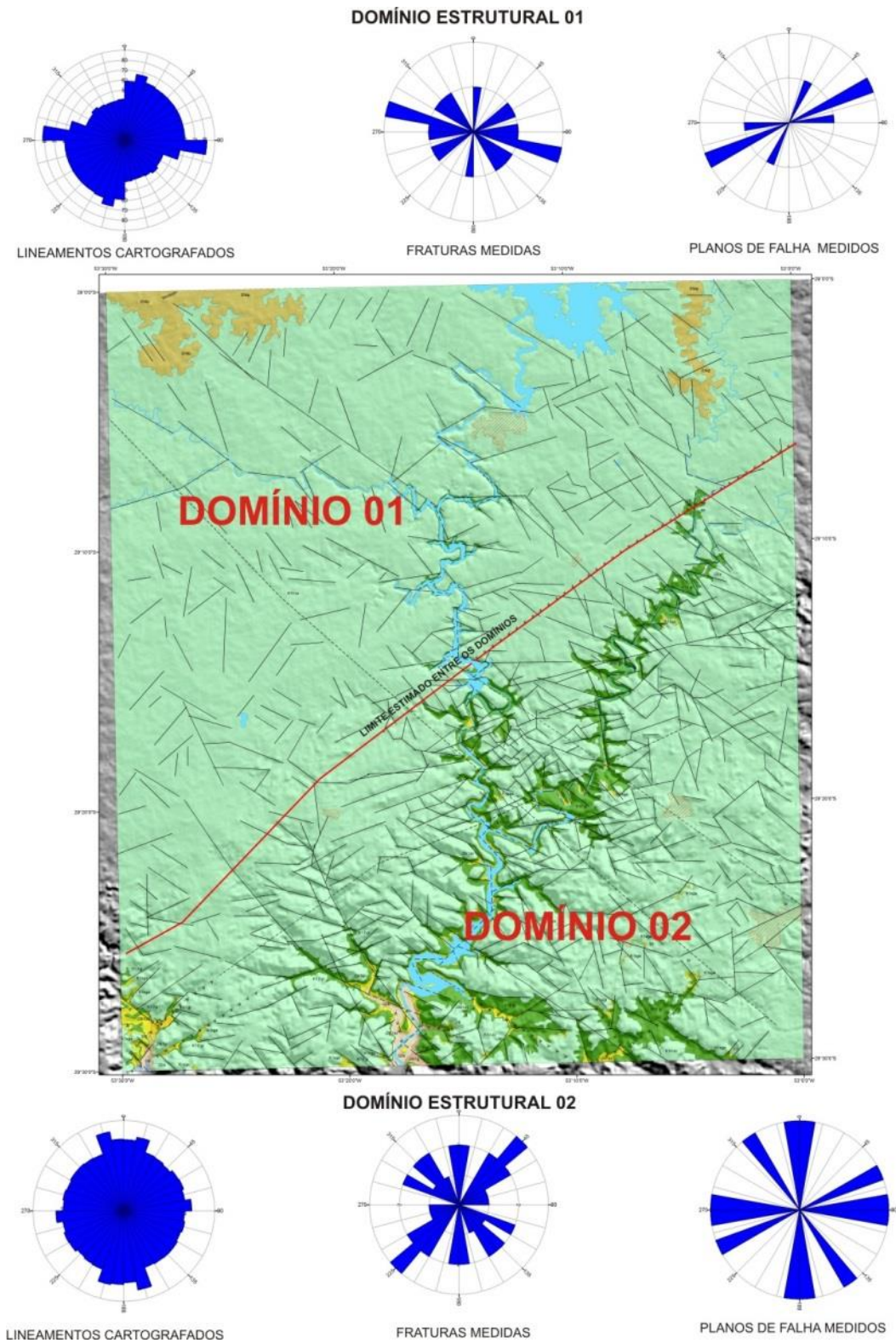


Figura 59 - Distribuição dos domínios estruturais da Folha Sobradinho com estereogramas de falhas, fraturas e foto-lineamentos interpretados.

Já as falhas e fraturas do sistema NW, apresentam para algumas das estruturas, traços retilíneos e contínuos por até dezenas de quilômetros, embora geralmente não ultrapassem poucos quilômetros.

Ocorrem ainda no Domínio 01, algumas falhas e fraturas orientadas em torno de N-S. Diques de arenito na forma de injetitos controlados pelos sistemas N-S e E-W constituem-se em guias prospectivos para mineralizações de ágata e opala em dacitos vítreos, que se encontram expostos em garimpos na região de Salto do Jacuí, na porção norte da folha (HEEMANN, 2005). Estes diques indicam comportamento distensivo para estes sistemas, ao menos a nível local.

Dentre os planos medidos em afloramentos, destacam-se fraturas e falhas conjugadas dos sistemas E-W, além de planos NE e NW.

Por fim, a ocorrência de falhas com orientação NW e NE, e ainda de estruturas N-S e E-W subordinadas, todas com traços contínuos nos terrenos onde está exposta a Formação Tupanciretã, indica que estes sistemas foram reativados no Cenozoico.

### 5.1.2 Domínio Estrutural 02

O Domínio 02, na metade sudeste da folha, destaca-se pela alta densidade de traços rúpteis, e por se constituir em bloco alto de uma extensa zona de falha de caráter regional orientada a N45E, onde por entalhe erosivo estão expostas camadas das formações Guará e Botucatu.

Ao sul do domínio 02, pode se observar uma estruturação marcante em blocos altos e baixos de falhas distensiva dos sistemas NE e NW. Estas estruturas permitem a exposição em blocos alçados das camadas sedimentares mais antigas da coluna estratigráfica local, e são ilustradas no perfil A-A' do Mapa geológico. Os rejeitos verticais constatados nestas estruturas são da ordem de centenas de metros, e as

falhas NE responsáveis por estes deslocamentos verticais podem exibir traços contínuos por dezenas de quilômetros.

As estruturas rúpteis cartografadas com maior frequência neste domínio são aquelas do sistema N-S, que encaixam a calha do Rio Jacuí configurando um padrão de drenagem em baioneta pelas interseções com estruturas dos E-W e NW que capturam segmentos do rio. As falhas e fraturas N-S têm traços de pequena continuidade, não ultrapassam quatro quilômetros, e deslocam ou interrompem ao longo de seus planos as estruturas NE e E-W.

As falhas e fraturas orientadas à NW constituem as estruturas com maior continuidade na Folha Sobradinho, com traços da ordem de até 20 quilômetros, que podem se apresentar curvos, como as fraturas que encaixam o rio Canhemboré, localizado no vale do rio Jacuí na porção sul da folha. As fraturas de menor continuidade deste sistema mostram-se fortemente condicionadas pelo sistema NE, gerando um padrão intrincado de blocos tectônicos.

Quanto aos planos medidos em campo destacam-se planos de falha e fraturas do sistema N-S, atestando a exposição privilegiada que as mesmas apresentam nos afloramentos propícios à análise estrutural, como aqueles situados nos vales dos rios Jacuí e seus afluentes (Figura 60). Ainda, a frequência das medidas de atitudes em afloramentos no Domínio 02, reflete a alta incidência de planos de fratura conjugados dos sistemas NW e NE, cujos traços no terreno concentram-se respectivamente nos azimutes 315° e 45°. Isto reflete o fato, de que em terrenos erodidos da Formação Serra Geral, as grandes estruturas de falha encontram-se usualmente materializadas por vales que encaixam as drenagens, enquanto as estruturas conjugadas apresentam maior grau de preservação.

*Figura 60 - Aspectos de falhamentos do Domínio 02 na Folha Sobradinho. A: Afloramento na barragem da Hidrelétrica de Itaúba. B: Lajeados do arroio do Tigre. Nos cortes em planta é possível visualizar as fraturas cortando os planos de disjunção. C: Corte de estrada entre as cidades de Arroio do Tigre e Estrela Velha. D: Pequenas cascatas no arroio Ferreira encaixadas com disjunções tabulares horizontais e fraturas. Nestes afloramentos verifica-se diferenças entre as estruturas magmáticas e tectônica, no caso, dobras de fluxo relacionado a alta viscosidade das lavas ácidas (foto C) e faturamentos associados a tectônica rúptil (fotos A, B e D).*



## 6 RECURSOS MINERAIS

O principal recurso mineral presente na Folha Sobradinho é a ágata, sendo o Brasil um dos maiores produtores mundiais dessa gema e o Rio Grande do Sul na localidade de Salto do Jacuí, o principal fornecedor desse bem mineral no país. O Distrito Mineiro de Salto do Jacuí – DMSJ (SANTOS *et al.* 1998) localizado ao norte da Folha Sobradinho abrange uma área de aproximadamente 250 km<sup>2</sup>, e responde por 80-90% da produção gaúcha de ágatas (BRANCO ; GIL. 2002).

A exploração de ágata em de Salto do Jacuí teve início nas primeiras décadas do século XX, sendo esta atividade realizada por imigrantes alemães recém-chegados em colônias criadas na região. Em razão das ágatas serem muito apreciadas na Alemanha, mais especificamente na região de Idar-Oberstein, que foi produtora de ágatas, e hoje, conhecida como um importante centro de lapidação de gemas da Europa, as ocorrências de geodos de ágatas roladas em meio às pequenas lavouras, chamou a atenção desses imigrantes que realizavam atividade garimpeira por meio de pequenas escavações manuais.

Dentre as variedades de ágata encontradas no DMSJ, a tipo "Umbu" é largamente exportada por ser a mais valorizada (AGOSTINI *et al.* 1998). Atualmente, em razão de rígidas normas ambientais, poucas lavras restaram legalizadas na região, já que o aumento da atividade garimpeira descontrolada ao longo dos anos 1950 a 1990 nas margens dos rio Jacuí e Iváí, causou enorme passivo ambiental, principalmente nos trechos desses rios que compreendem o DMSJ.

As demais ocorrências de recursos minerais na Folha Sobradinho estão relacionadas às rochas para emprego na construção civil, tais como brita, laje de revestimento e blocos de calçamento. Essas ocorrências são derivadas das rochas da Formação Serra Geral (principalmente a Fácies Caxias/Palmas), e quando as mesmas se encontram alteradas, na forma de rochas desagregada, servem como saibro e/ou rachão

para revestimento de estradas. A maioria das pedreiras e pequenas extrações ativas presentes na Folha Sobradinho estão relacionadas a esses bens minerais, sendo a brita e blocos de calçamento os principais produtos de comercialização.

A relação das lavras visitadas com status de operação e tipo material é apresentada na Tabela 6.

### 6.1 MINERALIZAÇÕES DE ÁGATA

A ágata é um importante recurso mineral no mercado de gemas mundial, e representa uma variedade criptocristalina de quartzo, constituída por um agregado bandado de calcedônia (LANDMESSER, 1998), formado por camadas concêntricas e/ou paralelas de fibras de quartzo (CRUZ *et al.* 1997). A microporosidade na estrutura cristalina da ágata admite seu tingimento por meio de tratamento químico e térmico, que permitem a modificação ou a obtenção de outras cores completamente diferentes das originais, tais como, vermelho, azul, roxo, rosa ou preto (JUCHEM *et al.* 1987).

Os modelos para a gênese das mineralizações de ágata ainda são bastante debatidos, sendo que o modelo de formação das ametistas, que muitas vezes ocorre associada às ágatas, tem sido usado para entendimento do processo de cristalização. As hipóteses adotadas por pesquisadores consideram basicamente duas etapas para a gênese desses tipos de mineralizações. A primeira está relacionada à abertura das cavidades que caracteriza os geodos mineralizados. A formação dessas cavidades ocorreria numa etapa singenética, a partir das desgasificação da lava em temperatura superior a 1.150 °C durante o resfriamento da rocha vulcânica (PROUST & FONTAINE, 2007). Posteriormente, em condições epigenéticas com temperatura variando entre 25 e 65 °C, por meio de fluidos hidrotermais ocorreria a mineralização da ametista e outros minerais associados, como a ágata por exemplo (JUCHEM, 1999; GILG *et al.* 2003; FISCHER, 2004).

Tabela 6 - Relação dos afloramentos visitados classificados como pontos de recursos minerais na Folha Sobradinho.

Ponto	Substância	Status	Situação	Latitude	Longitude
MM-0003	Brita	Mina	Ativo(a)	-29,435235	-53,020202
MM-0008	Brita	Mina	Ativo(a)	-29,012884	-53,298921
MM-0014	Brita	Mina	Paralisado(a)	-29,120348	-53,319173
MM-0020	Brita	Mina	Ativo(a)	-29,238904	-53,178845
MM-0100	Brita	Mina	Ativo(a)	-29,106206	-53,210625
MM-0101	Brita	Mina	Ativo(a)	-29,095321	-53,240907
MM-0103	Brita	Mina	Ativo(a)	-29,438925	-53,086200
MM-0062	Brita	Mina	Paralisado(a)	-29,486842	-53,219443
MM-0074	Ágata	Garimpo	Paralisado(a)	-29,144444	-53,071199
MM-0079	Brita	Mina	Ativo(a)	-29,403261	-53,008495
MM-0121	Ágata	Garimpo	Ativo(a)	-29,145940	-53,077063
MM-0121	Opala	Garimpo	Ativo(a)	-29,145940	-53,077063
MM-0122	Brita	Mina	Ativo(a)	-29,417378	-53,122260
MM-0125	Brita	Mina	Paralisado(a)	-29,096637	-53,250225
MM-0126	Brita	Mina	Paralisado(a)	-29,094601	-53,244479
MM-0127	Ágata	Mina	Ativo(a)	-29,102266	-53,229732
MM-0127	Opala	Mina	Ativo(a)	-29,102266	-53,229732
MM-0073	Ágata	Garimpo	Paralisado(a)	-29,148138	-53,071231

As ágatas da região do DMSJ foram caracterizadas por Michelin *et al.* (2013), que realizaram um estudo das mineralizações do ponto de vista isotópico, químico e petrográfico. Com base no estudo de isótopos de oxigênio, foram verificadas que as temperaturas de cristalização das ágatas variaram em torno de 23 a 65 °C, sendo essas temperaturas relacionadas com vários parâmetros, tais como teor total de sílica, presença de impurezas (como o Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), o teor de água na estrutura e o grau de cristalinidade. Foi verificado também neste estudo, que a variação dos teores de elemento-maiores e traços aliada às diferentes temperaturas de cristalinidade, indicaram variações no processo de mineralização que resultaram em diferentes colorações e estruturas de preenchimentos nos geodos mineralizados do DMSJ. Posteriormente, Michelin (2014) relacionou a origem das mineralizações de ágata do DMSJ com fluidos associados à lixiviação de dacitos por água meteórica em zonas de interação entre lavas e sedimentos. A partir da dissolução da sílica, seriam gerados fluidos mineralizantes que percolariam fraturas e microfraturas em sequências vulcânicas e sedimentares interderrames. A dissolução da matriz vítrea intersticial dos dacitos acarretaria na redistribuição da sílica na forma sequencial de opala, calcedônia e ágata, e posteriormente, cristais de quartzo em cavidades e fraturas de rochas vulcânicas hospedeiras.

Essas mineralizações sempre foram tratadas como “depósitos de geodos em basaltos”, mas trabalhos pioneiros realizados no RS na região de Caxias do Sul (SIRTOLI *et al.*, 2005), e mais recentemente por Hoppe (2012) e Juchem (2014) identificaram importantes mineralizações de ametistas e outras gemas associadas em rochas ácidas da Fácies Caxias. A faciologia dessas rochas hospedeiras é similar às encontradas na região do DMSJ, e corroboram para existência de importantes mineralizações de gemas em fácies ácidas da Formação Serra Geral.

A geração das cavidades que dariam origem aos geodos mineralizados foi tratado de forma inovadora por Duarte *et al.* 2005. Esses autores apresentam um modelo epigenético para a abertura das cavidades, que ocorreria posteriormente à solidificação da rocha vulcânica. A partir de um fluido aquoso (100-150°C) proveniente da Formação Botucatu que durante esse período já assumira condições de aquífero, os fluidos ascenderiam através das fraturas dos derrames ficando confinado em camadas pouco permeáveis de basalto maciço. Em ambiente confinado esses fluidos alterariam as rochas por processos de argilização gerando as cavidades que posteriormente seriam mineralizadas por fluidos hidrotermais com contribuição meteórica em temperaturas estimadas de até 60 °C (DUARTE, 2008). As brechas hidráulicas



geradas por explosão, presentes nas bases dos geodos mineralizados, corroboram essa hipótese.

A carência por estudos de caracterização geoquímica e estrutural dos derrames portadores de ágata na região do DMSJ restringiram o entendimento das camadas mineralizadas, e foram determinantes para que o sistema de lavra fosse desordenado e empírico durante o passar dos anos na região. Novos critérios de prospecção de ágata foram apresentados por Heemann (1997) para o DMSJ, que primeiramente, caracterizou os depósitos de ágata em cinco unidades litológicas principais em escala de garimpo: dacito semi-vítreo vesículo-amigdaloidal inferior, basalto vesículo-amigdaloidal mineralizado com ágata (“tabatinga”), dacito vesicular (“cupim”), dacito semi-vítreo vesículo-amigdaloidal superior e dacito glomeropórfiro superior. Os geodos tanto no nível basáltico, quanto no nível dacítico, ocorrem associados com veios de arenito e de material vítreo, que estão relacionados com níveis de brecha vulcânica constituída por fragmentos de basalto vesículo-amigdaloidal e blocos angulares de arenito. Posteriormente, através de levantamento estrutural e litológico de detalhe, aliado à análise de perfis descritivos de furos de sonda realizados pela Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN) na região do DMSJ, Heemann (2005) propôs um modelamento 3D das mineralizações de ágata que permitiu determinar os limites das unidades vulcânicas mineralizadas e a extensão do corpo com geodos de ágata, que o mesmo chamou de Estrutura Jacuí – EJ. Uma característica importante levantada neste estudo foi a presença de diques areníticos com orientações preferenciais N-S e E-W nos derrames portadores, sendo verificado que as ocorrências de ágatas situavam-se entre lineamentos e diques com essa orientação. O posicionamento topográfico da Estrutura Jacuí entre o intervalo de 200m e 220m também é determinante na ocorrência de geodos de ágata, constituindo juntamente com as características litológicas e estruturais um forte guia prospectivo para o DMSJ. As áreas mais favoráveis para a ocorrência de geodos de ágata ocorrem a sudoeste, sudeste e extremo leste do DMSJ (HEEMANN, 2005).

Partindo dos mesmos estudos, Strieder & Heemann (2006) trataram sobre a gênese das mineralizações. A partir de dados faciológicos das quatro litologias principais, esses autores propuseram que as ágatas do DMSJ teriam se formado a partir da abundante sílica presente nos arenitos da Formação Botucatu, que teriam reagido com as rochas vulcânicas durante o evento magmático Serra Geral.

Com objetivo de testar novas técnicas de prospecção para ágata, o dispositivo geo-radar (método eletromagnético - EM) foi aplicado por Hirakata (2000) para estimativas de reservas minerais no DMSJ. O geo-radar (ground penetrating radar, GPR) fundamenta-se nos métodos geofísicos eletromagné-

ticos, se utilizando dos fenômenos de propagação de ondas eletromagnéticas para identificar estruturas em subsuperfície, operando no intervalo de onda utilizado pelo método que pertence ao intervalo entre 25 MHz e 1000 MHz (ondas radar) no espectro EM. Os testes realizados com geo-radar em trincheira experimental em área de jazida do DMSJ buscaram determinar o “sinal geofísico” característico dos geodos de ágata em condições controladas. A partir do tratamento estatístico desses dados, os resultados puderam ser aplicados para situações não controladas. Desta maneira, pôde-se estimar a tonelagem de geodos mineralizados em termos de volume (m<sup>3</sup>) em áreas de lavras semimecanizadas e galerias do DMSJ. O levantamento realizado por Hirakata (2000) resultou em teores de referência para reservas de ágata no DMSJ, e concluiu que o geo-radar constitui uma ferramenta útil na detecção de geodos de ágata, principalmente para reservas pouco profundas. No entanto, o mesmo autor recomenda um detalhado acompanhamento das frentes de lavra, onde o processo de extração de ágata seja contabilizado, assim como, o acompanhamento da ganga extraída, pois somente desta maneira as estimativas geradas pelo método geofísico poderão ser comparadas com os dados reais de extração, confirmando a aplicabilidade do método para lavras de ágata.

Durante o mapeamento da Folha Sobradinho as quatro unidades litológicas que compõem a EJ (HEEMANN, 2005) foram classificadas como pertencentes à Fácies Caxias (Formação Serra Geral). As mineralizações de ágata situam-se nos níveis basais dessa fácies, sendo verificadas em afloramentos próximos às margens dos rios Jacuí e Ivaí, que as camadas mineralizadas ocorrem próximo ao contato com a Fácies Gramado. Nas proximidades de Salto do Jacuí encontra-se em atividade o maior garimpo de ágata da região. Esta área é o afloramento MM-127 (Garimpo Billig), e constitui uma lavra a céu aberto (Figura 61), representando a principal jazida em exploração no DMSJ. Cabe ressaltar, que em razão da cava já ter atingido mais de 30 metros de profundidade, na área é possível visualizar o perfil geológico da EJ quase por completo (Figura 62). Em meados de dezembro de 2012 a lavra desse garimpo tinha atingido o nível do dacito semi-vítreo vesículo-amigdaloidal inferior, onde a ágata é quase que exclusivamente da variedade “Umbu”.

A caracterização geoquímica da EJ (HEEMANN, 2005) foi realizada no afloramento MM-127 (garimpo Billig). Neste ponto foi realizada uma amostragem dos derrames portadores de ágata no nível do dacito semi-vítreo vesículo-amigdaloidal inferior. O alto grau de alteração e as características vesiculares das rochas mineralizadas da EJ constituíram fatores limitantes para esse tipo de amostragem. Desta maneira, a coleta de amostras foi possível somente na

camada de dacito semi-vítreo amigdaloidal inferior, que compõe os horizontes menos alterados localizada no nível de base da EJ (Figura 63).

As lavras de ágatas em atividade no DMSJ são realizadas a céu aberto, e no passado, era comum a abertura de pequenas galerias que poderiam chegar a 40 metros de extensão. De maneira geral, a extração pode ser dividida em dois tipos: garimpagem e lavra semimecanizada (KELLERMANN, 1990). As técnicas de extração de geodos de ágata no DMSJ contam com auxílio de ferramentas manuais como pás, picaretas e talhadeiras nas rochas vulcânicas alteradas (ex. basalto vesículo-amigdaloidal tipo "tabatinga"). Quando as frentes de lavra atingem horizontes de rocha pouco alterada ou são (ex. dacito semivítreo vesículo-amigdaloidal), recorre-se ao auxílio de máquinas como retroescavadeiras e rompedores hidráulicos para a retirada de blocos rochosos contendo geodos.

As dimensões médias dos geodos, que possuem forma elíptica alongada ficam em torno de 10 cm de diâmetro em média (Figura 64 e Figura 65), por vezes, podendo chegar a 1 m, sendo o preenchimento dos geodos constituído principalmente por uma

paragênese silícea formada por calcedônia, ágata, ônix e quartzo incolor (HEEMANN, 1997). É comum ocorrer associada à ágata mineralizações de opala com qualidade geomológica no DMSJ (AUGUSTIN *et al.*, 2004). De maneira geral, as opalas possuem dimensões centimétricas, e ocorrem intercaladas com camadas de ágata. Estas gemas possuem uma grande variedade de cores (branco, azul, castanho, cinza), onde se destacam as opalas de cor avermelhada conhecida como "opala de fogo" de alto valor de mercado (fabricação de joias). Ressalta-se, que a produção de opalas no DMSJ vem despertando interesse econômico, mas sua produção é muito inferior comparada às ágatas na região.

A região de Salto do Jacuí é um dos principais fornecedores de ágata para o mercado internacional de gemas. A variedade mais comum é a do tipo "Umbu" que possui cor azul acinzentado em vários tons do claro ao escuro intenso (Figura 65). Conforme já mencionado, outra característica importante desta variedade é a elevada microporosidade que a torna adequada para o tingimento com corantes (Figura 66).



Figura 61 - Extração de ágata a céu aberto (Garimpo Billig) localizado nos arredores da cidade de Salto do Jacuí.

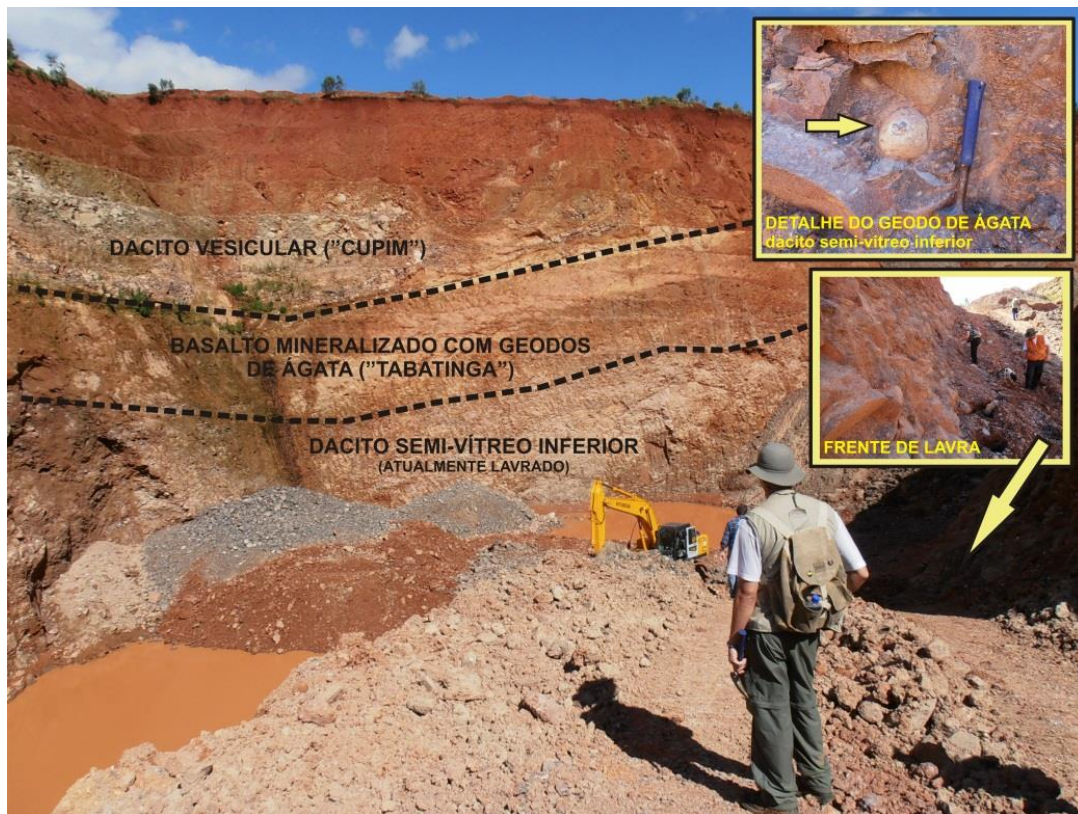


Figura 62 - Vista de outro ângulo do Garimpo Billig. Neste ponto é possível visualizar a faciologia vulcânica da estrutura Jacuí definida por Heemann (2005).

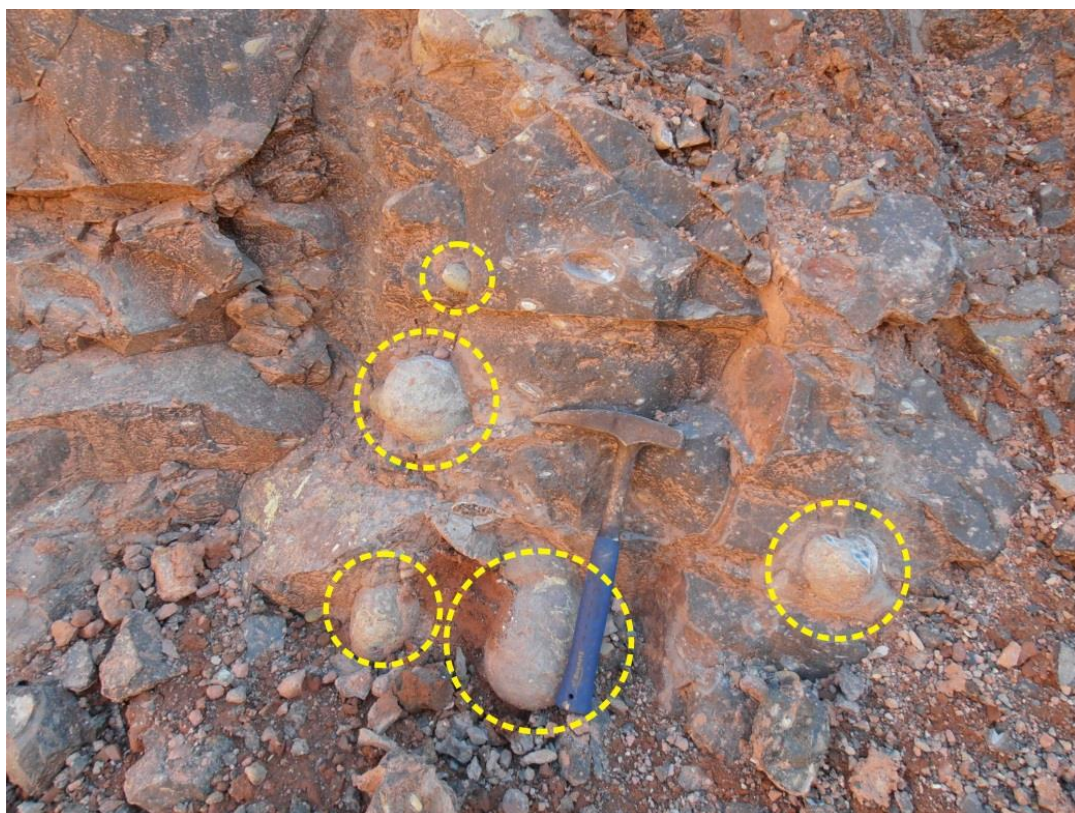


Figura 63 - Frente de lavra no dacito semi-vítreo no Garimpo Billig. No detalhe são vistos geodos centimétricos de ágata na rocha encaixante.



*Figura 64 - Conjunto de fotos com os principais minérios do Garimpo Billig. No canto inferior esquerdo é visualizada a ágata tipo "Umbu". No canto superior direito é visto variedades de opalas. No canto superior esquerdo observa-se as pilhas de geodos de ágata selecionadas para exportação.*



*Figura 65 - Em primeiro plano, uma pilha de geodos de ágata tipo "Umbu" destinada para exportação.*



Figura 66 - Variedades de ágatas beneficiadas com tingimento e polimento. No lado esquerdo, a maioria das amostras sofreu processo de tingimento. No lado direito, somente a amostra do canto inferior direito (roxo) está tingida (figura modificada de BRANCO & GIL; 2002).

A produção em estado bruto desta variedade destina-se quase que exclusivamente à exportação (Europa, e principalmente Ásia), já que o mercado interno só consegue absorver pequena parte da produção. Desta maneira, a cotação do dólar é determinante na valoração desse bem mineral. Uma descrição comercial detalhada das variedades de ágata do DMSJ foi organizada por Kellermann (1990), que baseou-se principalmente no peso dos geodos e na sua coloração (Tabela 7 e Tabela 8), e também no tipo e disposição dos preenchimentos dos geodos mineralizados (Tabela 9).

Tabela 7 - Classificação dos geodos de ágata de acordo com o peso (KELLERMANN, 1990).

Denominação dos geodos de ágata	Peso (Kg)
Rolinha	< 0,5
Rolão	0,5 – 1,5
Cinzeiro	1,5 – 3,0
Segunda (II)	3,0 – 8,0
Primeira (I)	> 8,0

Dentre os vários empregos da ágata, destacam-se a ampla utilização no mercado de jóias e artesanatos em geral como saca-rolhas, chaveiros, relógios e cinzeiros. A atividade de beneficiamento nacional ainda carece de mão de obra especializada

para o tratamento do material bruto, fundamental para melhorias do design das peças beneficiadas, fato esse, que causaria a valorização da matéria prima (BRANCO, GIL; 2002).

Tabela 8 - Classificação dos geodos quanto a coloração da massa de ágata do preenchimento (KELLERMANN, 1990).

Coloração da massa cristalina do geodo	Destinação e generalidades
Cinza-azulado homogênea ("Umbu")	Exportação em bruto Possui distribuição uniforme da tonalidade de cor
Cinza-azulado heterogênea	Industrializada para exportação. Apresenta vários tons de azul com distribuição irregular da tonalidade de cor
Avermelhada	Dispensa tingimento. Possui muita procura no mercado de jóias

Durante os trabalhos da Folha Sobradinho foram identificadas somente duas lavras de ágata/opala em atividade na área do mapeamento (afloramentos MM-121 e MM-127). A atuação de órgãos ambientais nos últimos anos restringiu as áreas de lavras no DMSJ e intensificou a fiscalização para coibir os garimpos clandestinos. Dentro deste panorama, foram levantadas inúmeras lavras abandonadas onde foi possível verificar o passivo ambiental decorrente do garimpo desordenado (Figura 67).

Tabela 9 - Classificação dos geodos de acordo com o tipo e a disposição do material de preenchimento (KELLERMANN, 1990).

Variedades	Descrição
Geodo (pedra oca)	Interior não totalmente preenchido pela “massa cristalina”. Geralmente cristais de quartzo (citrino, ametista, hialino), calcita criptocristalina, zeolita, etc
Pedra com água	Geodo com água em seu interior
Pedra com listra	Possui listras brancas com espessura de 1mm a 1cm
“Sal” para chapa	Pedra arredondada, sem defeitos (truncada, descascada) com uma capa de “massa” criptocristalina de no mínimo 1 polegada e com o seu interior preenchido por quartzo (“sal”)
“Sal” para porta - livro	Difere do “sal” para chapa por apresentar imperfeições (p. ex: ser parcialmente descascada)
Pedaços	Pedaços de ágata de coloração cinza - azulado homogênea, cinza - azulado heterogênea e vermelha
Calcedão	Geodo que possui o maior valor comercial. Tem cor cinza – azulada; sendo que a base do geodo apresenta bandamento horizontal de calcedônia, que quando retirada, fornece uma superfície plana característica



*Figura 67 - Frente de lavra de ágata desativada nas arredores da cidade de Salto do Jacuí. Na foto é possível verificar pilhas de rejeito e vegetação desenvolvida no garimpo abandonado.*

## 6.2 OCORRÊNCIAS DE MINERAIS PARA EMPREGO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Outra fonte de recursos minerais da Folha Sobradinho diz respeito aos materiais para emprego na construção civil, onde destacam-se a brita e os blocos para calçamento e revestimento derivados das rochas vulcânicas da Fácies Caxias/Palmas (Formação Serra Geral). Dentre as características mais marcantes desta fácies, destaca-se a cor cinza clara homogênea e o regular acamadamento horizontal, que possibilita uma melhor mecânica de extração, que gera grandes

lajes apropriadas a vários tipos de corte, como por exemplo, chapas de revestimento e blocos de calçamento (Figura 68 e Figura 69). Nos últimos anos, a criação de pequenas centrais hidrelétricas (PCH - Eng. Ernesto Jorge Dreher e PCH - Eng. Henrique Kotzian) no rio Iváí gerou uma grande demanda por blocos rochosos que atendesse a construção das barragens dessas PCH's. Desta maneira, algumas pedreiras foram criadas somente para atender esses empreendimentos, mas algumas lavras continuam operando para atender outras demandas da construção civil.

Outro tipo de extração comum na região são as pequenas lavras temporárias referentes à retirada de saibro e/ou rachão para revestimento de estradas não pavimentadas (Figura 70). A maior parte dessas lavras é administrada por prefeituras locais que, qua-

se que exclusivamente, retiram esse tipo de material à beira de estradas para consumo local. No caso deste tipo de material, tanto a Fácies Caxias/Palmas como a Gramado são utilizadas como fonte de extração.



*Figura 68 - Frente de lava para materiais de construção civil na região de Salto do Jacuí.*



*Figura 69 - Frente de lava para materiais de construção civil na região de Sobradinho.*



*Figura 70 - Frente de lava para material de empréstimo (saibro/rachão) na região da Folha Sobradinho.*

## **7 GEOQUÍMICA PROSPECTIVA**

---

### **7.1 INTRODUÇÃO**

A coleta de sedimento ativo de corrente da Folha Sobradinho SG-22-V-C-II foi um dos primeiros trabalhos de geoquímica prospectiva realizado na região centro-norte do Estado do Rio Grande do Sul (RS). A região, inserida no contexto geológico da Formação Serra Geral, Bacia do Paraná, é constituída predominantemente por rochas vulcânicas de caráter bimodal. Dentro os projetos de trabalhos sistemáticos de prospecção geoquímica na Formação Serra Geral, podem ser citados: 1-Projeto Cu em Itapiranga (SZUBERT; GRAZIA; SHINTAKU, 1979), realizado na região norte - noroeste do RS e no extremo oeste catarinense; 2 - Projeto Geologia e Recursos Minerais da Folha Três Passos - SG.22-Y-C-I, escala 1:100.000 (BERGMANN *et al.*, 2014), localizado no noroeste do estado do Rio Grande do Sul e oeste de Santa Catarina, região do Alto Uruguai, e é limitada entre os meridianos 53° 30' W e 54° 00' W e paralelos 27° 00' S e 27° 30' S.

No levantamento de geoquímica prospectiva de sedimento de corrente da Folha Sobradinho foram coletadas 118 amostras de sedimento ativo de corrente cujo mapa de localização das estações de amostragem é exibido na Figura 71.

### **7.2 MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **7.2.1 Amostragem**

A distribuição das estações de amostragem obedeceu aos critérios determinados pela metodologia de mapeamento geoquímico dos Programas de Geologia Básica da CPRM – Serviço Geológico do Brasil (Manual Técnico da Área de Geoquímica, 2010). A malha de amostragem foi planejada com

base na rede de drenagem da Folha Sobradinho, escala 1: 100.000, com adensamento de amostragem de 1 amostra a cada 10-30 km<sup>2</sup>. Foram programadas cerca de 120 estações de amostragem. Em todas foram coletadas amostras de sedimento ativo de corrente, com densidade média aproximada de 1 amostra a cada 23,33 km<sup>2</sup>. A distribuição das estações segue um padrão regular, de forma a abranger a maior quantidade de território possível. O planejamento da amostragem buscou contemplar drenagens pequenas, geralmente de segunda ordem, cujas bacias de captação representassem áreas entre 10 e 30 km<sup>2</sup>, em locais adequados acima de seu ponto de confluência com a drenagem principal (3ª ordem) e sempre fora da área de influência nos períodos de cheia. O ponto mais baixo de cada bacia de captação foi determinado para a amostragem, levando-se em conta a presença de estradas, pontes e outras interferências antrópicas que pudessem trazer algum tipo de contaminação à amostra.

A fração granulométrica das amostras de sedimento de corrente foi estabelecida em <80# (0,175 mm) e a quantidade mínima de material entre 3e 4 kg. Todo material utilizado na amostragem de sedimento de corrente foi lavado na água da respectiva drenagem, antes e depois da amostragem. A coleta obedeceu ao seguinte procedimento: coloca-se o balde plástico em local estável e, sobre ele, a peneira plástica de 1mm. O sedimento, coletado sempre que possível abaixo do nível d'água, é colocado sobre a peneira, sendo removidos fragmentos de rocha e restos vegetais durante o peneiramento manual. Após exame e descrição macroscópica, o material retido na peneira é descartado, enquanto o material passante acondicionado em saco plástico e o excesso de água cuidadosamente retirado.



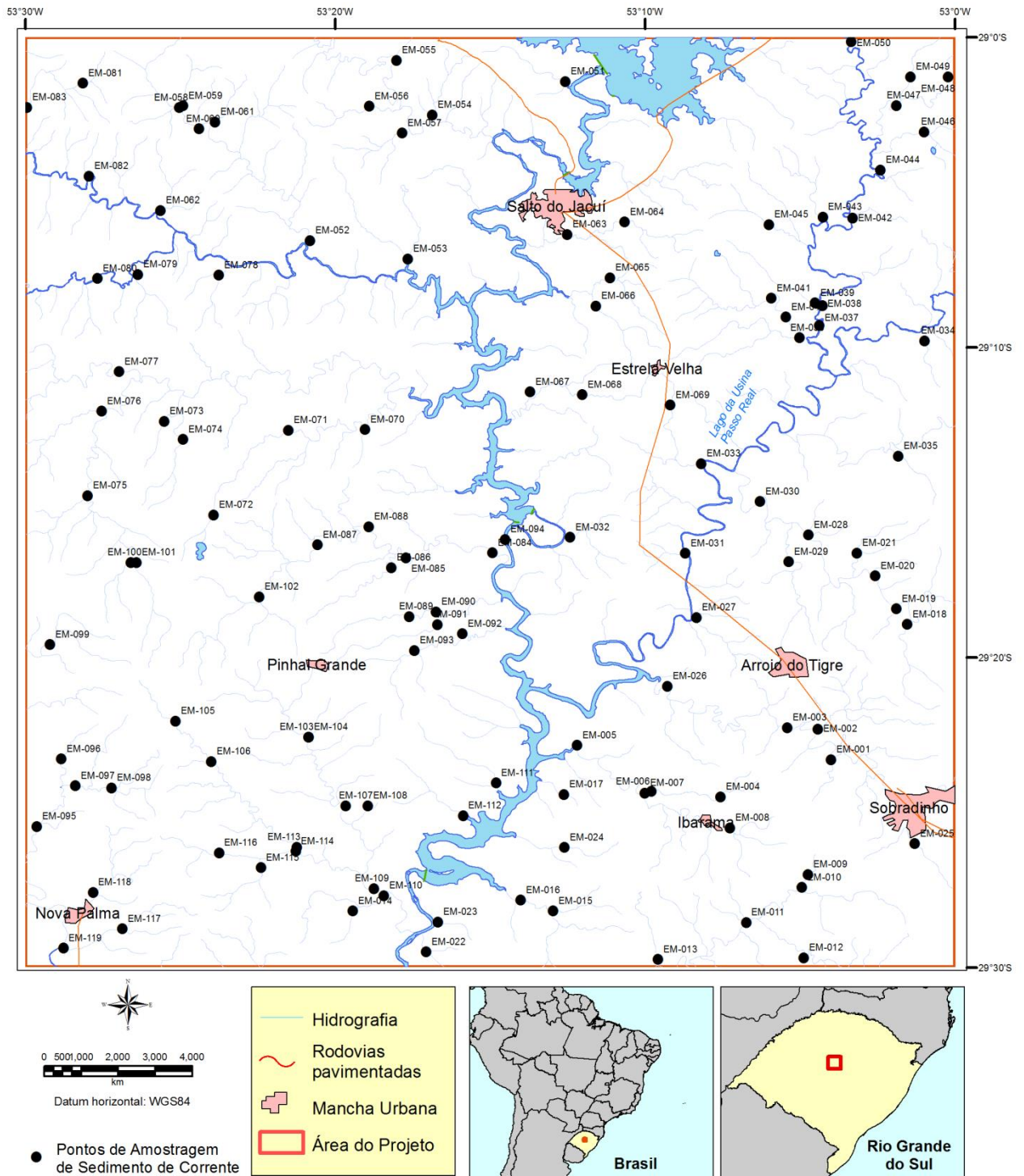


Figura 71 - Mapa das estações de coleta de sedimento ativo de corrente no Levantamento Geoquímico Regional da Folha Sobradinho 1:100.000.

Dados essenciais como toponímia, coordenadas locais obtidas com GPS, data da amostragem, tipo de material coletado, características das drenagens nos pontos de coleta e as condições climáticas à época da amostragem foram registrados em

formulário próprio (caderneta de campo de geoquímica, Figura 72) para posterior arquivamento, juntamente com os resultados analíticos, na base de dados geoquímicos do GEOBANK da CPRM.


 <b>FICHA DE CAMPO - AMOSTRA GEOQUÍMICA</b>										1 - CENTRO DE CUSTO		2 - SUBCENTRO DE CUSTO		3 - NÚMERO DE CAMPO			4 - Nº DE LABORATÓRIO		FOLHA																																																		
PROJETO: .....												Coletor		Nº da amostra		Dupl.				TOTAL																																																	
DATA: ..... / ..... / .....																																																																					
4 - Base cartográfica					5 - Escala					6 - Denominação local																																																											
7 - Latitude										8 - Longitude										9 - Abissa (x)										10 - Ordenada (y)										11 - UTM - Longitude										12 - UTM - Latitude										13 - Meridiano central									
14 - Classe amostra		15 - Tipo amostragem		16 - Fonte amostra		17 - Rocha Regional		18 - Idade geológica		19 - Material coletado		20 - Pluviosidade		21 - Tipo vegetação		22 - Sit. topográfica		23 - Sit. amostra		24 - Altitude		25 - Profund. da amostragem		26																																													
27 - Forma ígnea		28 - Situação estrutural		29 - Matriz predominante		30 - Grau de intemperização		31 - Tipo alteração		32		33 - Tipo mineral		34 - Caracterização depósito / ocorrência		35		36 - Largura do rio		37 - Profund. do rio		38 - Velocid. corrente		39 - Nível de água		40 - Área drenagem		41 - Turb. da água																																									
42 - Posição		43 - Cor da água		44 - Grau de amarel.		45 - Volume original		46 - Pesa do concentrado		47		48 - Granulometria sedimento / solo		49 - Textura do sedimento / solo (%)		50 - Cor sed. / solo		51		52 - Horiz. do solo		53 - Tipo de solo		54		55 - Amb. biótico		56																																									
57 - Eh Smol		58 - pH		59 - Metal pesado a frio		60 - Outras análises		61 - Outras análises		62 - Outras análises		63 - Outras análises		64 - Codificação livre																																																							
65 - Observações - Comentários																																																																					
66 - Observações - Comentários																																																																					
										PERF.										Data										PERF. / CONF.										Data																													

Figura 72 - Exemplo de uma ficha da caderneta de campo de geoquímica com os dados a serem levantados.

### 7.2.2 Metodologia Analítica

Todas as amostras de sedimento de corrente foram preliminarmente preparadas no laboratório da CPRM - Serviço Geológico do Brasil em Porto Alegre, onde foram inicialmente secas na estufa a 40°C e

posteriormente desagregadas em gral de porcelana (Figura 73). A seguir, as amostras foram peneiradas em malha 80#, no agitador de peneiras vibratórias eletromecânicas tipo ROTAP (Figura 73).



Figura 73 - a) Gral de porcelana para desagregação das amostras; b) Agitador de peneiras vibratórias eletromecânicas tipo ROTAP.

As amostras de sedimento ativo de corrente (fração < 80#) foram analisadas nos laboratórios ACMELabs., Vancouver, Canadá. As amostras (30-50 g) foram preparadas segundo o pacote P150 e as polpas (0,5 g) analisadas por ICP-MS no pacote "Group 1F-MS" para 53 elementos com abertura através de água régia (Ag, Al, As, Au, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Ga, Ge, Hf, Hg, In, K, La, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Ni, P, Pb, Pd, Pt, Re, Rb, S, Sb, Sc, Se, Sn, Sr, Ta, Te, Th, Ti, Tl, U, V, W, Y, Zn, Zr).

### 7.3 TRATAMENTO DOS DADOS ANALÍTICOS DE SEDIMENTO DE CORRENTE

Os dados analíticos de sedimento de corrente obedeceram a um processo de interpretação seqüencial: cálculo dos estimadores estatísticos, seguido pelo estudo do tipo de distribuição dos elementos (histogramas, gráficos box-plot, gráficos Q-Q') e análise da distribuição espacial dos elementos. Após foram realizados estudos de correlações. Na análise multivariada dos dados foram feitas análise de agrupamentos (dendrogramas).

Do total de 53 elementos foram discriminados inicialmente, não foram detectados ou tiveram baixa detecção (número de casos válidos menores ou iguais a 50% do total de 118 amostras analisadas) 10 elementos: B (grau de detecção – GD = 26,3%, correspondente a 31 Casos Válidos – CV do total de 118 amostras analisadas), Ge (GD = 4,24%; CV = 8), Pd (GD = 27,12%; CV = 32), Pt (GD = 50%; CV = 59); Re (GD = 5,9%; CV = 7/118), S (GD = 3,4%; CV = 4), Se (GD = 37%; CV = 44), Ta (0), Te (GD = 16%; CV = 19), W (GD = 29,7%; CV = 35). Desses elementos, o Pd, Pt, e o Se foram selecionados devido a sua importância metalogenética, pois ocorrem associados a depósitos minerais de rochas básicas e/ou ultrabásicas e serão tratados separadamente do restante dos dados considerando apenas os casos válidos. O Au também foi tratado separadamente, apenas com os dados válidos (CV=85) por ser um elemento de suma importância econômica.

A análise dos dados geoquímicos utilizada para o estudo univariado dos elementos analisados foi o de Análise Exploratória de Dados (EDA) (TUKEY,

1977). A finalidade da EDA é examinar os dados previamente à aplicação de qualquer técnica estatística, para obter um entendimento básico de seus dados e das relações existentes entre as variáveis analisadas. A EDA extrai informações de um conjunto de dados sem o peso das suposições de um modelo probabilístico e ajuda a reconhecer padrões dentro dos dados geoquímicos. Dessa forma, serão apresentados a seguir: o sumário estatístico, a análise dos histogramas, diagramas Q-Q e gráficos Box-Whisker.

#### 7.3.1 Sumário dos Estimadores

Para o tratamento estatístico convencional dos dados de sedimento ativos de corrente dos 42 elementos selecionados (Ag, Al, As, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Ga, Hf, Hg, In, K, La, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Ni, P, Pb, Rb, Sb, Sc, Sn, Sr, Th, Ti, Tl, U, V, Y, Zn, Zr), todos os resultados analíticos inferiores ao limite de detecção do método analítico (<menor do que), foram divididos pela metade do limite de detecção inferior. A Tabela 10 apresenta o limite de detecção inferior por elemento (LDI), o número de amostras coletadas (AC), os casos válidos (CV), o grau de detecção (%) de cada elemento (GD), a média, o desvio padrão (DP), a mediana (2º quartil = Q2), a moda, a frequência da moda (FM), os valores mínimos (Vmin.), os valores máximos (Vmax.), o percentil de 25% (1º quartil = Q1), o percentil de 75% (3º quartil = Q3), a média geométrica (MG), a variação entre os valores máximos e mínimos de cada elemento (Range) o intervalo interquartil (IQR), que corresponde ao terceiro quartil (Q3) subtraído pelo 1º quartil (Q1) (Q3-Q1), o terceiro quartil somado a 1,5 vezes o intervalo interquartil (Q3 + 1,5 IQR) e o coeficiente de variação (Coef. Var. = DP/X). Não foram considerados para tratamento estatístico elementos com percentual de valores analisados abaixo do limite de detecção inferior muito alto (>50%). São eles B, Ge, Pd, Pt, Re, S, Se, Ta, Te e W. Para os elementos Pd, Pt, Se e para o Au será realizado um tratamento estatístico apenas com os casos válidos (valores remanescentes), desconsiderando os valores abaixo do limite de detecção inferior.

Tabela 10 - Sumário Estatístico para as amostras de sedimento de corrente da Folha Sobradinho.

Elem.	LDI	AC	CV	GD(%)	Média	DP	Mediana	Moda	FM	Vmin.	Vmax.	Q1	Q3	MG	Range	IQR	Q3+1,5IQR	Coef.Var.(%)
Ag-ppb	2	118	118	100,00	23,95	10,29	24,50	26	8	4,00	59,00	17,00	29,00	21,24	55,00	12,00	47,00	42,98
Al-%	0,01	118	118	100,00	1,00	0,45	1,06	múltiplas	5	0,08	2,01	0,77	1,32	0,84	1,93	0,55	2,15	44,62
As-ppm	0,1	118	118	100,00	2,42	1,34	2,20	1,70	8	0,40	7,80	1,60	3,10	2,06	7,40	1,50	5,35	55,38
Au-ppb	0,2	118	85	72,03	1,07	0,73	0,90	0,50	9	0,20	3,50	0,50	1,40	0,86	3,30	0,90	2,75	67,81
Ba-ppm	0,5	118	118	100,00	131,48	80,27	129,00	múltiplas	2	6,70	637,10	87,00	175,30	103,71	630,40	88,30	307,75	61,05
Be-ppm	0,1	118	116	98,31	1,19	0,64	1,15	múltiplas	10	0,05	3,40	0,80	1,60	0,95	3,35	0,80	2,80	54,14
Bi-ppm	0,02	118	111	94,07	0,20	0,10	0,21	0,26	9	0,01	0,45	0,12	0,27	0,15	0,44	0,15	0,50	51,58
Ca-%	0,01	118	117	99,15	0,15	0,09	0,16	0,17	9	0,01	0,38	0,08	0,21	0,11	0,38	0,13	0,41	58,92
Cd-ppm	0,01	118	110	93,22	0,07	0,04	0,07	0,07	15	0,01	0,16	0,04	0,09	0,05	0,16	0,05	0,17	55,20
Ce-ppm	0,1	118	118	100,00	37,02	18,62	37,30	62,00	3	2,00	100,70	23,80	47,60	30,06	98,70	23,80	83,30	50,31
Co-ppm	0,1	118	118	100,00	14,34	8,14	13,45	múltiplas	3	0,50	39,50	8,70	19,20	10,95	39,00	10,50	34,95	56,78
Cr-ppm	0,5	118	118	100,00	6,93	4,05	6,00	7,70	5	0,70	20,10	4,10	9,00	5,72	19,40	4,90	16,35	58,37
Cs-ppm	0,02	118	118	100,00	1,60	0,66	1,61	múltiplas	3	0,35	3,36	1,13	2,08	1,44	3,01	0,95	3,51	41,12
Cu-ppm	0,01	118	118	100,00	30,79	18,04	30,84	múltiplas	1	0,64	89,23	17,22	43,32	22,70	88,59	26,10	82,47	58,59
Fe-%	0,01	118	118	100,00	3,45	1,57	3,64	múltiplas	2	0,14	7,49	2,48	4,55	2,80	7,35	2,07	7,66	45,56
Ga-ppm	0,1	118	118	100,00	5,94	2,59	6,25	7,10	5	0,40	10,60	4,30	7,70	4,92	10,20	3,40	12,80	43,57
Hf-ppm	0,02	118	112	94,92	0,51	0,28	0,54	múltiplas	6	0,01	1,46	0,33	0,68	0,37	1,45	0,35	1,21	55,04
Hg-ppb	5	118	107	90,68	16,72	9,06	17,00	2,50	11	2,50	43,00	10,00	22,00	13,74	40,50	12,00	40,00	54,21
In-ppm	0,02	118	100	84,75	0,04	0,02	0,05	0,05	26	0,01	0,09	0,03	0,06	0,04	0,08	0,03	0,11	46,92
K-%	0,01	118	108	91,53	0,05	0,03	0,05	0,07	20	0,01	0,12	0,03	0,07	0,04	0,12	0,04	0,13	55,08
La-ppm	0,5	118	118	100,00	14,82	7,37	15,25	múltiplas	3	1,00	34,70	10,10	20,10	12,06	33,70	10,00	35,10	49,71
Li-ppm	0,1	118	118	100,00	4,83	2,14	5,05	múltiplas	5	0,40	9,70	3,70	6,40	4,08	9,30	2,70	10,45	44,30
Mg-%	0,01	118	111	94,07	0,11	0,07	0,11	0,07	10	0,01	0,32	0,06	0,17	0,08	0,32	0,11	0,34	59,37
Mn-ppm	1	118	118	100,00	797,31	511,01	775,50	múltiplas	2	19,00	3660,00	502,00	1031,00	590,91	3641,00	529,00	1824,50	64,09
Mo-ppm	0,01	118	114	96,61	0,40	0,19	0,42	múltiplas	6	0,01	0,85	0,27	0,52	0,30	0,85	0,25	0,90	48,66
Na-%	0,001	118	97	82,20	0,00	0,00	0,00	0,00	25	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	70,52
Nb-ppm	0,02	118	118	100,00	0,86	0,55	0,78	múltiplas	3	0,05	3,06	0,48	1,09	0,68	3,01	0,61	2,01	63,66
Ni-ppm	0,1	118	118	100,00	4,03	3,03	3,35	múltiplas	5	0,20	16,50	2,10	5,20	2,96	16,30	3,10	9,85	75,32
P-%	0,001	118	118	100,00	0,03	0,01	0,03	0,04	8	0,00	0,06	0,02	0,04	0,03	0,06	0,02	0,06	42,04
Pb-ppm	0,01	118	118	100,00	14,28	6,74	14,59	13,08	2	1,35	37,99	9,40	18,80	11,99	36,64	9,40	32,90	47,22
Pd-ppm	10	118	32	27,12	19,75	7,25	18,50	14,00	7	10,00	38,00	14,00	23,50	18,60	28,00	9,50	37,75	36,69
Pt-ppb	2	118	59	50,00	3,71	1,54	3,00	múltiplas	16	2,00	8,00	3,00	4,00	3,43	6,00	1,00	5,50	41,57
Rb-ppm	0,1	118	118	100,00	11,76	5,92	11,45	múltiplas	3	0,90	24,90	7,90	16,70	9,54	24,00	8,80	29,90	50,30
Sb-ppm	0,02	118	112	94,92	0,11	0,05	0,11	0,13	12	0,01	0,26	0,07	0,14	0,09	0,25	0,07	0,25	48,41
Sc-ppm	0,1	118	118	100,00	6,43	2,87	7,05	7,40	6	0,40	13,40	4,90	8,20	5,31	13,00	3,30	13,15	44,59

## CPRM – Programa de Geologia do Brasil

Elem.	LDI	AC	CV	GD(%)	Média	DP	Mediana	Moda	FM	Vmin.	Vmax.	Q1	Q3	MG	Range	IQR	Q3+1,5IQR	Coef.Var.(%)
Se-ppm	0,1	118	44	37,29	0,28	0,12	0,30	múltiplas	12	0,10	0,50	0,20	0,40	0,25	0,40	0,20	0,70	41,24
Sn-ppm	0,1	118	116	98,31	1,91	0,90	2,10	2,60	10	0,05	3,80	1,30	2,60	1,53	3,75	1,30	4,55	47,17
Sr-ppm	0,5	118	118	100,00	21,82	15,60	19,80	múltiplas	2	1,00	67,60	9,20	30,50	15,44	66,60	21,30	62,45	71,52
Th-ppm	0,1	118	118	100,00	5,83	2,89	6,45	7,60	5	0,30	13,20	3,60	7,70	4,66	12,90	4,10	13,85	49,62
Ti-%	0,001	118	118	100,00	0,16	0,09	0,16	múltiplas	3	0,00	0,43	0,11	0,22	0,13	0,42	0,11	0,38	54,22
Tl-ppm	0,02	118	116	98,31	0,26	0,22	0,23	0,21	6	0,01	1,74	0,14	0,32	0,19	1,73	0,18	0,59	83,03
U-ppm	0,1	118	115	97,46	1,49	0,76	1,60	1,60	12	0,05	3,30	0,90	2,00	1,18	3,25	1,10	3,65	51,09
V-ppm	2	118	118	100,00	113,31	73,24	103,50	múltiplas	3	4,00	435,00	64,00	155,00	84,09	431,00	91,00	291,50	64,63
Y-ppm	0,01	118	118	100,00	13,41	6,79	13,58	múltiplas	2	0,67	29,39	8,99	17,92	10,74	28,72	8,93	31,32	50,59
Zn-ppm	0,1	118	118	100,00	51,49	24,74	55,55	múltiplas	2	1,80	118,10	36,80	67,70	40,44	116,30	30,90	114,05	48,05
Zr-ppm	0,1	118	118	100,00	25,34	13,68	27,00	29,50	3	0,30	66,90	14,90	33,20	18,77	66,60	18,30	60,65	53,98

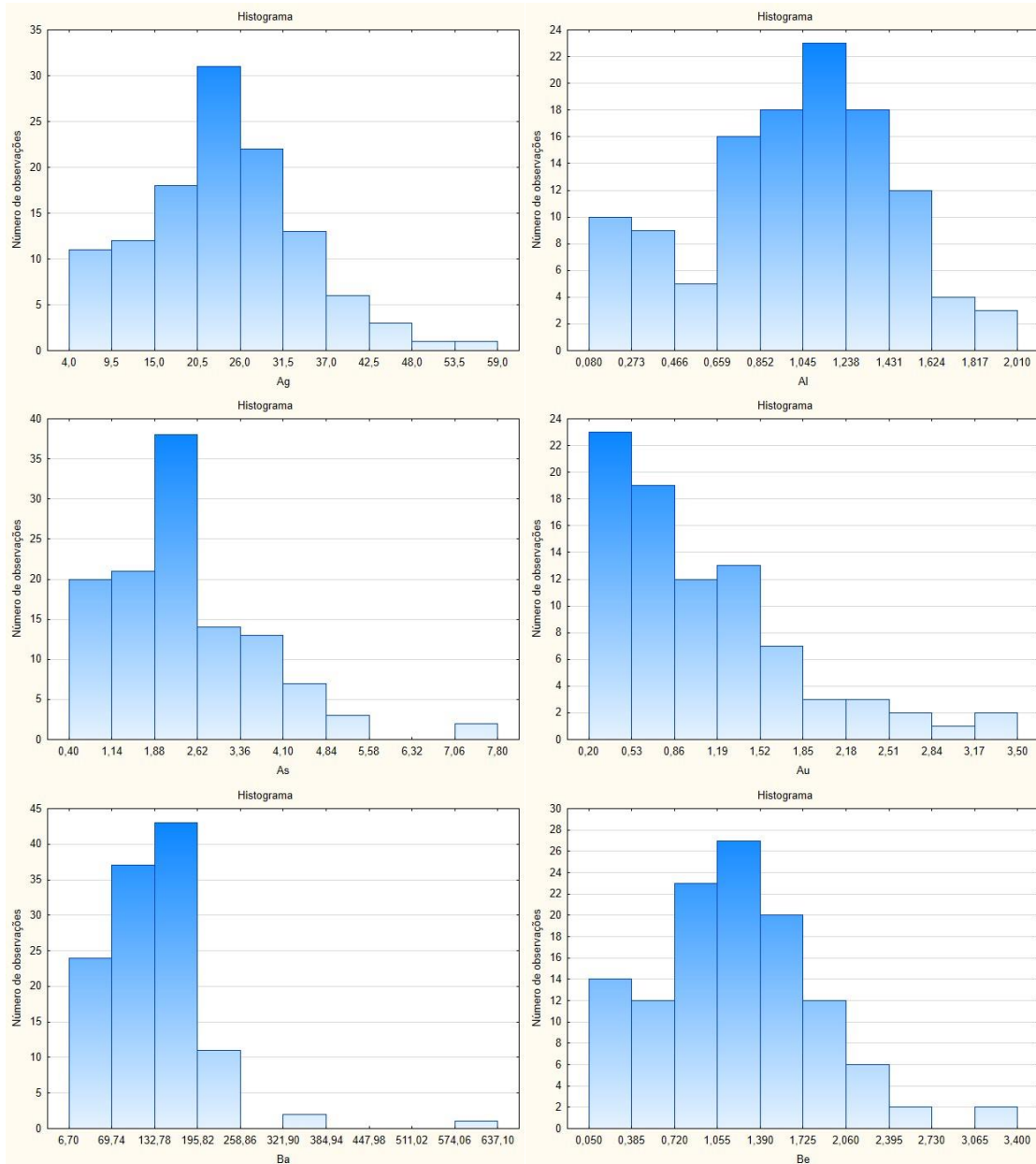
(continuação)

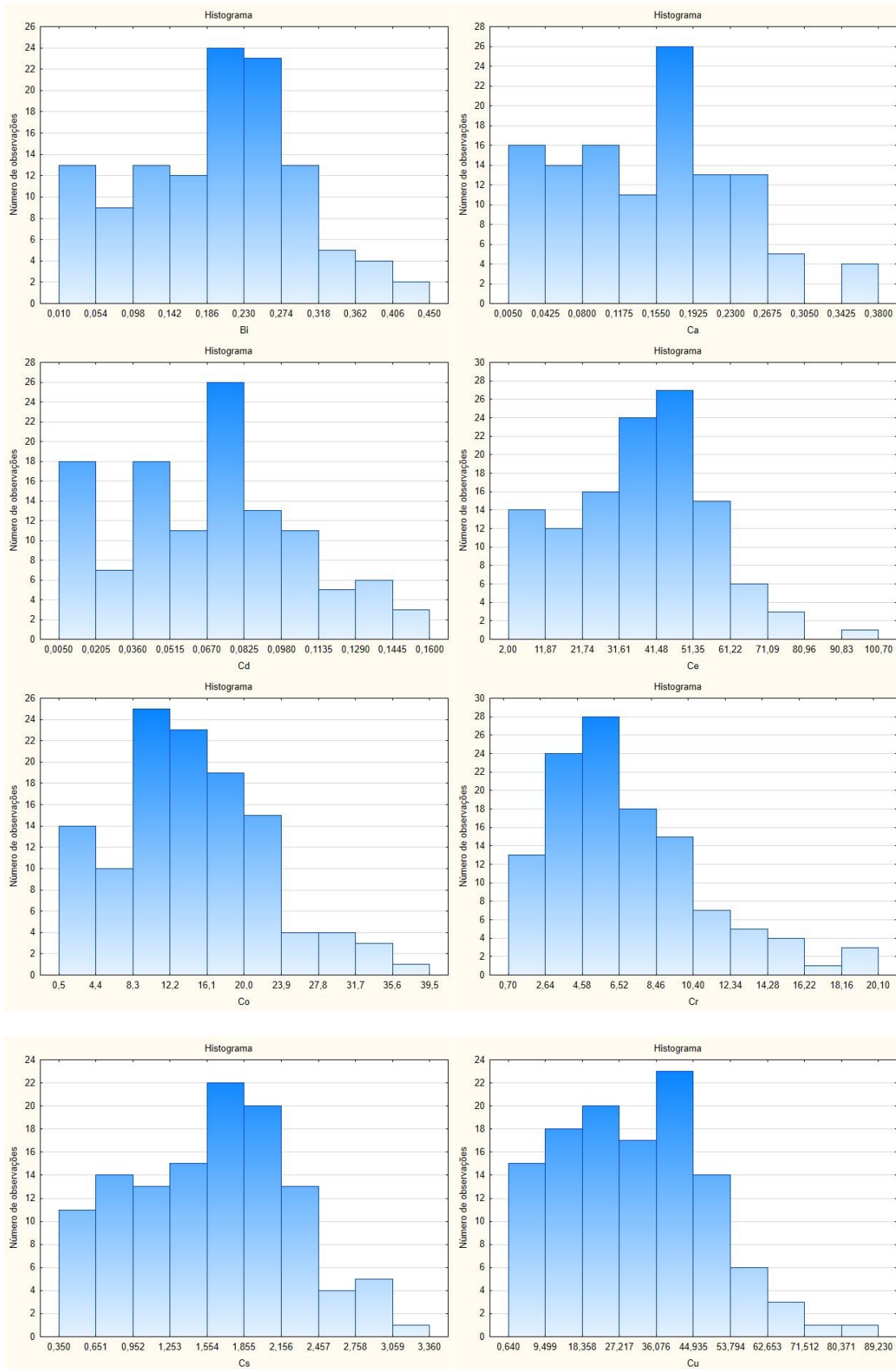
### 7.3.2 Histogramas

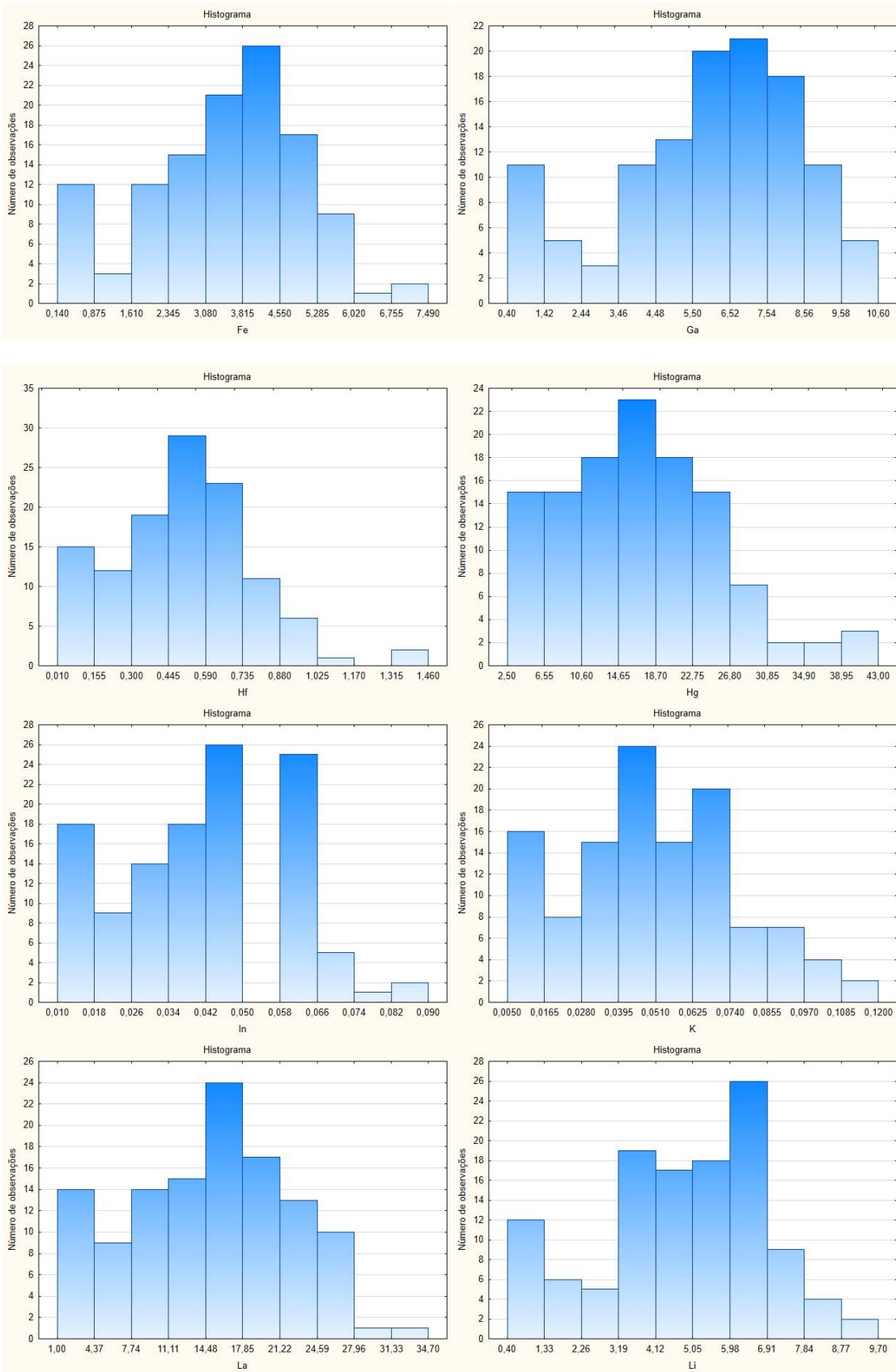
Foram elaborados histogramas para 46 dos elementos dos 53 analisados (Figura 74). Para 42 dos elementos estudados nota-se a tendência próxima a normal da distribuição (Ag, Al, As, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Ga, Hf, Hg, In, K, La, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Ni, P, Pb, Rb, Sb, Sc, Sn, Sr, Th, Ti, Tl, U, V, Y, Zn, Zr) o que é esperado para a distribuição dos elementos maiores, menores e traços na

região de estudo. Isso porque a geologia da Folha Sobradinho é representada em sua quase totalidade por rochas vulcânicas ácidas do Grupo Palmas da Formação Serra Geral, Bacia do Paraná.

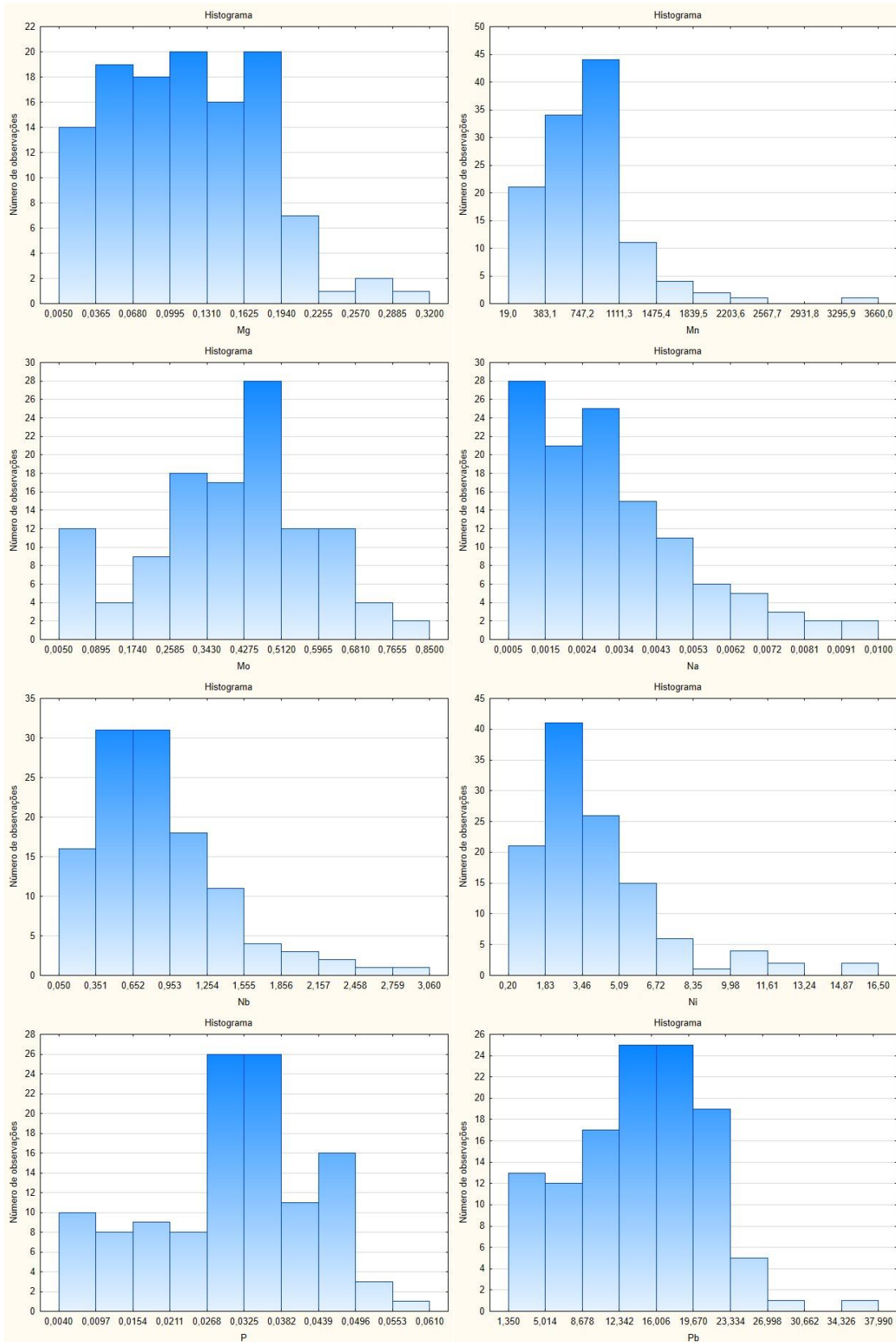
Na elaboração dos histogramas foram utilizadas 10 classes. Os elementos Au (85 valores em 118), Pd (32 valores em 118), Pt (59 valores em 118) e Se (44 valores em 118) apresentaram outro tipo de distribuição.

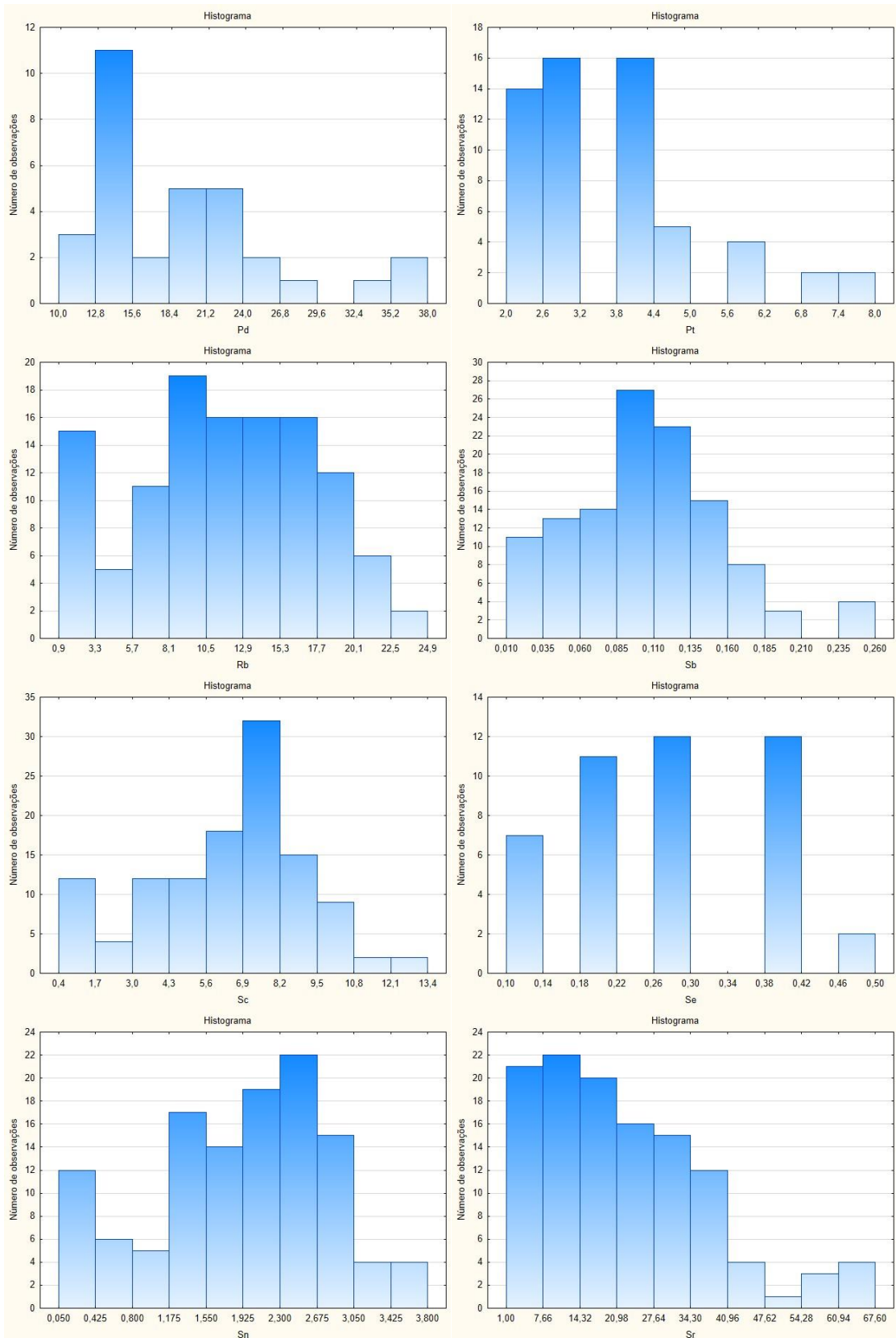












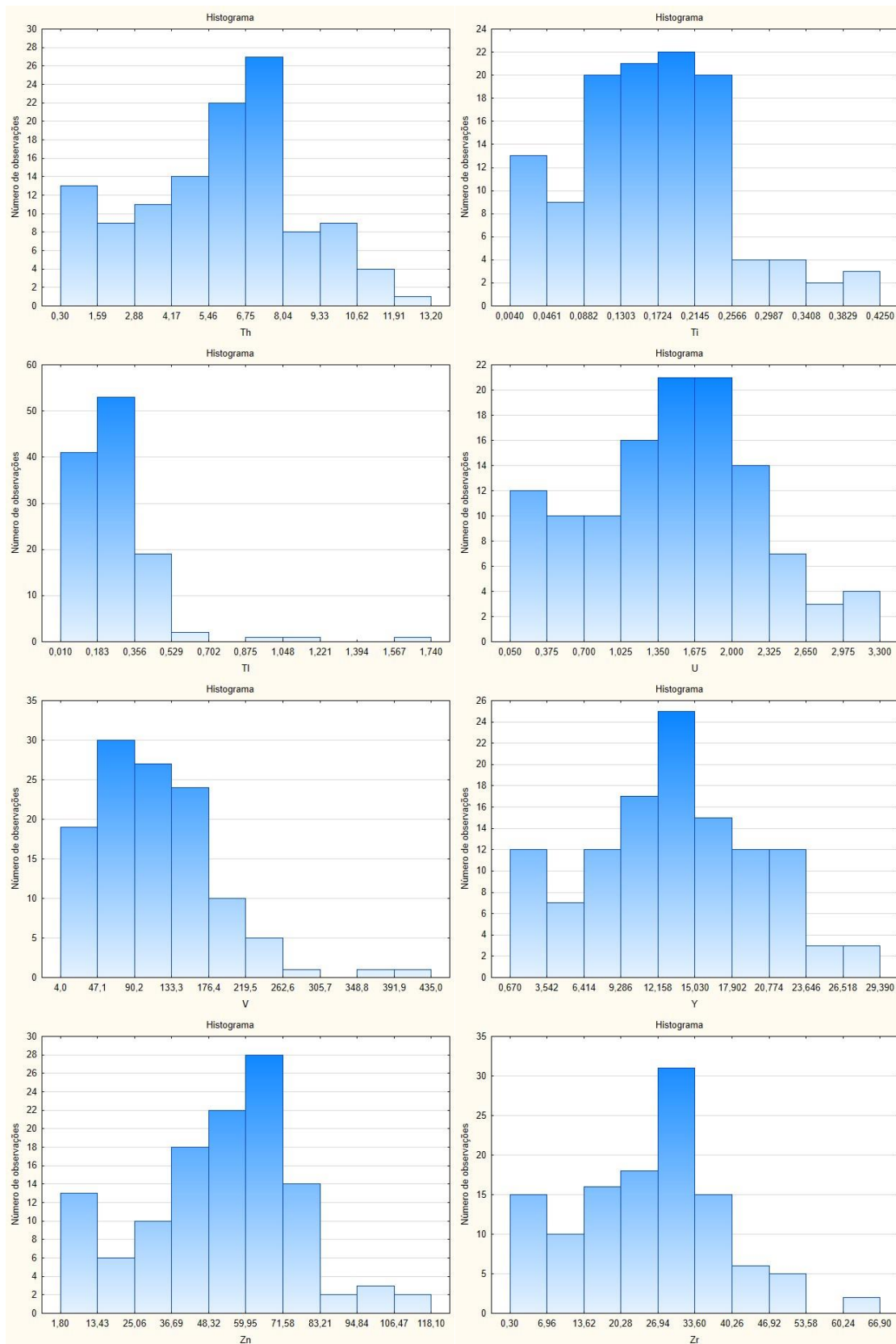
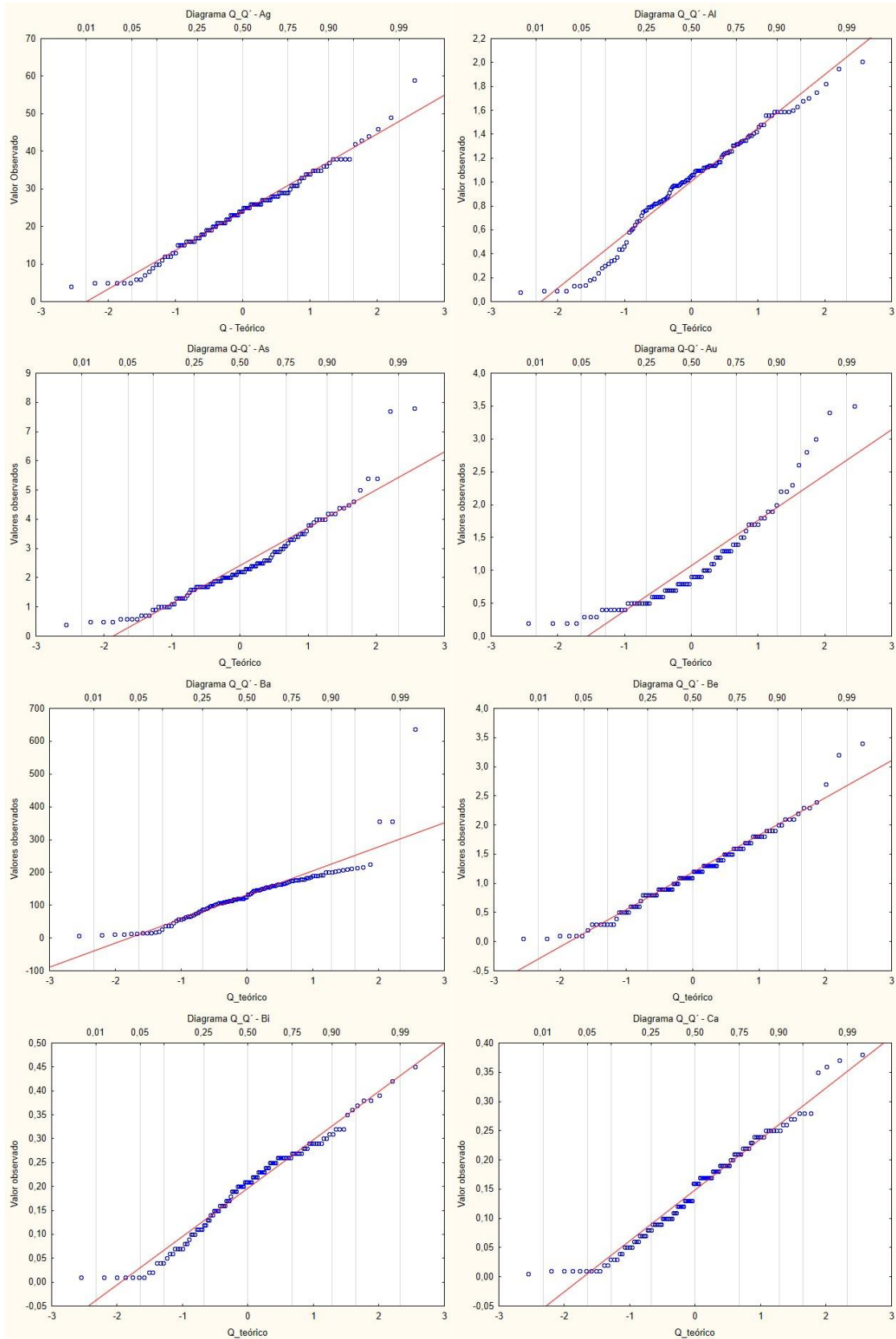


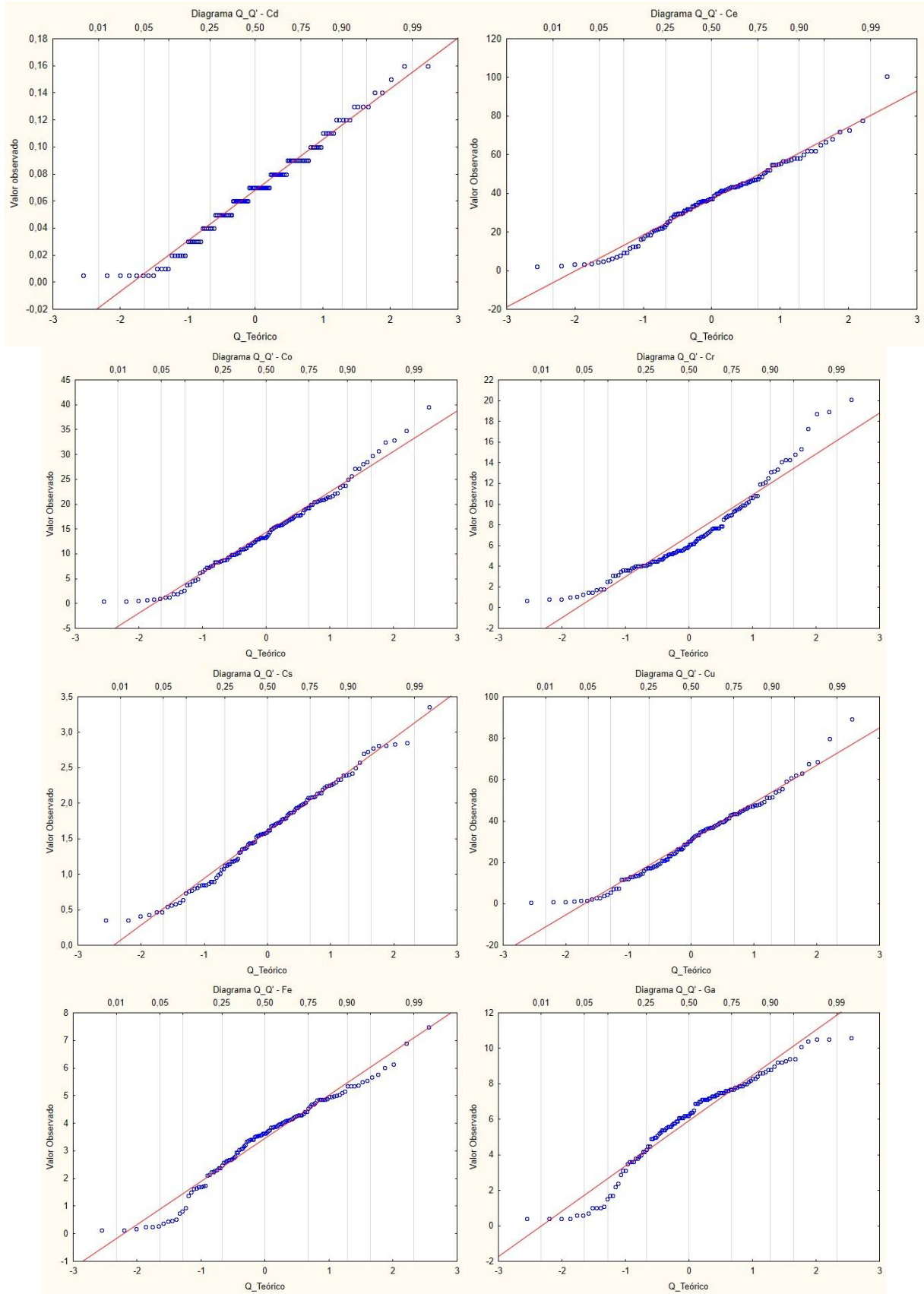
Figura 74 - Histogramas dos 46 elementos analisados evidenciando distribuição próxima da normal em 42 dos elementos estudados.

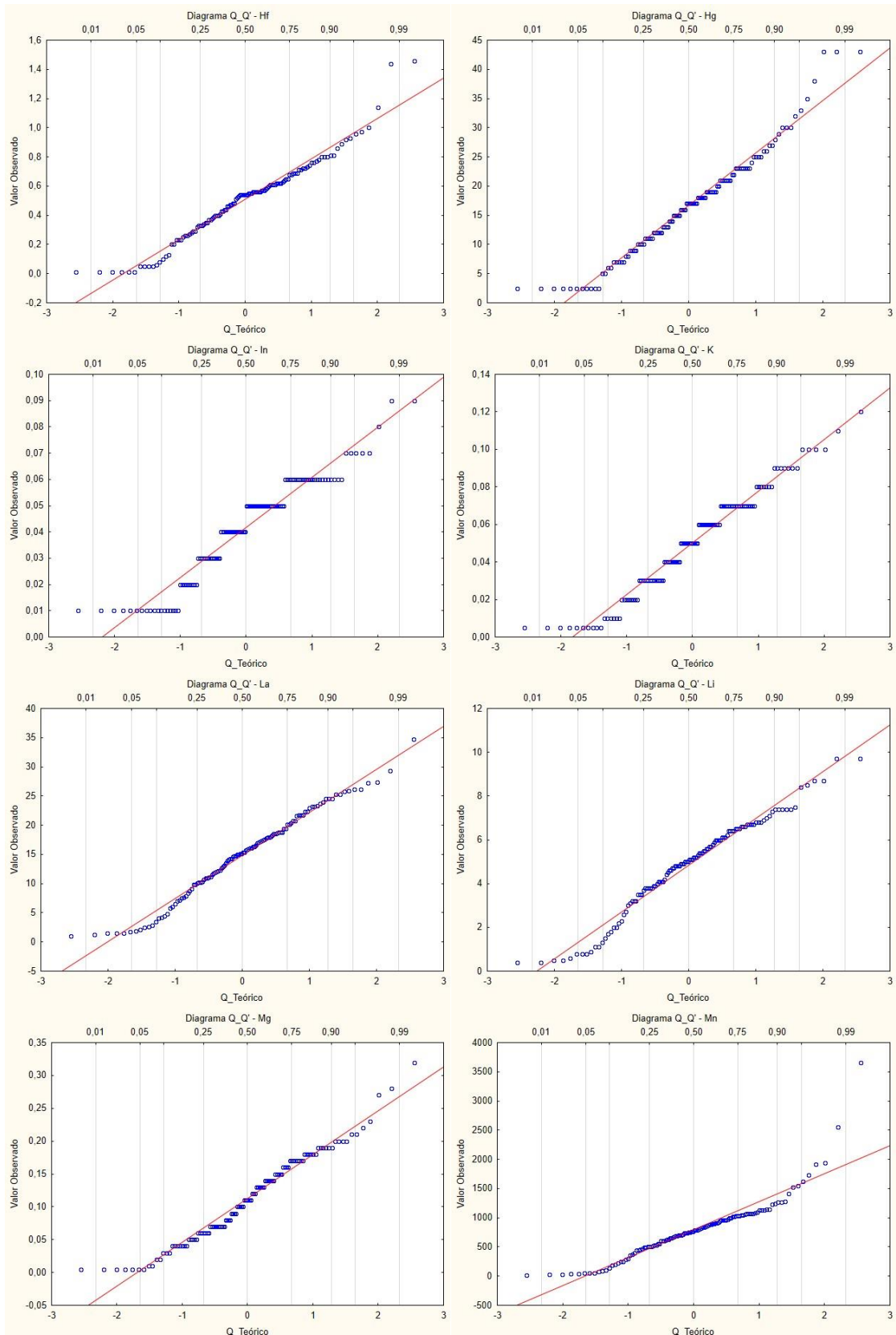
### 7.3.3 Diagramas Q-Q

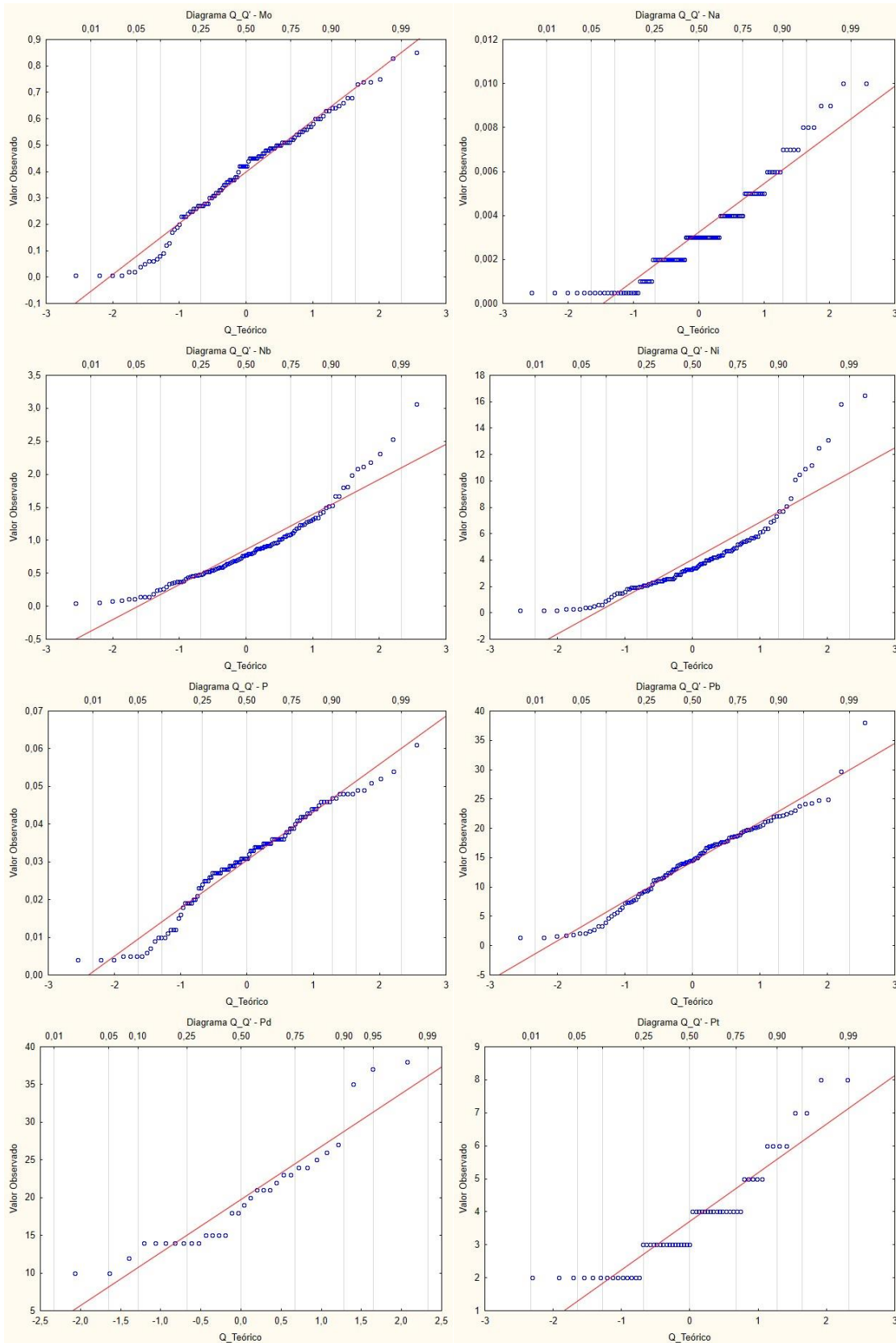
Diagramas Q-Q representam uma maneira gráfica de comparar a real distribuição de frequência com os valores teóricos para uma distribuição normal.

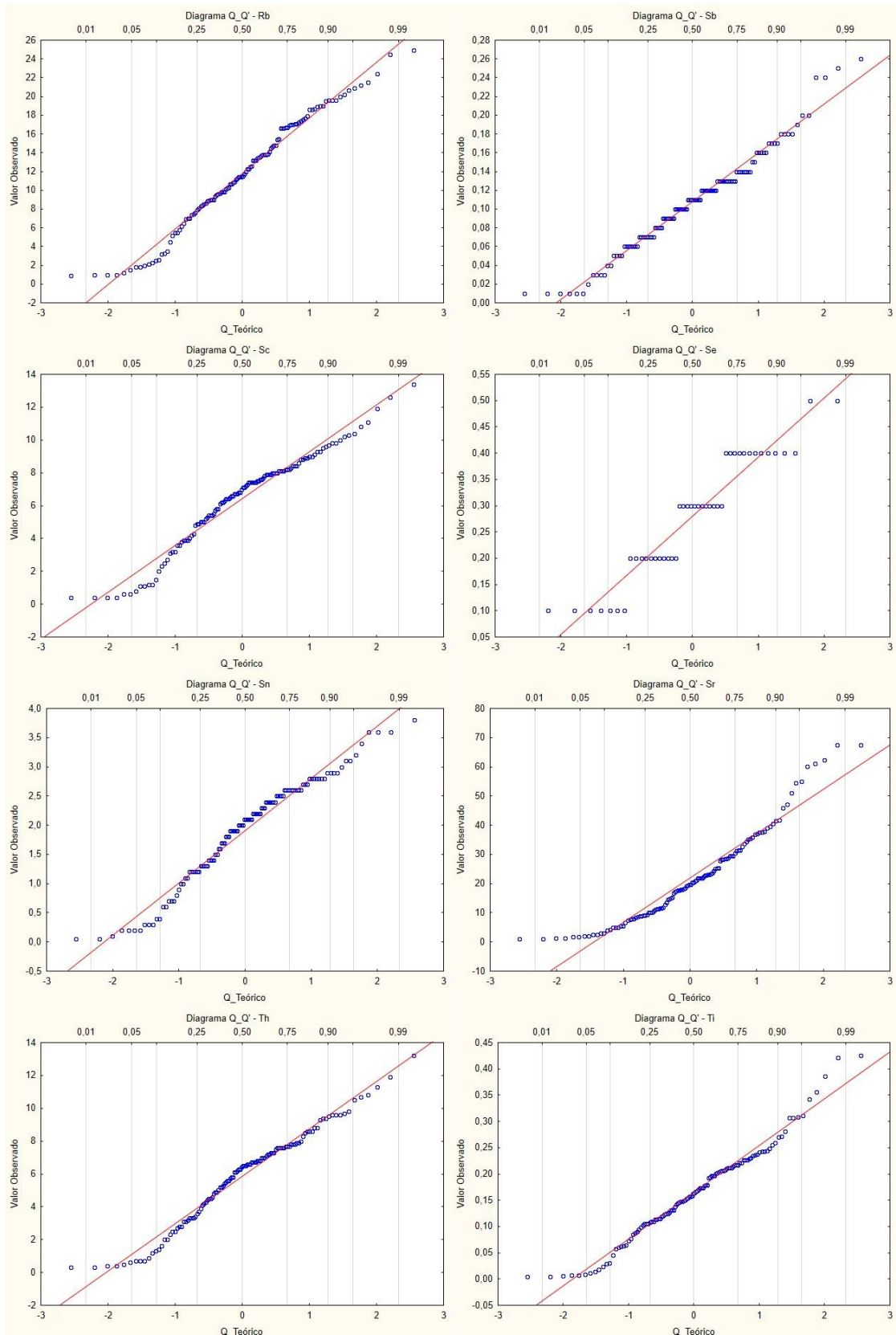
Os diagramas abaixo mostram o comportamento dos elementos investigados (Figura 75).













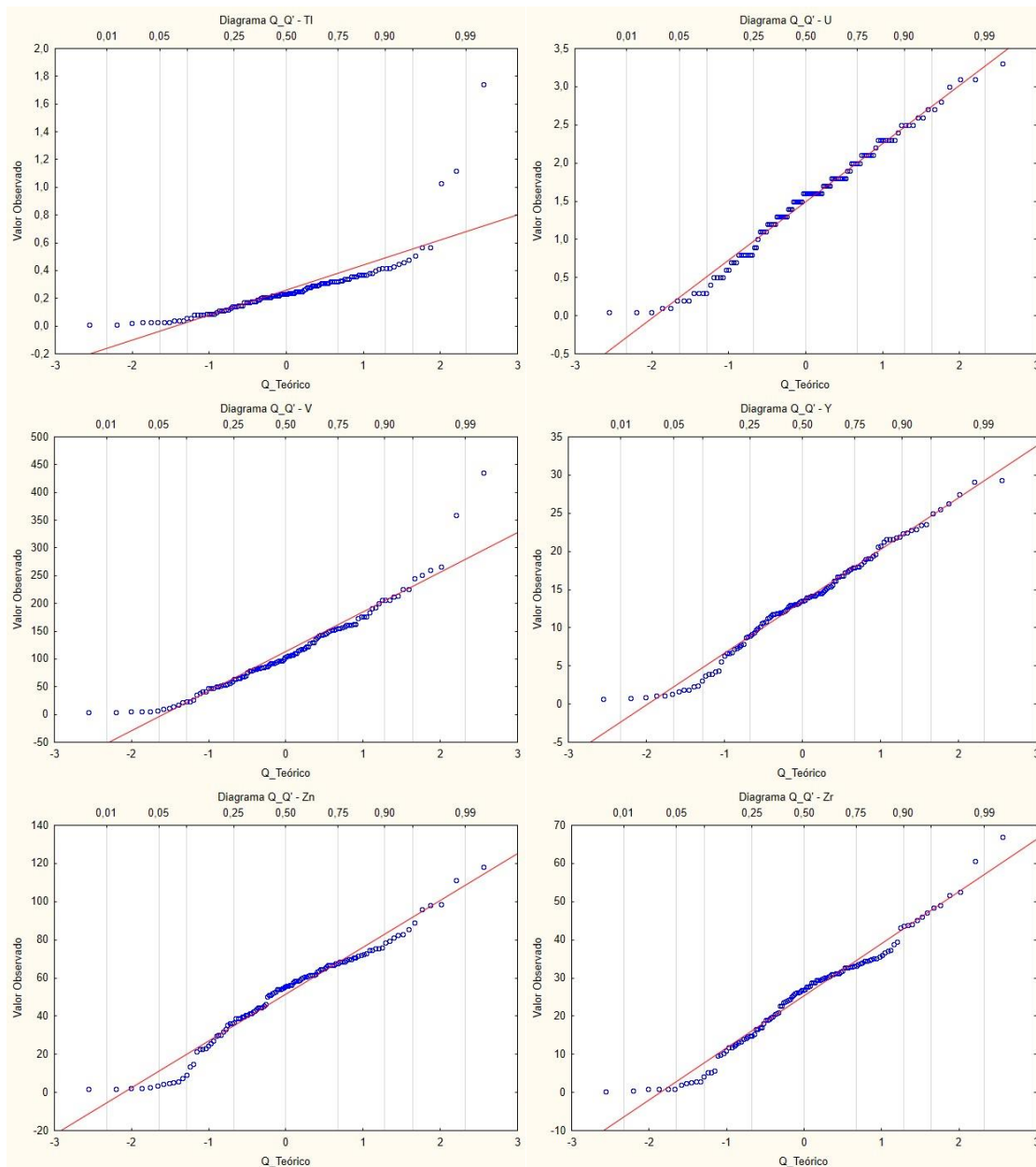
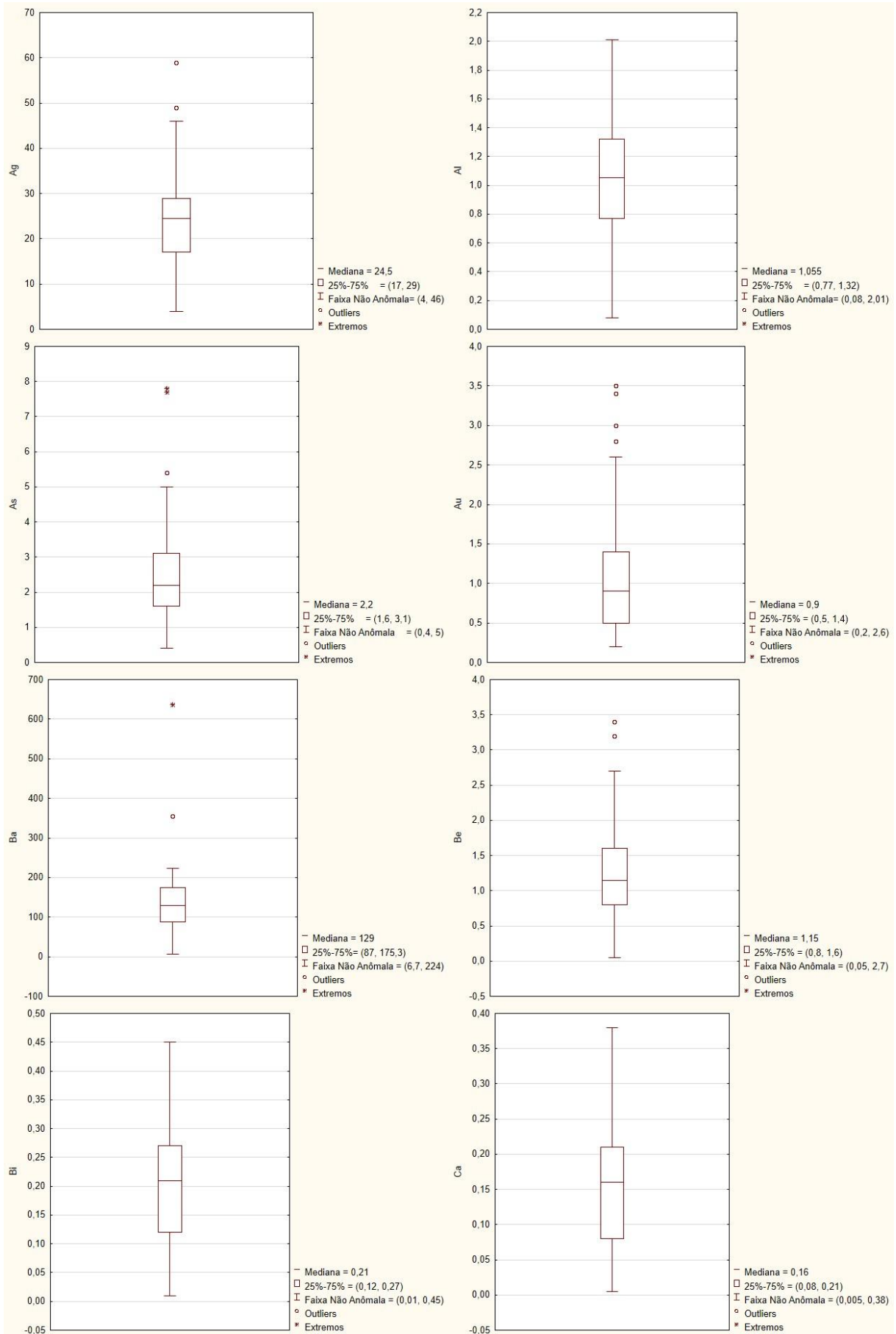


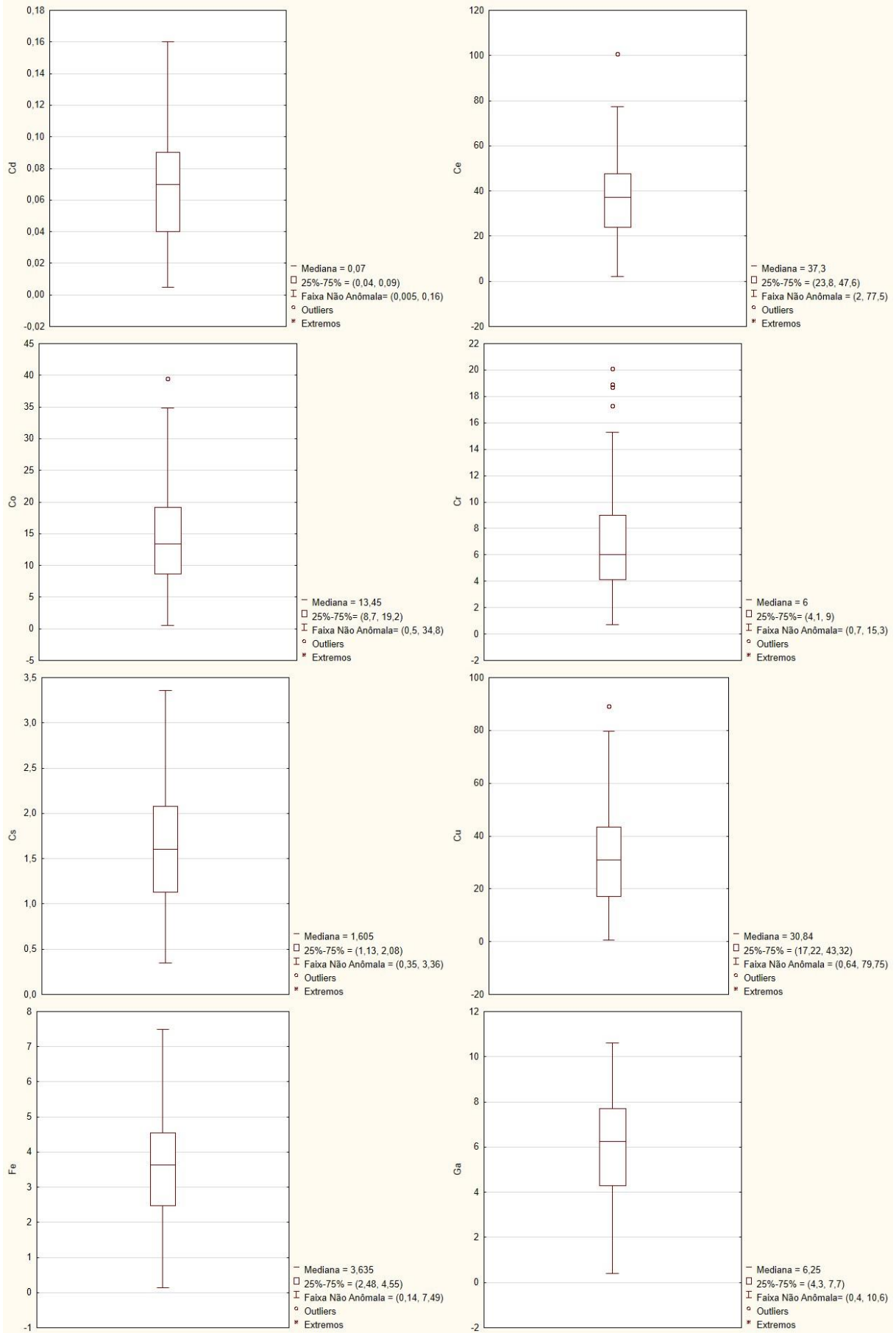
Figura 75 - Diagramas Q-Q dos 46 elementos investigados nos sedimentos de corrente da Folha Sobradinho.

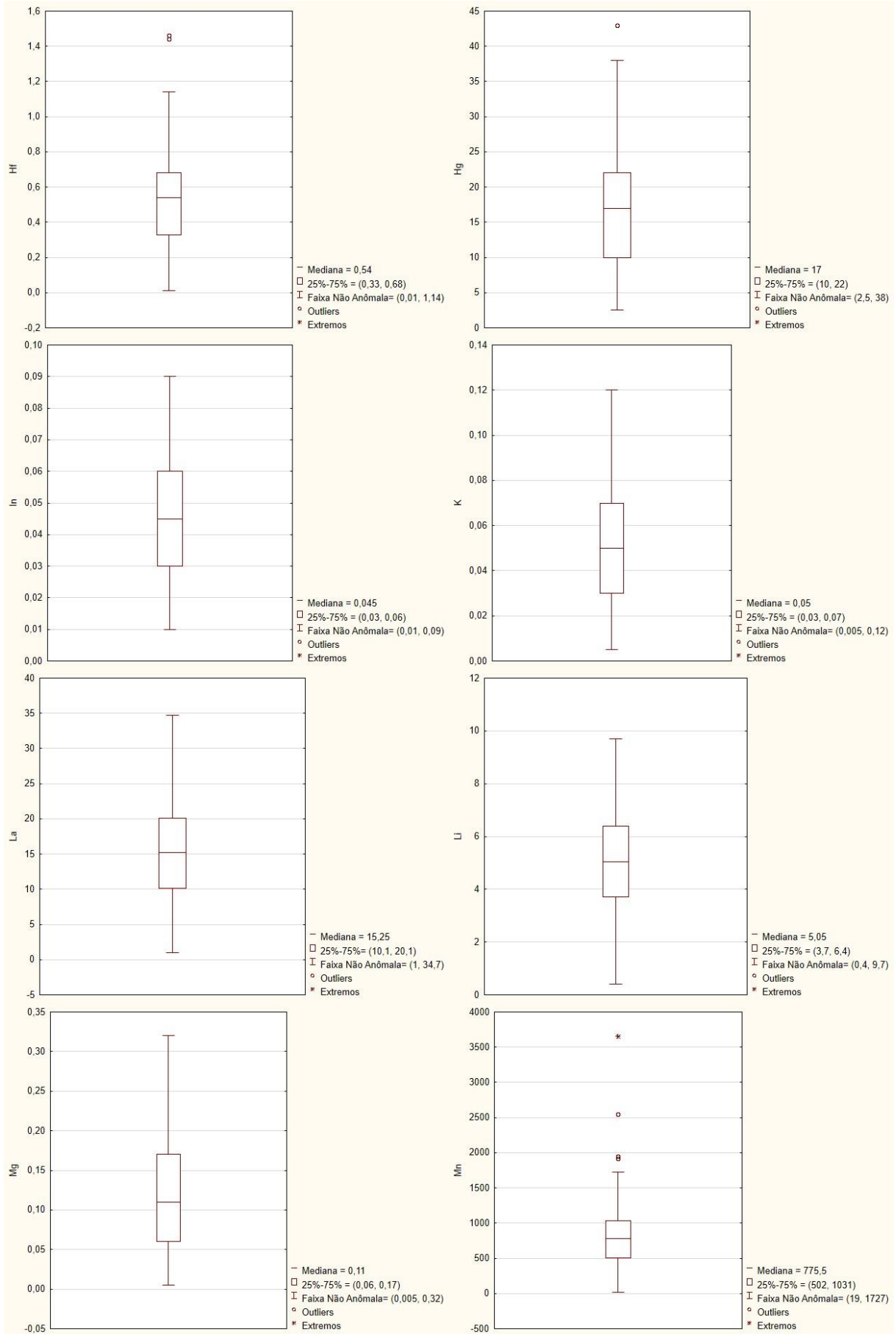
### 7.3.4 Diagramas Box-Whisker

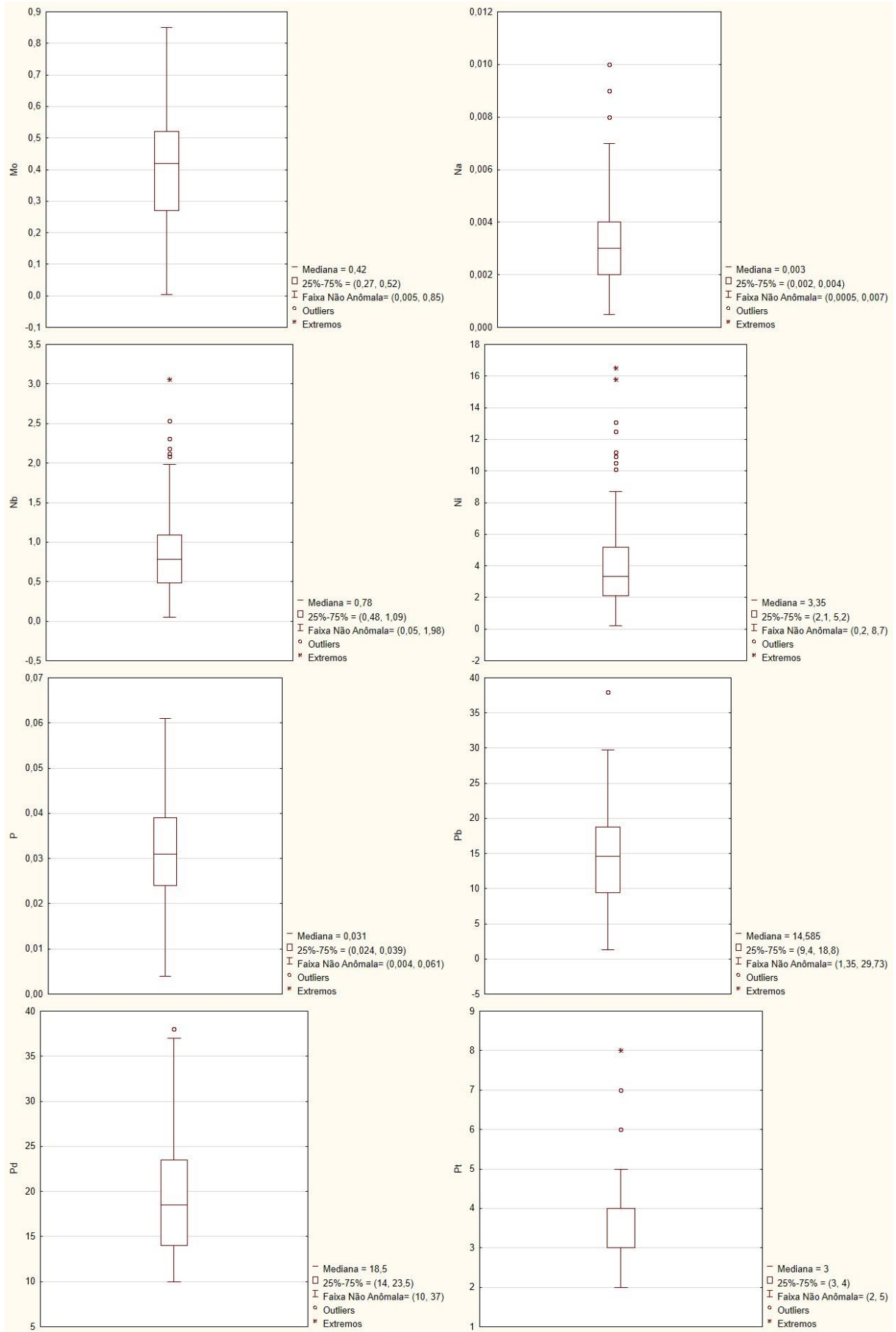
Com o auxílio do software Statistica, foram examinados os gráficos *boxplots* de cada elemento com o objetivo de identificar os *outliers*, valores ex-

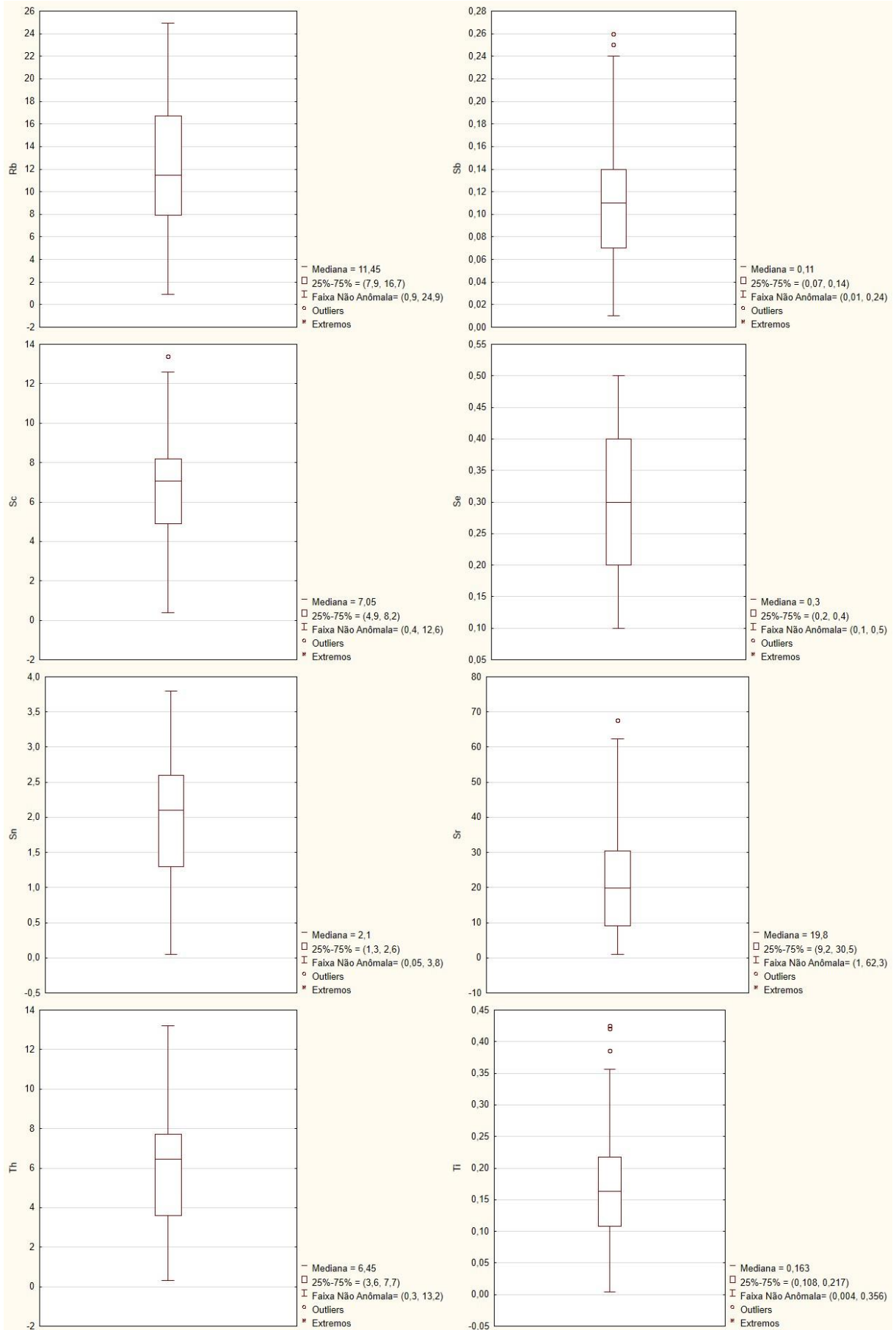
tremos, determinação de intervalo de classes para fornecer suporte na geração de mapas de elementos individuais e integrados (Figura 76).











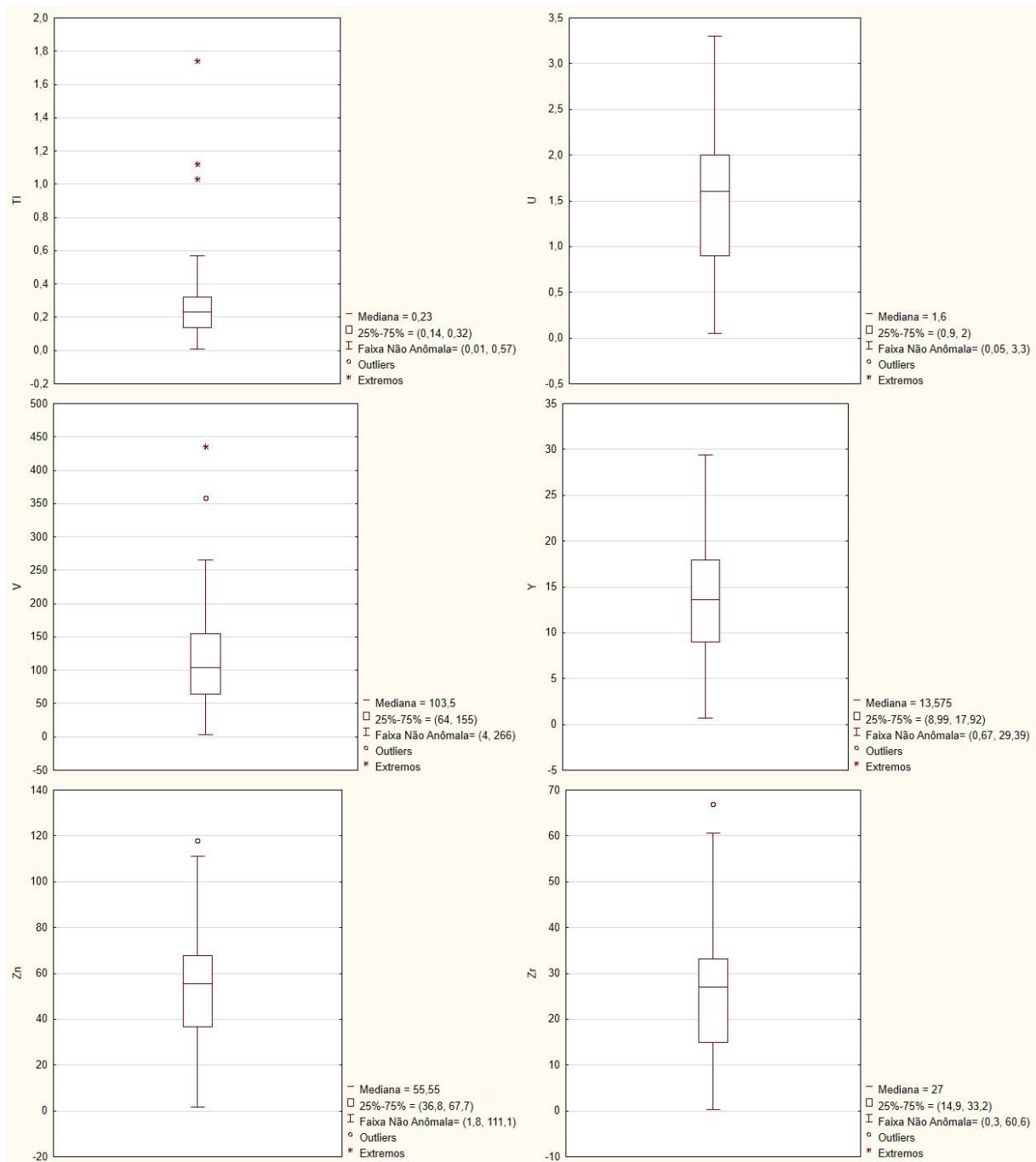


Figura 76 - Diagramas Box-Plot mostrando a ordem estatística de forma gráfica para os 46 elementos estudados na Folha Sobradinho.

Apesar dos gráficos *boxplot* serem menos detalhados que os histogramas eles possuem vantagens em relação aos mesmos, pois seu formato independe do intervalo utilizado para elaborar o histograma. Dessa forma, uma vez que a escala de apresentação é razoável, o diagrama permite uma rápida avaliação da distribuição da frequência. Da mesma forma gráficos *box-plot* são definidos com base em parâmetros robustos de distribuição, sendo os valores limítrofes gerados em função dos próprios valores disponíveis, e não em função de algum modelo teórico de distribuição (Andriotti, 2010).

#### 7.4 DISTRIBUIÇÃO DOS ELEMENTOS, CÁLCULO DAS ANOMALIAS E ESTAÇÕES ANÔMALAS

A primeira classe de valores adotada nesse trabalho corresponde ao intervalo que se distribui entre os valores mínimos de cada elemento até o primeiro quartil (Q1). Os valores mínimos foram utilizados e não as classes (Q1 a Q1 – 1,5 IQR) porque

nesse intervalo não foram observados resultados válidos, fornecendo apenas números negativos. A classe seguinte segue contendo os valores de Q1 até a mediana (Q2), a seguinte da mediana ao terceiro quartil (Q3), seguida pela classe determinada pelo intervalo de Q3 até (Q3 + 1,5 IQR), continuada pela

classe que contém os resultados superiores à (Q3 + 1,5 IQR) até os valores máximos (Tabela 11).

As amostras com teores de elementos anômalos, classe 1, conforme intervalo de classes definidos com base no *boxplot* dos elementos estudados da Folha Sobradinho 1:100.000 são apresentados na Tabela 12.

Tabela 11 - Tabela contendo o intervalo de classes dos elementos analisados, calculados com o uso do boxplot.

Classes	Classe 5	Classe 4	Classe 3	Classe 2	Classe 1
Elem	VM até Q1	Q1 a Mediana	Mediana a Q3	Q3 a (Q3 + 1,5 IQR)	>(Q3+1,5IQR)
<b>Ag-ppb</b>	de 4,00 até 17,00	de 17,001 até 24,500	de 24,501 até 29,000	de 29,001 até 47,000	>47,000
<b>Al-%</b>	de 0,08 até 0,77	de 0,771 até 1,055	de 1,0551 até 1,3200	de 1,321 até 2,145	>2,145
<b>As-ppm</b>	de 0,40 até 1,61	de 1,611 até 2,200	de 2,201 até 3,100	de 3,101 até 5,350	>5,350
<b>Au-ppb</b>	de 0,20 até 0,51	de 0,511 até 0,900	de 0,901 até 1,400	de 1,401 até 2,750	>2,750
<b>Ba-ppm</b>	de 6,70 até 87,00	de 87,001 até 129,000	de 129,001 até 175,300	de 175,301 até 307,750	>307,750
<b>Be-ppm</b>	de 0,05 até 0,81	de 0,811 até 1,150	de 1,151 até 1,600	de 1,601 até 2,800	>2,800
<b>Bi-ppm</b>	de 0,01 até 0,12	de 0,121 até 0,210	de 0,211 até 0,270	de 0,271 até 0,495	>0,495
<b>Ca-%</b>	de 0,005 até 0,080	de 0,081 até 0,160	de 0,161 até 0,210	de 0,211 até 0,405	>0,405
<b>Cd-ppm</b>	de 0,005 até 0,040	de 0,041 até 0,070	de 0,071 até 0,090	de 0,091 até 0,165	>0,165
<b>Ce-ppm</b>	de 2,00 até 23,80	de 23,801 até 37,300	de 37,301 até 47,600	de 47,601 até 83,300	>83,300
<b>Co-ppm</b>	de 0,50 até 8,70	de 8,701 até 13,450	de 13,451 até 19,200	de 19,201 até 34,950	>34,950
<b>Cr-ppm</b>	de 0,70 até 4,10	de 4,101 até 6,000	de 6,001 até 9,000	de 9,001 até 16,350	>16,350
<b>Cs-ppm</b>	de 0,35 até 1,13	de 1,131 até 1,605	de 1,6051 até 2,0800	de 2,081 até 3,505	>3,505
<b>Cu-ppm</b>	de 0,64 até 17,22	de 17,221 até 30,840	de 30,841 até 43,320	de 43,321 até 82,470	>82,470
<b>Fe-%</b>	de 0,14 até 2,48	de 2,481 até 3,635	de 3,6351 até 4,5500	de 4,551 até 7,655	>7,655
<b>Ga-ppm</b>	de 0,40 até 4,30	de 4,301 até 6,250	de 6,251 até 7,700	de 7,701 até 12,800	>12,800
<b>Hf-ppm</b>	de 0,01 até 0,33	de 0,331 até 0,540	de 0,541 até 0,680	de 0,681 até 1,205	>1,205
<b>Hg-ppb</b>	de 2,50 até 10,00	de 10,001 até 17,000	de 17,001 até 22,000	de 22,001 até 40,000	>40,000
<b>In-ppm</b>	de 0,01 até 0,03	de 0,031 até 0,0450	de 0,0451 até 0,0600	de 0,061 até 0,105	>0,105
<b>K-%</b>	de 0,005 até 0,030	de 0,031 até 0,050	de 0,051 até 0,0700	de 0,071 até 0,130	>0,130
<b>La-ppm</b>	de 1,00 até 10,10	de 10,101 até 15,250	de 15,251 até 20,100	de 20,101 até 35,100	>35,100
<b>Li-ppm</b>	de 0,40 até 3,70	de 3,701 até 5,050	de 5,051 até 6,400	de 6,401 até 10,450	>10,450
<b>Mg-%</b>	de 0,005 até 0,060	de 0,061 até 0,110	de 0,111 até 0,170	de 0,171 até 0,335	>0,335
<b>Mn-ppm</b>	de 19,00 até 502,00	de 502,001 até 775,500	de 775,501 até 1031,000	de 1031,001 até 1824,500	>1824,500
<b>Mo-ppm</b>	de 0,005 até 0,270	de 0,271 até 0,420	de 0,421 até 0,520	de 0,521 até 0,895	>0,895
<b>Na-%</b>	de 0,0005 até 0,0020	de 0,0021 até 0,0030	de 0,0031 até 0,0040	de 0,0041 até 0,0070	>0,0070
<b>Nb-ppm</b>	de 0,05 até 0,48	de 0,481 até 0,780	de 0,781 até 1,090	de 1,091 até 2,005	>2,005
<b>Ni-ppm</b>	de 0,20 até 2,10	de 2,101 até 3,350	de 3,351 até 5,200	de 5,201 até 9,850	>9,850
<b>P-%</b>	de 0,004 até 0,024	de 0,0241 até 0,0310	de 0,0311 até 0,0390	de 0,0391 até 0,0615	>0,0615
<b>Pb-ppm</b>	de 1,35 até 9,40	de 9,401 até 14,585	de 14,5851 até 18,8000	de 18,801 até 32,900	>32,900
<b>Pd-ppm</b>	de 10,00 até 14,00	de 14,001 até 18,500	de 18,501 até 23,500	de 23,501 até 37,750	>37,750
<b>Pt-ppb</b>	de 2,00 até 3,00	de 3,001 até 3,003	de 3,004 até 4,000	de 4,001 até 5,500	>5,500
<b>Rb-ppm</b>	de 0,90 até 7,90	de 7,901 até 11,450	de 11,451 até 16,700	de 16,701 até 29,900	>29,900
<b>Sb-ppm</b>	de 0,01 até 0,07	de 0,071 até 0,110	de 0,111 até 0,140	de 0,141 até 0,245	>0,245
<b>Sc-ppm</b>	de 0,40 até 4,90	de 4,901 até 7,050	de 7,051 até 8,200	de 8,201 até 13,150	>13,150



Classes	Classe 5	Classe 4	Classe 3	Classe 2	Classe 1
Se-ppm	de 0,10 até 0,20	de 0,201 até 0,300	de 0,301 até 0,400	de 0,401 até 0,700	>0,700
Sn-ppm	de 0,05 até 1,30	de 1,301 até 2,100	de 2,101 até 2,600	de 2,601 até 4,550	>4,550
Sr-ppm	de 1,00 até 9,20	de 9,201 até 19,800	de 19,801 até 30,500	de 30,501 até 62,450	>62,450
Th-ppm	de 0,30 até 3,60	de 3,601 até 6,450	de 6,451 até 7,700	de 7,701 até 13,850	>13,850
Ti-%	de 0,004 até 0,108	de 0,1081 até 0,1630	de 0,1631 até 0,2170	de 0,2171 até 0,3805	>0,3805
Tl-ppm	de 0,01 até 0,14	de 0,141 até 0,230	de 0,231 até 0,320	de 0,321 até 0,590	>0,590
U-ppm	de 0,05 até 0,90	de 0,901 até 1,600	de 1,601 até 2,000	de 2,001 até 3,650	>3,650
V-ppm	de 4,00 até 64,00	de 64,001 até 103,500	de 103,501 até 155,000	de 155,001 até 291,500	>291,500
Y-ppm	de 0,67 até 8,99	de 8,991 até 13,575	de 13,5751 até 17,9200	de 17,921 até 31,315	>31,315
Zn-ppm	de 1,80 até 36,80	de 36,801 até 55,550	de 55,551 até 67,700	de 67,701 até 114,050	>114,050
Zr-ppm	de 0,30 até 14,90	de 14,901 até 27,000	de 27,001 até 33,200	de 33,201 até 60,650	>60,650

(continuação)

Tabela 12 - Amostras com teores anômalos da Folha Sobradinho.

NUM_CAMPO	LONG_DEC	LAT_DEC	N_LAB	ANOMALIAS PONTOS
EM-001	-53,0667840	-29,388590	JCE-604	Au
EM-004	-53,1262450	-29,408496	JCE-607	Na-Sr
EM-005	-53,2032910	-29,380892	JCE-608	Ni
EM-006	-53,1634190	-29,405605	JCE-609	Sr
EM-011	-53,1123200	-29,476131	JCE-614	Pt
EM-014	-53,3239260	-29,469945	JCE-617	Ni
EM-015	-53,2163860	-29,469945	JCE-618	Na-Pt
EM-016	-53,2336490	-29,464035	JCE-619	Na
EM-019	-53,0316460	-29,307475	JCE-622	Hg - Nb
EM-022	-53,2846440	-29,491885	JCE-625	Na - Ni
EM-024	-53,2101280	-29,435730	JCE-627	Na1Ti1Zn1
EM-025	-53,0217470	-29,433663	JCE-628	Hg - Nb
EM-026	-53,1548770	-29,349060	JCE-629	Pt
EM-031	-53,1452700	-29,277692	JCE-634	Pt
EM-036	-53,0837310	-29,161808	JCE-639	Pt
EM-037	-53,0731340	-29,155231	JCE-640	Au
EM-038	-53,0714750	-29,144421	JCE-641	Au - Hf - Nb
EM-039	-53,0753110	-29,143127	JCE-642	Cr - Cu - Ni - V
EM-041	-53,0990060	-29,140574	JCE-644	Cr - Ni - V
EM-048	-53,0037380	-29,021731	JCE-651	As - Hf - Zr
EM-056	-53,3152510	-29,037326	JCE-659	Be
EM-066	-53,1932010	-29,144713	JCE-669	Mn
EM-079	-53,4396670	-29,127777	JCE-682	Au
EM-082	-53,4659530	-29,074890	JCE-685	Ag - Nb
EM-089	-53,2937040	-29,311611	JCE-692	As - Ba - Mn - Pt - Sb - Tl
EM-091	-53,2784920	-29,316009	JCE-694	As - Ba - Mn - Na - Tl
EM-093	-53,2908440	-29,329881	JCE-696	Pt
EM-094	-53,2421850	-29,270200	JCE-697	Na - Ni
EM-105	-53,4194570	-29,367786	JCE-708	Ag - As - Ba - Be - Ce - Mn - Pb - Pd - Sb - Tl
EM-106	-53,4001190	-29,389637	JCE-709	Nb
EM-107	-53,3278970	-29,413309	JCE-710	Na



## 7.6 ANÁLISE DE AGRUPAMENTOS

Foi utilizada como metodologia para o estudo de agrupamentos de elementos a construção sequencial de dendrogramas. Para a construção do dendrograma foram utilizados os principais elementos analisados que apresentavam índices de correlações significativos com outros, acima de 0,70. Foi utilizado o método de variância mínima (método de Ward) e a distância métrica  $1 - r$  de Pearson para 42 elementos (Figura 77).

A análise de agrupamento permitiu definir as principais associações de elementos químicos relacionadas com as principais litologias que ocorrem na área. Tomando a distância de ligação de 0,51 observam-se os seguintes agrupamentos geoquímicos que correspondem basicamente às associações de elementos observadas na matriz de correlação:

- A associação Zn-Ti-Ni-Cr-V-Cu-Co é típica de rochas máficas, sendo atribuído a esse um controle litológico associado às rochas vulcânicas básicas que ocorrem na área de estudo, representa-

das por basaltos baixo TiO<sub>2</sub> do tipo Esmeralda e Gramado.

- A associação de Na-Mg-K-Sr-Ca provavelmente é relacionada as fases minerais: feldspato alcalino, biotita e plagioclásio, presentes nos riolitos do Grupo Palmas, abundantes na área de estudo.
- Já os elementos relacionados no dendrograma e representados por Y-La-U-Th-Pb-Ce-Bi-Sb-Mo-As provavelmente estão relacionados também a um controle litológico, e representam os elementos traços e menores presentes nas rochas ácidas vulcânicas da Formação Serra Geral, representadas na área pelas rochas vulcânicas do Tipo Palmas.
- Os elementos In-Sc-Ga-Fe-Li-Al podem estar representando associações com sedimentos provenientes dos arenitos e paleossolos da Formação Caturrita, bem como aos pelitos vermelhos do Membro Alemoa, Grupo Rosário do Sul, Bacia do Paraná.
- As associações concebidas por Zr-Hf e Ag-Cd-P-Rb-Sn-Hg-Nb podem estar relacionadas a associações sedimentares como aluviões e areias Quaternárias que afloram na área deste trabalho.

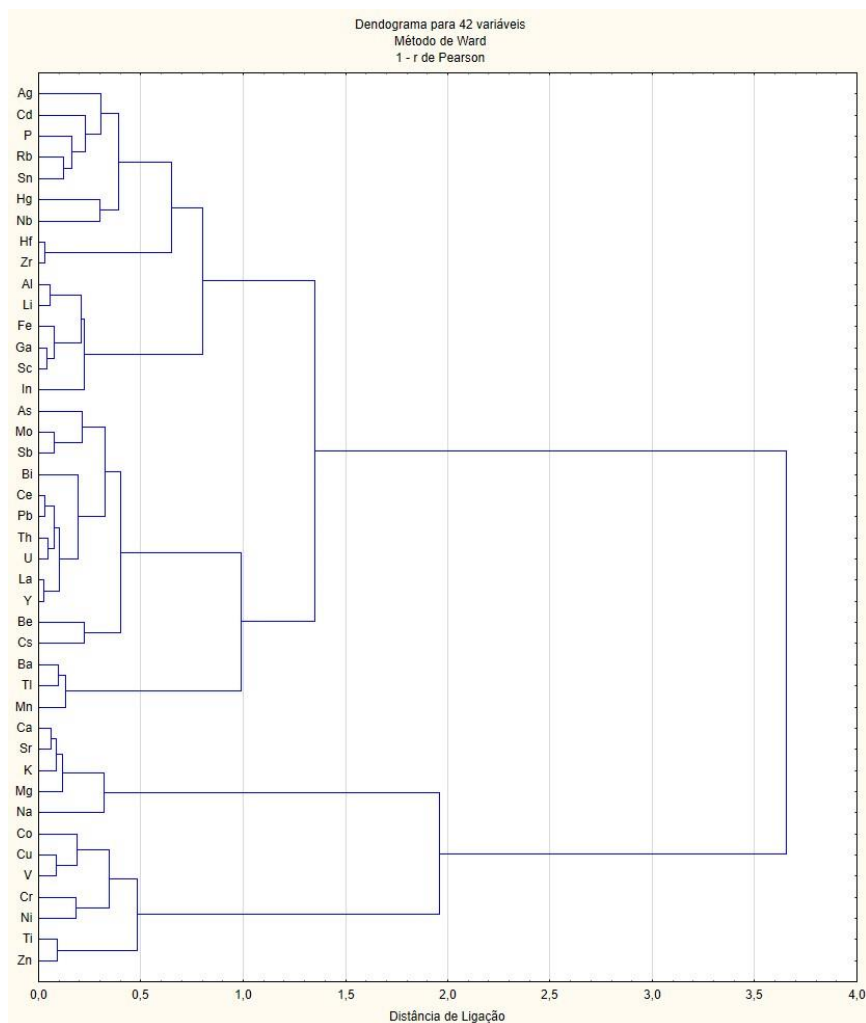


Figura 77 - Dendrograma para 42 elementos.

## 7.7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A partir da análise do mapa geoquímico (Figura 78), algumas conclusões podem ser apresentadas para a Folha Sobradinho:

- As zonas anômalas representadas pela associação de elementos Cr-Cu-Ni-Zn-V-Co-Ti-Sc estão relacionados a um controle litológico, traduzido pela ocorrência de basaltos baixo TiO<sub>2</sub> do tipo Esmeralda e Gramado. Este critério também é atribuído as zonas anômalas com a ocorrência de apenas um elemento, como platinóides, níquel ou titânio.
- As zonas anômalas identificadas pelos elementos As-Ba-Be-U-Th-Pb-Ce-Sb-Pt-Pd-Tl também pare-

cem estar relacionados a um controle litológico, e representam os elementos traços e menores presentes em rochas vulcânicas ácidas da Formação Serra Geral, representadas na área pelas rochas vulcânicas do Tipo Palmas.

- As anomalias representadas pelas associações de Zr-Hf e Ag-Hg-Nb podem estar relacionadas a associações sedimentares como aluviões e areias quaternárias que afloram na área deste trabalho.
- Dessa forma, as diferentes zonas anômalas, assim como as anomalias pontuais encontradas na Folha Sobradinho parecem ser controladas pelas diferentes litologias e sedimentos que ocorrem na área de mapeamento.

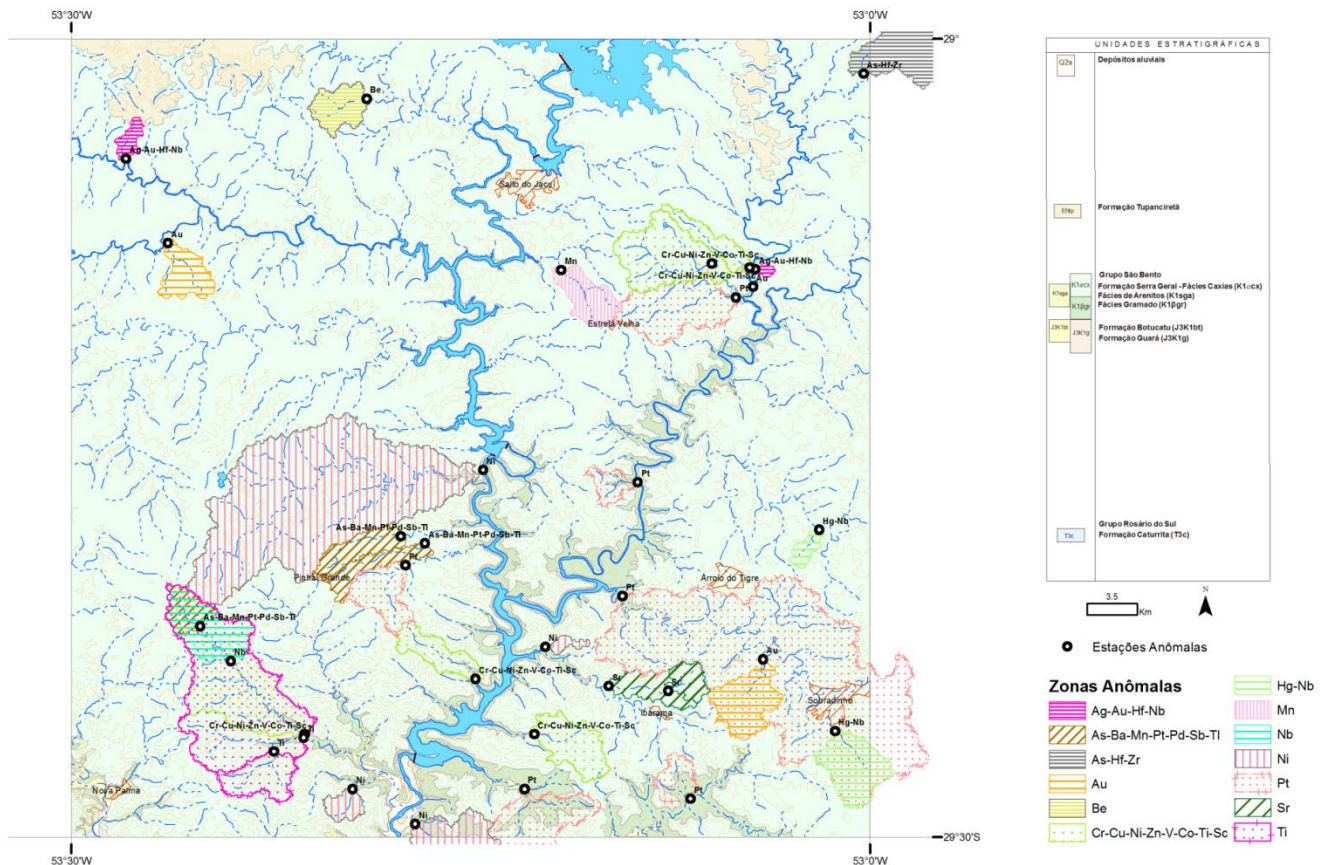


Figura 78 - Mapa geoquímico da Folha Sobradinho.

## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

---

O mapeamento geológico realizado na escala 1:100.000, procurou integrar os dados sobre estratigrafia, geologia estrutural e recursos minerais, que contou com ferramentas do Sistema de Informações Geográficas para geração de banco de dados. O estudo de petrografia e geoquímica em rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, aliado a informações disponíveis na literatura geológica recente, também permitiu uma melhor compreensão das relações tectonoestratigráficas entre as unidades presentes na Folha Sobradinho.

Os arquivos constituintes do SIG encontram-se em formato vetorial e raster, compatíveis com a escala 1:100.000. Os arquivos digitais podem ser manipulados através do Programa ArcExibe 8.0 (visualizador da CPRM, de livre distribuição e disponível neste DVD) e acessados no site da CPRM através de seu banco de dados institucional, o GEOBANK.

Na Folha Sobradinho foram mapeadas principalmente sequências litoestratigráficas da Bacia do Paraná relacionadas a unidades vulcânicas das fácies Gramado (básicas) e Caxias (ácidas), sendo esta última, a mais representativa em termos de cobertura da folha.

Com relação ao caráter geoquímico das unidades vulcânicas, as rochas analisadas foram classificadas como básica e ácida. A unidade básica foi classificada como basaltos e andesi-basaltos de caráter toleítico baixo-Ti, correspondentes aos magmas tipo Gramado e Esmeralda, sendo representada pela Fácies Gramado. No caso da unidade ácida, a mesma foi classificada como dacitos e riolitos do tipo Palma, que na folha é representada pela Fácies Caxias. Com relação à unidade ácida, coexistem rochas baixo-TiO<sub>2</sub>, correspondente ao sub-tipo Santa Maria, e alto-

TiO<sub>2</sub>, representadas pelos sub-tipos Caxias do Sul e Jacuí, com predominância das litologias do sub-tipo Caxias do Sul.

Os depósitos de ágatas presentes no Distrito Mineiro de Salto do Jacuí constituem as principais reservas do país. As ágatas ocorrem na condição de geodos mineralizados, e possuem forma semiesférica alongada ou irregular. Em casos especiais os geodos podem chegar a 1 metro de diâmetro, sendo a variedade “Umbu” de cor azul homogênea o tipo mais exportado. As ágatas são exploradas em lavras a céu aberto nos arredores da cidade de Salto do Jacuí em garimpos próximos às margens dos rios Jacuí e Iváí. Os depósitos estão localizados nas porções basais da Fácies Caxias, e o nível mineralizado corresponde ao subtipo Caxias do Sul.

O padrão estrutural da folha tem sua geração ligada a ambiente intracratônico em níveis crustais rasos. Desta maneira, o regime deformacional é rúptil, com predomínio de estruturas tipo falhas e juntas. A partir da fotointerpretação de imagens de satélite e modelos digitais de terreno foram definidos dois terrenos distintos quanto ao padrão estrutural, representados pelos Domínios 01 (NW) e 02 (SE), sendo a distinção realizada com base na densidade de lineamentos, que é nitidamente maior no Domínio 02. Os dois domínios encontram-se delimitados por uma extensa estrutura de falha normal do sistema NE que secciona de forma diagonal a Folha Sobradinho, definindo a SE, um bloco alto com maior incidência de deformação rúptil, e onde estão expostos os terrenos da Fácies Gramado e sequências sedimentares sotopostas, sendo esse conjunto capeado pelos derrames da Fácies Caxias.

A cartografia geológica da Folha Sobradinho confirmou a clara interdigitação entre arenitos eólicos da Formação Botucatu e fluxos de lavas básicos e ácidos da Formação Serra Geral. Na folha foram descritas camadas de arenitos intertrápicos e brechas peperíticas intercalados nas fácies Gramado e Caxias. No caso da Fácies Caxias, foi possível cartografar grandes pacotes lenticulares de arenito em escala de mapeamento na região que compreende as cidades de Sobradinho, Ibarama e Arroio do Tigre no sudeste da folha. Como unidade litoestratigráfica, estes pacotes são classificados como Fácies Arenitos, e comprova a contemporaneidade entre as atividades sedimentar eólica (Botucatu) e o vulcanismo (Serra Geral).

Na região norte da Folha Sobradinho foram cartografadas rochas da Formação Tupanciretã. Os afloramentos desta unidade possuem destaque, pois caracterizam-se como áreas erodidas na forma de ravinas ou grandes depressões geradas em razão das características friáveis dos sedimentos. Os resultados das análises mineralógicas e petrográficas apontaram como área fonte dos sedimentos as rochas do Escudo Sul-rio-grandense. A ocorrência de grãos minerais como feldspato microclínio, turmalina e quartzo policrostalinado com extinção ondulante corroboram como área fonte da unidade, as rochas metamórficas e graníticas comuns a embasamento.

A interpretação dos resultados de sedimentação de corrente permitiu identificar anomalias pontuais e zonas anômalas no mapa geoquímico. Estas anomalias parecem ser controladas unicamente pelas litologias vulcânicas e sedimentos que ocorrem na Folha Sobradinho. Os resultados obtidos refletem a ocorrência de vulcanismo bimodal da Formação Serra Geral com ampla predominância de rochas vulcânicas ácidas da Fácies Caxias.

Como recomendação para trabalhos posteriores fica indicada que a exploração de ágata na Folha Sobradinho está condicionada a identificação de novas camadas mineralizadas que compõem a Estrutura Jacuí. De acordo com trabalhos anteriores, as áreas mais promissoras para ocorrência de ágata localizam-se nas porções sudoeste, sudeste e extremo leste do Distrito Mineiro de Salto do Jacuí em cotas situadas entre 200 e 220 metros. Desta maneira, seria adequada a realização de furos de sondagem para exploração de novos horizontes vulcânicos mineralizados. O trabalho de cartografia geológica identificou que a porção basal da Fácies Caxias no contato com a Fácies Gramado na região de Salto do Jacuí constitui a rocha hospedeira das mineralizações de ágata.

## 9 REFERÊNCIAS

- AGOSTINI, I. M.; FIORENTINI, J. A.; JUCHEM, P. L.; BRUM, T. M. M. de. *Ágata do Rio Grande do Sul*. Brasília: DNPM, 1998.
- ALMEIDA, F.F.M. Síntese sobre a tectônica da Bacia do Paraná. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 2., 1981. *Atas...* SBG, São Paulo: SBG, 1981.
- ALMEIDA, F.F.M.; MELO, M.S.A. 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, 1981. v.1, p.46-81. Escala 1:500.000.
- ANDREIS, R. R.; BOSSI, G. E.; MONTARDO, D. K. O Grupo Rosário do Sul (Triássico) no Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31., Balneário de Camboriú, 1980. *Anais...* Balneário de Camboriú: SBG, 1980. p. 659-673.
- ANDRIOTTI, J. L. S. *Interpretação de dados de prospecção geoquímica com o auxílio de estatística*. Porto Alegre: CPRM, 2010. 73 p.
- AUGUSTIN, A. H., JUCHEM, P. L., BRUM, T. M. M., FISCHER, A. C. Opala no Rio Grande do Sul In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 42., 2004. *Anais...* Belo Horizonte: SBG, 2004. p.861.
- BELLIENI, G.; BROTZU, P.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; ERNESTO, M.; MELFI, A.J.; PACCA, I.G.; PICCIRILLO, E.M. Flood basalt to rhyolite suites in the Southern Paraná plateau (Brazil): paleomagnetism, petrogenesis and geodynamic implications. *J. Petrol.*, v.25, p. 579-618, 1984a.
- BELLIENI, G.; BROTZU, P.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; ERNESTO, M.; MELFI, A.J.; PACCA, I.G.; PICCIRILLO, E.M. and STOLFA, D. Petrological and paleomagnetic data on the plateau basalt to rhyolite sequences of the southern Paraná basin (Brazil). *An. Acad. Brasil. Ciênc.*, v.55, p.355-383, 1983.
- BELLIENI, G.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; MARQUES, L.S.; MELFI, A.J.; NARDY, A.J.R.; PAPTRECHAS, C.; PICCIRILLO, E.M.; ROISENBERG, A.; STOLFA, D. Petrogenetic aspects of acid and basaltic lavas from the Paraná Plateau (Brazil): geological, mineralogical and petrochemical relationships. *J. Petrol.*, v.27, n. 4, p.915-944, 1986b.
- BELLIENI, G.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; MARQUES, L.S.; MELFI, A.J.; NARDY, A.J.R.; PAPTRECHAS, C.; PICCIRILLO, E.M.; ROISENBERG, A.; STOLFA, D. Petrogenetic aspects of acid and basaltic lavas from the Paraná Plateau (Brazil): Mineralogical and Petrochemical Relationships. *J. Petrol.*, v.27, n. 4, p. 945-964, 1986.
- BELLIENI, G.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; MARQUES, L.S.; MELFI, A.J.; NARDY, A.J.R.; C.; PICCIRILLO, E.M.; ROISENBERG, A. High and low-TiO<sub>2</sub> flood basalts from the Parana Plateau (Brazil): petrology and geochemical aspects bearing on their mantle origin. *N.J. Mineral. ;Abhl.*, v.150, p.273-306, 1984.
- BERGMAN, M.; PROVENZANO, C. A. *Projeto geologia e recursos minerais da Folha Três Passos, RS, SH.22-Y-C-1. Escala 1:100.000*. Porto Alegre: CPRM, [2013]. (Inédito)
- BORTOLUZZI, C. A. *Contribuição à geologia da região de Santa Maria, estado do Rio Grande do Sul*. 1971. 1 v. Dissertação (Mestrado) Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1971.
- BORTOLUZZI, C. A. Contribuição à geologia da região de Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil. *Pesquisas*, Porto Alegre, v. 4, n.1, p.7-86, 1974.
- BRANCO, P. M.; GIL, C. A. *Mapa gemológico do Estado do Rio Grande do Sul*. 2.ed. Porto Alegre: CPRM, 2002. (Informe de Recursos Minerais. Série Pedras Preciosas nº5).

- BRUM, T. M. M.; JUCHEM, P. L. ; AGOSTINI, I. M.; FIORENTINI, J. A. Classificação da ágata. In: AGOSTINI, I. M et al. *Ágata do Rio Grande do Sul*. Brasília: DNPM, 1998. p.37-63. (Série Difusão Tecnológica, 5).
- CARRARO, C; GAMERMANN, N.; EICK,N.C.; BORTOLUZZI, C.A.; JOST, H; PINTO, J. F. *Mapa geológico do Estado do Rio Grande do Sul*. Escala 1:1.000.000. Porto Alegre: UFRGS; Instituto de Geociências, 1974. (Mapa n.8)
- COFFIN, M. F.; ELDHOLM, O. Volcanism and continental break-up: a global compilation of large igneous provinces. *Geol Soc. of London Spec. Publ.* 68, p. 17-30, 1992.
- COMIN-CHIARAMONTI, P.; BELLINI, G.; PICCIRILLO, E.M.; MELFI, A.J. Classification and petrography of continental stratoid volcanics and related intrusives from the Paraná Basin (Brazil). In: PICCIRILLO, E.M.; MELFI, A.J. (Ed.) *The Mesozoic flood volcanism of the Paraná Basin*: petrogenetic and geophysical aspects. São Paulo: IAG-USP, p.47-72, 1988.
- CORDANI, V. G.; VANDOROS, P. Basaltic rocks of the Paraná basin. In: PROBLEMS in Brazilian Gondwana geology. Curitiba, 1967. p.207-223, 1967.
- CORDANI, V.G.; SARTORI, P.L.; KAWASHITA, K. Geoquímica dos isótopos de estrôncio e a evolução da atividade vulcânica na Bacia do Paraná (Sul do Brasil) durante o Cretáceo. *An. Acad. Brasil. Ciênc.*, v.52, p.811-818, 1980.
- COULON, F. K.; GAMERMANN, N. G.; FORMOSO, M. L. L. Considerações sobre a gênese da Formação Tupanciretã. *Pesquisas*, Porto Alegre, v.2, n.1, p.79-89, dez. 1973.
- CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Manual técnico da área de geoquímica: versão 6.0. [Recife], 2010. 69 f.
- CRUZ, R. D; SOUZA, P. C.; FERREIRA, C. M. Caracterização mineralógica e estruturas das ágatas do Rio Grande do Sul. In: MARINI, O.J. (Ed.): *Caracterização de minérios e rejeitos de depósitos minerais brasileiros*. Brasília: DNPM; DIREX; PADCT; GTM, 1997. p.138-143.
- DENTZIEN-DIAS, P. C.; SCHULTZ, C. L.; SCHERER, C. M. S.; LAVINA, E., 2005. The fossil record from Guará Formation (Upper Jurassic?), Southern Brazil. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE PALEONTOLOGIA DE VERTEBRADOS., 2., 2005, Rio de Janeiro. *Boletim de Resumos...* Rio de Janeiro, 2005. p.93.
- DUARTE, L. C.; HARTMANN, L. A.; VASCONCELOS, M. A. Z. Epigenetic geode formation of the world-class amethyst deposits of the southern Paraná Basaltic Province. In: I SIMPÓSIO BRASILEIRO DE METALOGENIA, 1., 2005, Gramado, RS. *Resumos...* Porto Alegre: SBG, 2005.
- DUARTE, L. C. *Evolução geológica, geoquímica e isotópica das mineralizações de geodos com ametista, Artigas, República Oriental do Uruguai*. 2008. 167f. Tese (Doutorado) -Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.
- FACCINI, U. F. *Estratigrafia do Permo-Triássico do Rio Grande do Sul*: estilos deposicionais versus espaço de acomodação. 2000. 332f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.
- FACCINI, U. F. O *Permo-Triássico do Rio Grande do Sul*: uma análise sob o ponto de vista das seqüências deposicionais. 1989. 133p Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1989.
- FODOR, R. V.; CORWIN, C.; ROISENBERG, A., Petrology of Serra Geral (Parana) Continental flood Basalts Southern Brazil: crustal contamination, source material and South Atlantic magmatism: *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 91, p.54-65, 1985.
- FISCHER, A. C. *Petrografia e geoquímica das fases silicosas dos geodos mineralizados a ametista (Região do Alto Uruguai, RS, Brasil)*. 2004. 159f. Tese(Doutorado)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.
- FRANK, H. T.; GOMES, M. E. B.; FORMOSO, M. L. Review of the areal extent and the volume of the Serra Geral Formation, Paraná Basin, South America. *Pesquisas em Geociências, Porto Alegre* Porto Alegre, v.36, n.1, p.49-57, 2009.
- FÚLFARO, V. J.; SAAD, A. R.; SANTOS, M. V.; VIANNA, R. B. Compartimentação e evolução tectônica da bacia do Paraná. *Rev. Bras. Geoc.*, v.12, p.590-61, 1982.
- GAMERMANN, N. Formação Rosário do Sul. *Pesquisas*, Porto Alegre, n.2, p.5-36, 1973.
- GARLAND, F.; TURNER, S.; HAWKESWORTH, C. Shifts in the source of the Paraná basalts through time. *Lithos*, v.37, p.223-243, 1996.
- GALLAGHER, K.; HAWKESWORTH, C. J. Mantle plumes, continental magmatism and asymmetry in the South Atlantic. *Earth and Planetary Science Letters*, v.123, p.105-117, 1994.
- GARLAND, F.; HAWKESWORTH, C. J.; MANTOVANI, M.S.M. Description and petrogenesis of the Paraná rhyolites (sic), Southern Brazil. *Journal of Petrology*, v.36, p.1193-1227, 1995.
- GILG, H. A.; MORTEANI, G.; KOSTITSYN Y.; GATTER, I.; STRIEDER, A. J. Genesis of amethyst geodes in basaltic rocks of the Serra Geral formation (Amethyst do Sul, Rio Grande do Sul, Brazil): a fluid inclusion, REE, oxygen, carbon, and Sr isotope study on basalt, quartz, and calcite. *Mineralium Deposita*, v. 38, n.8, p.1009-1025, 2003.



- GODOY, M. M.; SCHERER, O. L. B.; BINOTTO, R. B. *Mapa Geológico Sobradinho, RS, Folha SH-22-V-C-II*. Escala 1:100.000. Porto Alegre: CPRM, 2013. Disponível em: < <http://geobank.sa.cprm.gov.br/>>. Acesso em: 9 dez. 2014.
- HARTMANN, L. A.; BAGGIO, S. B. (Org.). *Metagenia e exploração mineral no Grupo Serra Geral*. Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2014. 560 p.
- HAWKESWORTH, C. J.; GALLAGHER, K.; KELLY, S.; MANTOVANI, M. S. M.; PEATE, D. W.; REGELOUS, M.; ROGERS, N. W. Paraná magmatism and the opening of the South Atlantic. In: STOREY, B. C.; ALABASTER, T.; PANKHURST, R. J. (Ed.) *Magmatism and the causes of continental breakup*. London: Geological Society of London, 1992. p.221-240. (Geol. Soc. Spec. Public. London, n.º 68)
- HAWKESWORTH, C.; MANTOVANI, M.; S.; M.; PEATE, D. W. Lithosphere Remobilisation During Parana CFB Magmatism. *Journal Mineralogy Petrology*, Special Lithosphere Issue, p.205-223, 1988..
- HEEMANN, R. *Modelagem estrutural e tridimensional para a prospecção e avaliação dos depósitos de ágata do distrito mineiro de Salto do Jacuí (RS)*. 2005. 150 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.
- HEEMANN, R. *Geologia, controles e guias prospectivos para depósitos de ágata na região do Salto do Jacuí*. 1997. 127f. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.
- HIRAKATA, A. M. *Pesquisa mineral aplicada aos depósitos de ágata na região de Salto do Jacuí (RS)*. 2000. 1 v. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.
- HOPPE, B. S. *Geologia e mineralogia dos depósitos de ametista da região entre Progresso Nova Bréscia, RS*. 2012. 65 f.. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Geologia)- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.
- JERRAM, D. A.; STOLLHOFEN, H. Lava-sediment interaction in desert settings: are peperite-like textures the result of magma-water interaction? In: SKILLING, I. P.; WHITE, J. D. L.; McPHIE, J. (Ed.) *Peperite*. processes. S.l: s.n., 2002. p.231-249.
- JERRAM, D.; MOUNTNEY, N.; HOLZFORSTER, F.; STOLLHOFEN, H. Internal stratigraphic relationships in the Etendeka Group in the Huab Basin, NW Namibia: understanding the onset of flood volcanism. *Journal of Geodynamics*, Amsterdam, v.28, n.4-5, p.393-418, 1999.
- JUCHEM, P. L. *Mineralogia, geologia e gênese dos depósitos de ametista da Região do Alto Uruguai, Rio Grande do Sul*. 1999. 225 f. Tese (Doutorado)- Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.
- JUCHEM, P. L. Mineralizações de ametista em riódacitos do Grupo Serra Geral, província vulcânica Paraná. HARTMANN, L. A.; BAGGIO, S. B. (Org.). *Metagenia e exploração mineral no Grupo Serra Geral*. Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2014. p.41-54.
- JUCHEM, P. L.; HOFMEISTER, T.; BRUM, T. M. Ágata e ametista no Rio Grande do Sul. SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO GEOLOGIA, 3., Curitiba, PR. *Anais...* Curitiba: SBG, v.2, p.601-613, 1987.
- IRVINE, T.N.; BARAGAR, W. R. A. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Can. J. Earth Sci.*, v.8, p523-48, 1971.
- KELLERMANN, C. F. Ágata em Salto do Jacuí: Ocorrência e extração - aspectos ambientais e socioeconômicos. S.l.: Sindipedras, 1990. 64p,
- LANDMESSER, M. Structural characteristics of agates and their genetic significance. *Neus Jahrbuch Mineral Abh.*, v.159, n.3, p.223-235, 1998.
- LAVINA, E. L.; SCHERER, C. M. S. *Arquitetura estratigráfica da sedimentação Neopermiana na região oeste do estado do Rio Grande do Sul*: mapas geológicos preliminares 1:50.000. Porto Alegre: s. n. , 1997
- LE BAS M. J.; LE MAITRE, R. W.; STRECKISEN A.; ZANETTIN, B. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *J. Petrol.*, v.27, p.745-750, 1986.
- LE MAITRE, R. W. A classification of igneous rocks and glossary of terms. Oxford: Blackwell, 1989.
- LANDMESSER, M. Structural characteristics of agates and their genetic significance. *Neus Jahrbuch Mineral Abh.*, v.159, n.3, p.223-235, 1998.
- LEINZ, V. Contribuição à geologia dos derrames basálticos do sul do Brasil. *FFCL-USP Boletim C III*, Geologia, São Paulo, n.S, p.1-61, 1949.
- LIMA, E. F. de; PHILIPP, R. P.; RIZZON, G. C.; WAIACHEL, B. L.; ROSSETTI, L. de M. M. Sucessões vulcânicas, modelo de alimentação e geração de domos de lava ácidos da Formação Serra Geral na região de São Marcos - Antônio Prado (RS). *Geologia USP, Série Científica*, São Paulo, v. 12, n.2, p. 49-64, 2012.
- McDONOUGH, W. F.; FREY, F.A. Rare Earth Elements in Upper Mantle Rocks. In: LIPIN, B. R.; MCKAY, G. A. (Ed.) *Geochemistry and mineralogy of rare earth elements*. Blacksburg: Mineralogical Society of America, 1989. p.99-145. (Reviews in Mineralogy, v.21)
- MACHADO, J. L. F. *Compartimentação espacial e arcabouço hidroestratigráfico do Sistema Aquífero Guarani no Rio Grande do Sul*. 2005. 254 f. Tese (Doutorado) - Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2005.
- MANTOVANI, M.S.M.; CORDANI, V. G.; ROISENBERG, A. Geoquímica isotópica em vulcânicas ácidas da

- Bacia do Paraná e implicações genéticas associadas. *Rev. Bras. Geociências*, v.15, n.1, p.61-65, 1985.
- MANTOVANI, M.S.M.; PEATE, D. W.; HAWKESWORTH, C. J. Geochemical stratigraphy of Paraná continental flood basalts: a contribution from boreholes samples. In: PICCIRILLO, E. M.; MELFI, A.J. (Ed.) *The Mesozoic flood volcanism of the Paraná Basin: petrogenetic and geophysical aspects*. São Paulo: IAG-USP, 1988. p.15-23.
- MARTINS, L.C.; WILDNER, W.; HARTMANN, L. A. Estratigrafia dos derrames da Província Vulcânica Paraná na região oeste do Rio Grande do Sul, Brasil, com base em sondagem, perfilagem gama-espectrométrica. *Pesquisas em Geociências*, v.38, p. 5-27, 2011.
- MELFI, A. J.; PICCIRILLO, E.M.; NARDY, A. J. R. Geological and magmatic aspects of the Parana basin: an introduction. In: PICCIRILLO, E. M.; MELFI, A.J. (Ed.) *The Mesozoic flood volcanism of the Parana basin (Brasil): petrogenetic and geophysical aspects*. São Paulo: IAG/USP, 1988. p.1-14.
- MENEGOTTO, E. *Sedimentologia da Formação Tupanciretã*. 1971. 58f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1971.
- MENEGOTTO, E.; SARTORI, P. L. P.; MACIEL FILHO, C. L. Nova seqüência sedimentar sobre a Serra Geral no Rio Grande do Sul. *Publicação Especial do Instituto de Solos e Culturas*, Seção Geologia e Mineralogia, Santa Maria, v.1:p.1-19, 1968.
- MICHELIN, C. R. L.; MIZUSAKI, A. M. P.; FERREIRA, V.; BRUM, T. M. M. de; HARTMANN, L. A. Ágata associada ao magmatismo do Cretáceo da Bacia do Paraná, sul do Brasil. *Pesquisas em Geociências*, Porto Alegre Porto Alegre, v. 40, n. 2, p. 129-139, 2013.
- 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*. 2014. 167 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.
- MILANI, E. J. *Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana Sul-Occidental*. 1997. 254 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.
- MINCATO, R. L. Metalogenia dos elementos do grupo da platina com base na estratigrafia e geoquímica da Província Ígnea Continental do Paraná. 2000. 172p. Tese (Doutorado) Universidade de Campinas, Campinas, SP, 2000.
- NARDY, A. J. R.; MACHADO, F. B.; OLIVEIRA, M. A. F. As rochas vulcânicas mesozoicas ácidas da Bacia do Paraná: litoestratigrafia e considerações geoquímicas-estratigráficas. *Revista Brasileira de Geociências*, v.38, n.1, p.178-195, 2008.
- NORTHFLEET, A. A.; MEDEIROS, R. A.; MÜHLMANN, H. Reavaliação dos dados geológicos da Bacia do Paraná. *Boletim Técnico da Petrobrás*, v.12, n.3, p.291-346, 1969.
- NOWATZKI, H.; DUTRA, T.; FLECK, A. Novas observações sobre a Formação Tupanciretã, Estado do Rio Grande do Sul. *Acta Geologica Leopoldensia*, São Leopoldo, RS, v.49, p.39-52, 1999.
- PEATE D. W., HAWKESWORTH C. J., MANTOVANI M. S. M. Chemical Stratigraphy of the Paraná Lavas (South America): classification of magma types and their spatial distribution. *Bulletin of Volcanology*, v.55, p.119-139, 1992.
- PEATE, D. W. The Paraná-Etendeka Province. In: MAHONEY, J. J.; COFFIN, M. F. (Ed.). Large igneous provinces: continental, oceanic and planetary flood volcanism. S.l.: s.n., 1997. p. 217-245. (Geophysics Monography Series, v.100)
- PEATE, D. W.; HAWKESWORTH, C. J.; MANTOVANI, M. S. M. Chemical stratigraphy of the Paraná lavas, South America: classification of magma types and their spatial distribution. *Bulletin of Volcanology*, v.55, p. 119-13, 1992.
- PEATE, D.W.; MANTOVANI, M.S.M; HAWKESWORTH, C.J. Geochemical stratigraphy of the Paraná continental flood basalts: borehole evidence. *Rev. Bras. de Geoc.*, São Paulo, v.2, n. 18, p.212-221, 1988.
- PETRY, K.; ALMEIDA, D. del P. M.; ZERFASS, H. O vulcanismo Serra Geral em Torres, Rio Grande do Sul, Brasil: empilhamento estratigráfico local e feições de interação vulcano-sedimentar. *Gaea*, v.1, n.1, p. 34-45, 2005.
- PECCERILLO, A.; TAYLOR, S. R. Geochemistry of Eocene Calc-Alkaline Volcanic Rocks from the Kastamonu Area, Northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v.58, p.63-81, 1976.
- PICCIRILLO, E.M.; BELLINI, G.; COMIN - CHIARAMONTI, P.; ERNESTO, M.; MELFI, A. J.; PACCA, I. G.; USSAMI, N. Significance of the Paraná flood volcanism in the disruption of western Gondwanaland. In: PICCIRILLO, E.M.; MELFI, A.J. (Ed.) *The Mesozoic flood volcanism of the Paraná Basin: petrogenetic and geophysical aspects*. São Paulo: IAG-USP, 1988a. p.85-295.
- PICCIRILLO, E. M.; MELFI, A.J.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; BELLINI, G.; ERNESTO, M.; MARQUES, L.S.; NARDY, A.J.R.; PACCA, I.G.; ROISENBERG, A.; STOLFA, D. Continental flood volcanism from the Paraná Basin (Brazil). In: MACDOUGALL, J. D. (Ed.) *Continental flood basalts*. Norwell: Kluwer Acad., 1988b p.195-238.

- PICCIRILLO, E. M.; COMIN-CHIARAMONTI,.; MELFI, A. J.; STOLFA, D.; BELLINI, G.; MARQUES, L. S.; NARDY, A. J. R.; PINESE, J. P. P.; RAPOSO, M. I. B.; ROISENBERG, A.. Petrochemistry of continental flood basalt-rhyolite suites and related intrusives from the Paraná basin (Brazil). In: PICCIRILLO, E.M.; MELFI, A.J. (Ed.) *The Mesozoic flood volcanism of the Paraná Basin: petrogenetic and geophysical aspects*. São Paulo: IAG-USP, 1988c.
- PINTO, V. M.; HARTMANN, L. A. Flow-by-flow chemical stratigraphy and evolution of thirteen Serra Geral Group basalt flows from Vista Alegre, southernmost 28. Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 83, n. 2, 2011.
- PROUST, D.; FONTAINE, C. Amethyst-bearing lava flows in the Paraná Basin (Rio Grande do Sul, Brazil): cooling, vesiculation and formation of the geodiccavities. *Geology Magazine*, v.144, p.53-65, 2007.
- RENNE, P. R. *et al.* The age of the Paraná flood volcanism, rifting Gondwanaland and the Jurassic-Cretaceous boundary. *Science*, New York, v.258, p. 975-979, 1992.
- RENNE, P. R. Geochronology of the Paraná-Etendeka igneous province. In: SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY, 1997. Campos do Jordão. *Extended Abstracts*. Campos do Jordão, 1997. p.20-23.
- RENNER, L. C.; HARTMANN, L. A.; WILDNER, W. Caracterização Geoquímica de Sills da Região de Manoel Viana e Agudo, Porção Sul da Formação Serra Geral e Comparação com os Sills da Porção Leste e Norte da Bacia do Paraná. In: SIMPÓSIO DE VULCANISMO E AMBIENTES ASSOCIADOS, 4., 2008, Foz do Iguaçu. *Atas...* Foz do Iguaçu, SBG, 2008.
- ROISENBERG, A. *et al.* *Geologia da folha Gravataí: SH.22-X-C-V, escala 1:100.000*. Rio Grande do Sul: UFRGS; CPRM, 2008. 72 p. 1 CD-ROM; 1 mapa geológico+1 mini CD (Programa ArcExibe). Programa de Geologia do Brasil – PGB; Parceria com a UFRGS; SIG – Sistema de Informações Geográficas.
- ROISENBERG, A.; VIERO, A. P. 2000. O vulcanismo Mesozóico da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul. HOLZ, M.; DE ROS, L. F. (Ed.). *Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: UFRGS-CIGO, 2000. P.355-374.
- ROSA, A. A. S. da. *Paleoalterações em depósitos sedimentares de planícies aluviais do Triássico Médio a Superior do sul do Brasil: caracterização, análise estratigráfica e preservação fossilífera*. 2005. 1 v. Tese (Doutorado em Geologia) Universidade do Vale do Rio dos Sinos. São Leopoldo, 2005.
- SANTOS, E. L.; MACIEL, L. C.; FILHO, J. A. Z. Distritos Mineiros do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: DNPM, 1998.
- SANTOS E. L.; RAMGRAB, G. E.; MACIEL, L. A., MOSMANN, R. *Mapa geológico do Estado do Rio Grande do Sul (1:1.000.000) e parte do Escudo Sul Riograndense (1:600.000)*. Porto Alegre: DNPM, 1989.
- 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.
- SCHERER, C. M. S.; LAVINA, E. L. Aloformação Guará: uma nova unidade estratigráfica mesozóica na porção meridional da Bacia do Paraná. In: SIMPÓSIO SOBRE CRONOESTRATIGRAFIA DA BACIA DO PARANÁ, 3., 1997, Barra do Garças, MT. *Resumos...* Barra do Garças, MT: SBG, 1997. p. 36-37.
- SCHERER, C. M. S.; CARAVACA, G.; SOMMER, C. A. Evolução estratigráfica do depósitos eólicos do Grupo São Bento (Cretácio Inferior da Bacia do Paraná) no estado do Rio Grande do Sul. In: ENCONTRO SOBRE A ESTRATIGRAFIA DO RIO GRANDE DO SUL: ESCUDO E BACIAS, 1., 2003, Porto Alegre. *Anais...* Porto Alegre: SBG. Núcleo RS; UFRGS; UNISINOS; ABC; CPRM, 2003. p.170-176.
- SCHERER, C. M. S.; LAVINA, E. L. Sedimentary cycles and facies architecture of aeolian-fluvial strata of the Upper Jurassic Guará Formation, southern Brazil. *Sedimentology*, v.52, p. 1323-1341. 2005.
- SCHERER, C.M.S., 2000. Eolian dunes of the Botucatu Formation (Cretaceous) in southernmost Brazil: morphology and origin. *Sedimentary Geology*, 137:63-84.
- SCHULTZ, C. L.; SCHERER, C. M. S.; LAVINA, E. L. Dinosaur's footprints from Guará Formation (Upper Jurassic), Paraná Basin, Southern Brazil. In: CONGRESSO ARGENTINO DE PALEONTOLOGIA Y BIOESTRATIGRAFIA, 8., 2002, Buenos Aires. *Abstracts...* Buenos Aires, 2002.
- SIRTOLI, M.; JUCHEM, P. L.; AUGUSTIN, A. H. 2005. Depósitos de Ametista em Caxias do Sul (RS) nas Rochas Vulcânicas da Formação Serra Geral. In: SIMPÓSIO DE VULCANISMO E AMBIENTES ASSOCIADOS, 3., 2005, Cabo Frio, RJ. *Atas...* Rio de Janeiro: SBG, 2005
- SOARES P.C.; BARCELLOS P. E.; CSORDAS S. M.; MATTOS J.; BALIEIRO M. G.; MENESES P. R. 1982. Lineamentos em imagens Landsat e Radar e suas implicações ao conhecimento tectônico da Bacia do Paraná. In: SIMPÓSIO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 1982, Brasília. *Atas...* Brasília: CPq-INPE, 1982.
- SOMMER, M.G.; SCHERER, C.M.S. Sítios Paleobotânicos do Arenito Mata (Mata e São Pedro do Sul), RS: uma das mais importantes "florestas petrificadas" do planeta. In: SCHOBENHAUS, Carlos (Ed.) *et al. Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. Brasília: DNPM, 2002. p.3-10.
- 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*, Porto Alegre, v.33, p.37-50, 2006.
- SUN, S.; McDONOUGH, W. F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: SAUNDERS, A. D.; NORRY, M. J. (Ed.) *Magmatism in the Ocean Basins*. London: Geological Society of London, 1989. p.315-345.
- SZUBERT, E.,C.; GRAZIA, C.,A.; SHINTAKU, I. *Projeto Cobre em Itapiranga*. Porto Alegre: DNPM/CPRM, 1979. 3 v.
- TUKEY, J. W. *Exploratory data analysis*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1977. 1 v.
- TURNER, S.; REGELOUS, M.; KELLEY, S.; HAWKES-WORTH, C.; MANTOVANI, M., Magmatism and continental break-up in the South Atlantic: high precision <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar geochronology. *Earth and Planetary Science Letters*, v.121, p.333-348, 1994.
- VAIL, P. R.; AUDERMARD, F.; BOWMAN, S. A.; EISNER, P. N.; PEREZ-CRUZ, C. The stratigraphy signatures of tectonic, eustasy and sedimentology – an overview. In: EINSELE, G. H.; RICKEN, W.; SEILACHER, A. (Ed.) *Cycles and events in stratigraphy*. Berlin: Springer Verlag, 1991. p.617-659, 1991.
- VAIL, P. R.; MITCHUM, R. M.; THOMPSON, S. *Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 3: relative changes of sea level from coastal on lap*. Tulsa: AAPG, 1977. p. 63-81. (AAPG Memoir 26).
- 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, n.7-8, p.599-610, 2006.
- WILDNER, W. Estratigrafia do magmatismo Serra Geral na Bacia doParaná - Conceitos básicos e divisão faciológica. In: REUNIÃO ABERTA DA COMISSÃO BRASILEIRA DE ESTRATIGRAFIA. *Anais...* Porto Alegre: SBG, 2004. p.62-77.
- WILDNER, W.; LOPES, R. da C.; ROMANINI, S.; CAMOZZATO, E. 2003. Contribuição à estratigrafia do magmatismo Serra Geral na Bacia do Paraná. In: ENCONTRO SOBRE A ESTRATIGRAFIA DO RIO GRANDE DO SUL: ESCUDO E BACIAS, 1., 2003, Porto Alegre. *Anais*. Porto Alegre: SBG. Núcleo RS; UFRGS; UNISINOS; ABC; CPRM, 2003. p.204-210.
- WILDNER, W.; RAMGRAB, G. E.; LOPES, R. da C.; IGLESIAS, C. M. da F. *Geologia e Recursos Minerais do Estado do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: CPRM, 2008. Escala 1:750.000; Programa Geologia do Brasil; Mapas geológicos Estaduais.
- WILDNER, W.; SANTOS, J. O. S.; HARTMANN, L. A.; MCNAUGHTON, N. J. Clímax final do vulcanismo Serra Geral em 135 Ma: primeiras idades U-Pb em zircão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 43., 2006. Aracaju, 2006. Anais... Aracaju : SBG, 2006. 1 CD ROM
- ZALÁN, P. V. *et al.* The Paraná Basin. In: LEIGHTON, M. W. *et al.*(Ed.). *Interior Cratonic Basins*. Tulsa: American Association of Petroleum Geologists, 1990. p.681-708. (AAPG Memoir; 51).
- ZERFASS, H.; CHEMALE Jr., F.; LAVINA, E. L. Tectonic control of the Triassic Santa Maria Supersequence of the Paraná Basin, Southernmost Brazil, and its Correlation to the Waterberg Basin, Namibia. *Gondwana Research*, v. 8, n.2, p.163-176, 2005.
- ZERFASS, H.; SANDER, A; DIAS, A. de A.; PARISI, G. N.; MACHADO, J. L. F.; RIBEIRO, A. M.; FERIGOLO, J.; ROSA, A. A. S. da; SILVA, R. C. da *Geologia da folha Agudo SH.22-V-C-V: escala 1:100.000*. Brasília: CPRM, 2007. 1 CD-ROM. Programa Geologia do Brasil (PGB). Levantamentos Geológicos Básicos.

A elaboração do mapa geológico da Folha Sobradinho, na escala 1:100.000, resulta de uma ação do Serviço Geológico do Brasil – CPRM, empresa pública vinculada à Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral, do Ministério de Minas e Energia.

O projeto foi executado pela Superintendência Regional de Porto Alegre do Serviço Geológico do Brasil – CPRM, dentro das diretrizes do Programa Geologia do Brasil.

A Carta Geológica na escala 1:100.000 – cujo objetivo é o de gerar e difundir informações geológicas e de recursos minerais para subsidiar o planejamento territorial e o uso do solo e subsolo, além de induzir o aumento dos investimentos em prospecção e pesquisa mineral, com vistas ao desenvolvimento da indústria de mineração no país.

Esse produto deverá auxiliar o governo do estado e órgãos de planejamento, no estabelecimento de políticas públicas de desenvolvimento regional, na medida em que servirão de base para estudos de prospecção e exploração mineral e na adoção de ações estratégicas que visem o desenvolvimento econômico-social.

Nesse contexto, o conhecimento geológico sistematizado pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM também passa a ser considerado como fonte primordial de informação do meio físico e requisitado para os estudos de zoneamento ecológicoeconômico e de gestão ambiental.

## GEOLOGIA E RECURSOS MINERAIS DA FOLHA SOBRADINHO - SH.22-V-C-II

Escala: 1:100.000

### ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL



FOLHA SOBRADINHO - SH.22-V-C-II

DEZEMBRO DE 2016

**PAC** PROGRAMA DE ACELERAÇÃO DO CRESCIMENTO

[www.cprm.gov.br](http://www.cprm.gov.br)

#### SERVIÇO DE ATENDIMENTO AO USUÁRIO - SEUS

Tel: 21 2295-5997 – Fax: 21 2295-5897  
E-mail: seus@cprm.gov.br

#### OUVIDORIA

Tel: 21 2295-4697 – Fax: 21 2295-0495  
E-mail: ouvidoria@cprm.gov.br