

Trabalho de Conclusão de Curso

Curso de Graduação em Geologia

**ANÁLISE DE ELEMENTOS TRAÇOS EM RUTILO APLICADA À PROVENIÊNCIA
SEDIMENTAR: EXEMPLO DA FORMAÇÃO PIRAMBÓIA
NA REGIÃO DE RIO CLARO – SP.**

Rodolfo Bergamin

Orientador: Prof. Dr. George Luiz Luvizotto

Coorientador: Prof. Dr. Lucas Verissimo Warren

Rio Claro (SP)

2016

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Campus de Rio Claro

RODOLFO BERGAMIN

ANÁLISE DE ELEMENTOS TRAÇOS EM RUTILO APLICADA À
PROVENIÊNCIA SEDIMENTAR: EXEMPLO DA FORMAÇÃO
PIRAMBOIA NA REGIÃO DE RIO CLARO – SP.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Câmpus
de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio
de Mesquita Filho, para obtenção do grau de Bacharel
em Geologia.

Rio Claro - SP

2016

551.9 Bergamin, Rodolfo
B493a Análise de elementos traços em rutilo aplicada à
proveniência sedimentar : exemplo da Formação Piramboia na
região de Rio Claro - SP / Rodolfo Bergamin. - Rio Claro,
2016
58 f. : il., figs., gráfs., tabs., quadros, fots., mapas

Trabalho de conclusão de curso (Geologia) - Universidade
Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Orientador: George Luiz Luvizotto
Coorientador: Lucas Verissimo Warren

1. Geoquímica. 2. Paleocorrentes. 3. Deposição. 4. Área
Fonte. 5. Transporte. I. Título.

RODOLFO BERGAMIN

ANÁLISE DE ELEMENTOS TRAÇOS EM RUTILO APLICADA À
PROVENIÊNCIA SEDIMENTAR: EXEMPLO DA FORMAÇÃO
PIRAMBOIA NA REGIÃO DE RIO CLARO – SP.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Campus
de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio
de Mesquita Filho, para obtenção do grau de Bacharel
em Geologia.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. George Luiz Luvizotto (Orientador)

Prof. Dr. Mario Luis Assine

Geóloga Patrícia Colombo Mescolotti

Rio Claro, 23 de novembro de 2016.

Rodolfo Bergamin

George Luiz Luvizotto (Orientador)

Aos meus pais, que sempre me guiaram.
E a minha namorada, Gabriela, pela paciência e apoio.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha família, em especial aos meus pais, Roanita e Wagner, por sempre estarem do meu lado, me apoiarem e terem investido desde sempre em minha educação. Não tenho como agradecer o suficiente a vocês dois, Minha Mãe e Meu Pai.

Um agradecimento também à minha namorada, Gabriela, por toda a paciência e apoio com minhas “pedrinhas”, obrigado por estar ao meu lado.

Ao meu orientador, Professor Doutor George Luiz Luvizotto, pela orientação, pelo tempo disponibilizado e pelas discussões e correções que agregaram valor e ajudaram a produzir este trabalho. Um agradecimento especial também ao Professor Doutor Lucas Verissimo Warren, por todas as correções e discussões como coorientador.

A todos meus professores anteriores tanto do nível superior, quanto do médio, por sempre disponibilizarem tempo e contribuírem de todas as formas para minha formação. Aqui cabe menções especiais: ao Professor Doutor Norberto Morales, pelas discussões geológicas e por ter me orientado durante 2 anos em projeto de pesquisa. Aos Professores Doutores Roderick Brown e Cristina Persano pela orientação durante o ano de intercambio e pela amizade e, também ao Professor Tadeu Viganó pela amizade e esclarecimento do caminho a ser seguido.

Agradeço também aos meus amigos de turma, pelo caminho que seguimos juntos durante esses seis anos de curso que tive. Em especial agradeço a Pedro Rafael Aporta, Andrey Meyer, André Santiago, Leonardo Sala e Rodrigo Cerri pelos anos de convivência e amizade. Também aos meus amigos de longa data (João Pedro, Gustavo, Zé, Lucas, Oliver, Rafael, Thiago, Marcello, Pedro, Vitão, Levi, Tumol, Renato e André), por estarmos sempre juntos e compartilhando bons momentos.

Por fim, agradeço a todos que de forma direta ou indireta contribuíram para a realização deste trabalho e de toda minha formação.

“To succeed, planning alone is insufficient.

One must improvise as well.”

Isaac Asimov - Foundation

RESUMO

Análises de proveniência de sedimentos são amplamente empregadas e apoiam-se principalmente em métodos sedimentológicos clássicos, por exemplo, o estudo de paleocorrentes e fácies sedimentares. No entanto, nos últimos anos, a análise de proveniência de sedimentos adquiriu um caráter multidisciplinar, envolvendo o estudo dos minerais que compõem os sedimentos, as características petrológicas das rochas fontes (petrologias ígneas, metamórficas, sedimentares) e também o estudo geoquímico dos minerais, com destaque para as análises de elementos traço e isótopos. Neste âmbito, este projeto utilizou, primordialmente, a geoquímica do rutilo para determinação de prováveis áreas fontes (máficas ou felsicas) da Formação Piramboia da Bacia do Paraná e, também, determinou a temperatura de cristalização do rutilo na rocha fonte utilizando o geotermômetro *Zr-in-Rt*.

A questão mostra-se relevante, já que a idade estratigráfica da Formação Piramboia é dada apenas por correlações estratigráficas laterais de cunho especulativo, visto a ausência de registro paleontológica na unidade. Portanto, a utilização da geoquímica faz-se necessária e é complementar à aplicação das técnicas clássicas de proveniência sedimentar citadas acima.

As técnicas clássicas de análises de fácies e paleocorrentes também foram empregadas, deste modo, a Formação Piramboia foi dividida em duas fácies principais, fácies fluvial e fácies eólica, os dados de paleocorrentes indicam área fonte a NE e E da Bacia do Paraná, no Estado de São Paulo.

As técnicas geoquímicas de análise dos elementos traços no rutilo apontam para um grupo principal de rochas felsicas cristalizadas por volta dos 600-700°C, direcionando para Faixas de Dobramentos do Neoproterozóico, principalmente para a Faixa Ribeira e Faixa Brasília visto os dados das paleocorrentes. Um segundo rutilo, mostra caráter máfico para a rocha fonte, podendo provir de complexos máfico-ultramáficos e outro rutilo demonstra um grau metamórfico mais alto, também existentes nas rochas desta faixa de dobramentos. Foi também aventado a possibilidade dos sedimentos serem do Cráton São Francisco, da Faixa Araçuaí e/ou africanos, do Escudo Angolano que estava adjacente a Bacia do Paraná na época de deposição da Formação Piramboia.

Palavras-Chave: Geoquímica. Paleocorrentes. Deposição. Área Fonte. Transporte.

ABSTRACT

Sedimentary provenance analysis is mainly used and supported in classical sedimentological method, paleocurrents and sedimentary facies as an example. However, in the last years, the sedimentary provenance analysis became a multidisciplinary subject, involving mineral studies, petrological characteristics of source rocks and mineral geochemistry, especially isotopes and trace elements. In this context, this study utilized the rutile geochemistry for determination if the source rock has a mafic or a felsic characteristic for the Piramboia Formation of the Parana Basin in the region of Rio Claro, also, this study aims to define the rutile crystallization temperature in the source rock using the Zr-in-Rt geothermometer.

The question around the Piramboia Formation is important since the lateral stratigraphical correlations are only speculative, given the absence of paleontological content in this geological unit. That way, utilize geochemistry was necessary and complements the classical methods of sedimentary provenance.

The classical techniques employed were sedimentary facies analysis and paleocurrents measurements. In this case, the Piramboia Formation was divided in two mainly facies: St(f) and St(e) (sandstones with trough cross bedding of fluvial and eolian environment, respectively), the paleocurrents data shows a NE and E source for the Parana Basin, in the study area.

The trace elements techniques applied in rutile showed a principal group of felsic rocks that crystallization happened around 600-700°C, that data suggest a source rocks in Metamorphic Belts, in this case, Ribeira Belt and Brasilia Belt given the paleocurrents. Another rutile indicates a mafic source that could provide from mafic-ultramafic complex of the same metamorphic belt. A third group hints a high temperature metamorphic rock, also existent in the same context. In addition, it was proposed a possibility that the sediments could come from the São Francisco Craton, Araçuaí Belt and/or the Angolan Shield, that was linked with the Parana Basin in the time of Piramboia Formation deposition.

Key-words: Geochemistry. Paleocurrents. Deposition. Source Rocks. Transport.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Área de estudo e acessos a partir de Rio Claro.....	14
Figura 2 – Mapa geológico simplificado da Bacia do Paraná.....	23
Figura 3 – Carta Estratigráfica da Bacia do Paraná.....	24
Figura 4 – Mapa Geológico Simplificado do Estado de São Paulo.....	25
Figura 5 – Diagrama em rosa de paleocorrentes eólicas e paleocorrentes fluviais da Formação Pirambóia.....	29
Figura 6 – Fotografias de afloramentos da Formação Piramboia.....	32
Figura 7 – Diagrama em rosa das estações A, B e C de paleocorrentes.....	33
Figura 8 – Estações dos diagramas em rosa inseridas na área de estudo.....	34
Figura 9 – Imagens BSE dos grãos de Rutilo 1 e 2.....	37
Figura 10 – Imagens BSE dos grãos de Rutilo 3 e 4.....	38
Figura 11 – Imagens BSE dos grãos de Rutilo 5, 6 e 7.....	39
Figura 12 – Imagem BSE do grão de Rutilo 8.....	40
Figura 13 – Gráfico de concentrações de Cromo x Nióbio.....	44
Figura 14 – Gráficos de pressão por temperatura, para os Rutilos 1, 2, 3 e 4.....	48
Figura 15 – Gráficos de pressão por temperatura, para os Rutilos 5, 7 e 8.....	49
Figura 16 – Proveniência da Formação Piramboia a partir de paleocorrentes e dados geoquímicos de rutilo.....	52

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Localização das amostras coletadas e paleocorrentes.....	18
Quadro 2 – Protocolo de seleção e análise dos grãos de rutilo.....	20
Quadro 3 – Evolução do conhecimento da Formação Piramboia.....	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados de elementos traços nos grãos de rutilo amostrados.....	35
Tabela 2 – Probabilidades dos polimorfos de TiO ₂	41
Tabela 3 - Dados de elementos traços nos grãos de rutilo Sy e R10 (padrões).....	43
Tabela 4 – Tabela do número de Triebold <i>et al.</i> (2012) para cada Ponto de Análise.....	45

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
1.1 Localização e acesso da área de estudo.....	13
1.2 Aspectos geográficos e fisiográficos	14
2. OBJETIVOS.....	16
3. ETAPAS E MÉTODOS DE TRABALHO	17
3.1 Etapas de Trabalho	17
3.1.1 <i>Revisão Bibliográfica.....</i>	<i>17</i>
3.1.2 <i>Trabalhos de Campo</i>	<i>17</i>
3.1.3 <i>Etapa Laboratorial.....</i>	<i>18</i>
3.1.4 <i>Elaboração do Relatório.....</i>	<i>18</i>
3.2 Métodos Geoquímicos.....	19
3.2.1 <i>Preparação de amostras</i>	<i>19</i>
3.2.2 <i>Separação e preparação dos grãos.....</i>	<i>20</i>
3.2.3 <i>Análise no Electron Probe Micro Analyser (EPMA)</i>	<i>21</i>
4. GEOLOGIA REGIONAL.....	22
4.1 Bacia do Paraná.....	22
4.2 Formação Piramboia.....	25
5. RESULTADOS.....	31
5.1 Fácies da Formação Piramboia.....	31
5.1.1 <i>Fácies St(f)</i>	<i>31</i>
5.1.2 <i>Fácies St(e).....</i>	<i>31</i>
5.2 Paleocorrentes	33
5.3 Geoquímica Rutilo	34
5.3.1 <i>Caracterização dos rutilos analisados.....</i>	<i>36</i>
5.3.2 <i>Polimorfos de Rutilo.....</i>	<i>40</i>
5.3.3 <i>Elementos Traços</i>	<i>41</i>
6. DISCUSSÕES.....	50
7. CONCLUSÃO	53
REFERÊNCIAS	54

1. INTRODUÇÃO

O estudo de minerais acessórios tem, nos últimos anos, ganhado considerável destaque visto as contribuições que esta metodologia traz para o campo da geoquímica. Diversos estudos determinaram que alguns destes minerais acessórios, como por exemplo o rutilo, conseguem reproduzir a composição química de determinados elementos presentes na rocha fonte. O rutilo pode incorporar quase todo o Nb e o Ta (elementos HFSE - *High Field Strength Elements*, em geral, e.g., V, W, Zr, Ti e Hf) da rocha (ZACK *et al.*, 2002). A análise deste mineral pode auxiliar com relativa precisão na determinação da composição química destes elementos da rocha primária onde o rutilo se cristalizou. Os elementos mencionados acima são incompatíveis e de baixa mobilidade química, portanto, o reequilíbrio da composição química desses elementos no rutilo após o pico de metamorfismo é mínimo, já que poucos, ou nenhum mineral competem por estes elementos (ZACK *et al.*, 2002). O rutilo tem, desta forma, a característica de conservar sua composição inicial, registrando características importante sobre a rocha onde ele se cristalizou.

Outra característica importante é o fato da incorporação do Zr no rutilo ser dependente da temperatura (geotermômetro *Zr-in-Rt*) o que torna este mineral extremamente atrativo para cálculo do pico metamórfico (TOMKINS *et al.*, 2007, ZACK *et al.*, 2004a). O rutilo é também empregado em estudos de proveniência de sedimentos e sua utilização deve-se, além das características geoquímicas expostas acima, à resistência deste mineral frente à alteração e ao transporte (FORCE, 1980). Baseado nas concentrações de Nb e Cr, é possível determinar o tipo de área fonte do grão, no sentido do caráter máfico ou felsico das rochas (ZACK *et al.*, 2004b). Outra característica interessante é que, quando comparado ao zircão, o rutilo é capaz de fornecer informações do último ciclo metamórfico (idade e composição química), visto que ele se cristaliza em condições de fácies xisto verde, mais baixas que as necessárias para se cristalizar zircão (ZACK *et al.*, 2004a; ZACK *et al.*, 2011).

A Formação Piramboia foi originalmente alocada em pacote sedimentar composto por essencialmente rochas arenosas que Almeida (1953) denominou de deserto Botucatu, apesar de se reconhecerem diferenças entre os arenitos de topo e base desta sequência, sendo predominantemente eólicos para o topo e predominantemente fluviais na base (WASHBURNE, 1930). Coube a Soares (1973, 1975) distinguir estes diferentes estratos em duas formações

distintas mapeadas no centro do Estado de São Paulo, da base para o topo respectivamente, a Formação Piramboia e Formação Botucatu.

A Formação Botucatu, sobreposta a Formação Piramboia, ocorre intercalada (ALMEIDA & MELO, 1981) a rochas vulcânicas da Formação Serra Geral de idade cretácea (133 ± 1 Ma segundo RENNE *et al.* 1992, utilizando dados de $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ e paleomagnetismo), deste modo, a Formação Botucatu é interpretada como tendo idade Juro-Cretácea.

Quando comparada às unidades adjacentes, há a tentativa de se correlacionar a Formação Piramboia com a Formação Sanga de Cabral, de idades do Neo-Permiano a Eo-Triássico observada por conteúdo fossilífero (LAVINA, 1988). No entanto, esta é apenas uma assunção, já que os mesmos fósseis não foram encontrados na Formação Piramboia.

Desta forma, a determinação da idade da Formação Piramboia é bastante dificultada devido à ausência de conteúdo paleontológico. A falta de idades confiáveis se soma a indefinição de seus limites estratigráficos com unidades lateral e verticalmente adjacentes no âmbito da Bacia do Paraná como um todo. Desta maneira, todas as propostas de idade e correlação propostas para a Formação Piramboia são de cunho especulativo e baseadas em relações estratigráficas localizadas.

Face o exposto acima, este estudo utiliza a sistemática de elementos traços em rutilos e dados de paleocorrentes da Formação Piramboia com objetivo de apontar as rochas fonte desta formação.

1.1 Localização e acesso da área de estudo

A localização da área estudada é a sudoeste da cidade de Rio Claro, entre as cidades de Rio Claro, São Pedro e Piracicaba.

O município de Rio Claro está a 173 quilômetros da capital administrativa do Estado de São Paulo, São Paulo; é de fácil acesso por duas das principais rodovias estaduais: Bandeirantes (SP-348) e Anhanguera (SP-330 / BR-050), sendo necessário a utilização da rodovia Washington Luís (SP-310). Nas duas primeiras rodovias, partindo-se da capital, toma-se o sentido norte até os quilômetros 168 e 153 (Bandeirantes e Anhanguera, respectivamente), tomando-se, então a rodovia Washington Luís até cidade de Rio Claro que tem acesso no quilômetro 173 desta rodovia.

O acesso aos afloramentos estudados, partindo da Cidade de Rio Claro, utiliza tanto as rodovias SP-191 (Rio Claro – São Pedro), SP-127 (Rio Claro – Piracicaba) e SP-304 (São Pedro – Piracicaba) (Figura 1).



Figura 1 – Área de estudo e acessos a partir de Rio Claro (Google Maps).

1.2 Aspectos geográficos e fisiográficos

A área do estudo está inserida na Província Geomorfológica denominada Depressão Periférica Paulista – zona do médio Tiete (ALMEIDA, 1964), ou Depressão Periférica da Borda Leste da Bacia do Paraná (ROSS, 1999), caracterizada pelo predomínio de topografia suave, composta essencialmente por colinas de topos alongados e planos.

A região é caracterizada por um clima tropical de altitude, com invernos secos e verões quentes e chuvosos. A temperatura mínima anual média da Cidade de Rio Claro é aproximadamente 11°C durante o mês de julho e a máxima 30°C no mês de fevereiro

(CEPAGRI). Os dados pluviométricos do CEPAGRI indicam período seco entre abril e setembro, com meses abaixo de 70 mm de chuva, chegando a 27 mm no mês de julho, e período chuvoso entre outubro e março, com mais de 125 mm de chuva (máxima de 234 mm no mês de janeiro), anualmente as precipitações ficam em torno de 1300 mm.

A área é basicamente composta por matas ciliares, vegetações típicas de cerrado e florestas estacionais semidecíduas, porém restritas a pequenas porções devido ao intenso cultivo da cana de açúcar e pastagens (PRADO, 1987). Segundo Prado (1987), há predominância do latossolo, ocupando cerca de 52% da área, além de solos litólicos, hidromórficos. Os latossolos de coloração arroxeada são, em grande parte, derivados de rochas básicas.

2. OBJETIVOS

O presente estudo tem como principal objetivo investigar, com base na sistemática de elementos traço em rutilo, a proveniência dos sedimentos da Formação Piramboia na região de Rio Claro. O intento central é determinar a contribuição de possíveis áreas fonte máficas e felsicas na unidade, bem como determinar a temperatura de cristalização destas rochas. Tais dados geoquímicos, em conjunto com dados sedimentológicos de paleocorrentes e análise de fácies, permitem interpretação das rochas fonte da Formação Piramboia.

Complementarmente, este trabalho visa concentrar elementos pesados (rutilo e zircão), para trabalhos futuros com análises de elementos traços e/ou datações para contribuição do entendimento da Formação Piramboia.

3. ETAPAS E MÉTODOS DE TRABALHO

A fim de se concretizar os objetivos propostos, foi necessária a implementação de etapas de trabalho e seguir métodos específicos designados a seguir.

3.1 Etapas de Trabalho

3.1.1 Revisão Bibliográfica

Durante a etapa de revisão bibliográfica, buscou-se documentar trabalhos científicos anteriores de forma que corroborassem para o presente trabalho, tanto no âmbito da geologia da Formação Piramboia, quanto acerca dos métodos geoquímicos e sedimentológicos a serem utilizados.

3.1.2 Trabalhos de Campo

Foram realizados dois trabalhos de campo visando a coleta de amostras para análise geoquímica e um trabalho de campo para medições de paleocorrentes da Formação Piramboia.

No total foram coletadas duas amostras em campo (localização em UTM no Quadro 1) que foram tratadas em laboratório para as análises geoquímicas. Foram também levantadas medidas de paleocorrentes em três estações (localização em UTM no Quadro 1), totalizando cerca de 20 medidas de paleocorrentes por estação. A aquisição e o tratamento de dados de paleocorrentes segue os modelos propostos por Potter & Pettijohn (1977), Miall (1990) e Tucker (1996), segundo os quais as medidas de campo representam as condições hidrodinâmicas (ou aerodinâmicas) vigentes no tempo de deposição das formas de leito. Desta maneira, a análise de padrões de dispersão possibilita delimitar espacialmente as províncias fisiográficas de um dado contexto deposicional e o sentido de influxo sedimentar, auxiliando, neste caso da Formação Piramboia, a direção de fluxo do sistema fluvial e o sentido de migração de dunas eólicas.

Amostras/ Paleocorrentes	Toponímia	Localização (UTM)
A (paleocorrentes)	Estrada Rio Claro – São Pedro (após Ipeuna)	X – 218370m Y – 7511853m Zona 23S
B (paleocorrentes)	Ribeirão Vermelho (NW ponto A)	X – 217555m Y – 7512673m Zona 23S
C (amostra e paleocorrentes)	Estrada São Pedro – Piracicaba – SP-304 (Km 186)	X – 210451m Y – 7493445m Zona 23S
D (amostra)	Oeste de Ipeúna, sentido Serra do Itaqueri	X – 213525m Y – 7518480m Zona 23S

Quadro 1 – Localização das amostras coletadas e paleocorrentes.

3.1.3 Etapa Laboratorial

Os estudos laboratoriais são posteriores a etapa de obtenção de amostras e tem finalidade de prover melhor entendimento do material coletado, neste caso, sedimentos da Formação Piramboia. Nesta etapa está inclusa toda a sequência de tratamento das amostras para análise geoquímica do rutilo empregada no presente trabalho, estando a mesma descrita na seção 3.2 em conjunto com o método geoquímico utilizado.

3.1.4 Elaboração do Relatório

Esta etapa representa a organização das informações coletadas em campo e desenvolvidas em laboratório para a realização do presente trabalho, incluindo as imagens, apêndices, tabelas, gráficos, diagramas e corpo textual tanto produzido pelo autor quanto sintetizados a partir de trabalhos científicos pretéritos. Deste modo, esta etapa representa a fase final do trabalho.

3.1.4.1 Análise de fácies sedimentares

A análise de fácies é de fundamental importância em caracterização de unidades distintas de rochas com base em suas propriedades litológicas, físicas e biológicas. É um método de trabalho comumente aplicado em rochas sedimentares e sedimentos em afloramentos e furos de sondagem. Walker (1992) descreve que fácies sedimentares são unidades de rochas de gênese relacionada sendo distintas entre si por características individuais únicas, podendo ser diferenciadas pela litologia, granulometria, seleção dos grãos, estruturas sedimentares, geometria dos estratos, presença de fosseis e cor, correspondendo a processos geológicos sedimentares particulares.

No presente trabalho é utilizada a nomenclatura de fácies sedimentares adaptada de Miall (1978) e Miall (1996). Tal nomenclatura se baseia em um código de letras em que a primeira letra maiúscula corresponde a litologia e a segunda se refere a estrutura sedimentar da fácies em questão. A terceira, no caso deste trabalho (diferindo de Miall), refere-se ao sistema deposicional que resultou nestas fácies.

Como o objetivo deste trabalho se estende a utilização de métodos geoquímicos em conjunto com informações obtidas diretamente em litotipos sedimentares, as fácies sedimentares observadas em campo foram sumarizadas no item 5.1 deste trabalho.

3.2 Métodos Geoquímicos

3.2.1 Preparação de amostras

As amostras coletadas em campo foram tratadas para obtenção de um concentrado de minerais pesados não magnéticos, onde inclui-se o rutilo juntamente com zircão. Para tal, as amostras de campo passam pelas seguintes etapas: britagem, moagem, separação de minerais magnéticos com imã de mão e o separador magnético isodinâmico Frantz e por fim separação de minerais pesados utilizando líquido denso (Bromoformio – CHBr_3 – densidade $2,89\text{g.cm}^{-3}$). O rutilo e zircão, tendo densidades maiores que do líquido, $4,23\text{-}4,25\text{g.cm}^{-3}$ e $4,6\text{-}4,7\text{g.cm}^{-3}$ respectivamente, afundam e concentram-se na base da vidraria.

3.2.2 Separação e preparação dos grãos

A partir do concentrado, separa-se apenas o rutilo. O processo é realizado manualmente com auxílio de lupa estereoscópica. Os grãos de rutilo selecionados foram montados em seções polidas com a resina Epoxi (Specifix 40, na proporção 10,5 ml de resina para 5 ml de agente). Posteriormente, as seções polidas foram analisadas na microsonda eletrônica. Todas essas etapas foram realizadas nos laboratórios do Departamento de Petrologia e Metalogenia (DPM) da Unesp de Rio Claro.

A seleção e análise dos grãos de rutilo está de acordo com o protocolo estabelecido por Triebold *et al.* (2012), e detalhado no Quadro 2.

Etapa	Procedimento
1 ^a	Seleção de grão de rutilo na fração entre 63-200µm;
2 ^a	Seleção manual dos grãos de rutilo anteriormente separados pelo separador magnético Frantz;
3 ^a	Determinação do tipo do polimorfo de TiO ₂ (rutilo, anatásio e bruquita) previamente à análise com MEV e EPMA. O comportamento de elementos traço foi estudado em detalhe apenas no rutilo (TRIEBOLD <i>et al.</i> , 2012 e referências citadas pelos autores). Portanto, é de fundamental importância determinar quais polimorfos estão presentes nas amostras. A ocorrência de tipos distintos de polimorfos de TiO ₂ também pode indicar características da rocha fonte dos sedimentos
4 ^a	Determinar a rocha fonte primária pela equação dada: $x = 5 * (Nb[ppm] - 500) - Cr[ppm]$ na qual ppm refere-se à concentração dos elementos no rutilo. Valores negativos serão considerados rutilos de fontes máficas, enquanto valores positivos serão interpretados como rutilos de fontes félsicas (pelíticas) (TRIEBOLD <i>et al.</i> , 2012);
5 ^a	Calculo da temperatura de cristalização do rutilo, utilizando-se a calibração de <i>Zr-in-rutile</i> de Tomkins <i>et al.</i> (2007);
6 ^a	Interpretação de proveniência sedimentar a partir da utilização dos dados geoquímicos de rutilo.

Quadro 2 – Protocolo de seleção e análise dos grãos de rutilo para associação a fontes máficas ou félsicas e determinação da temperatura de cristalização do mineral (Baseado em Triebold *et al.*, 2012).

3.2.3 Análise no Electron Probe Micro Analyser (EPMA)

Análises químicas de elementos traço em rutilo foram realizadas no Laboratório de Microsonda Eletrônica do DPM/IGCE - Unesp de Rio Claro. Utilizou-se o equipamento JEOL JXA - 8230, com 5 detectores WDS. As análises foram feitas com 20kV e 80nA e seguiram as condições apresentadas por Luvizotto *et al.* (2009). Os seguintes elementos foram analisados: Si, Al, Cr, V, Fe, Sn, Sb, Ta, Hf, W, Nb e Zr. Como referência e controle de qualidade, foram utilizados os padrões R10 e Sy apresentados por Luvizotto *et al.* (2009).

4. GEOLOGIA REGIONAL

4.1 Bacia do Paraná

A Bacia do Paraná é uma bacia sedimentar do continente Sul-americano que inclui porções territoriais do Brasil meridional, Paraguai oriental, nordeste da Argentina e norte do Uruguai, totalizando área que se aproxima dos 1,5 milhão de quilômetros quadrados. (MILANI *et al.*, 2007). No Brasil, a bacia compreende parte dos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Goiás e Minas Gerais.

A bacia tem forma ovalada com um comprimento maior na posição norte-sul, sendo classificada como uma bacia de interior cratônico, tipo sinéclise, que apresenta limites erosivos em praticamente todo seu perímetro, relacionados em grande parte à história geotectônica meso-cenozóica do continente (MILANI, 1997). O registro estratigráfico da Bacia do Paraná é composto por pacote sedimentar-magmático com aproximadamente sete mil metros de espessura (MILANI *et al.*, 2007). O depocentro coincide aproximadamente com o Rio Paraná, embora o eixo principal de deposição tenha variado durante a história da bacia.

Milani *et al.* (2007) classificam a Bacia do Paraná como sendo composta por seis unidades estratigráficas de ampla escala, ou supersequências (VAIL *et al.*, 1977 apud MILANI 1997): Rio Ivaí (Ordoviciano-Siluriano), Paraná (Devoniano), Gondwana I (Carbonífero-Eotriássico), Gondwana II (Meso-Neotriássico), Gondwana III (Neojurássico-Eocretáceo) e Bauru (Neocretáceo) (Figura 2).

As primeiras três sequências citadas são constituídas por sucessões sedimentares que caracterizam ciclos transgressivo-regressivos relacionados a oscilações do nível relativo do mar no Paleozóico. As demais sequências são constituídas por rochas sedimentares de origem continental associadas a intrusões ígneas (MILANI *et al.*, 2007).

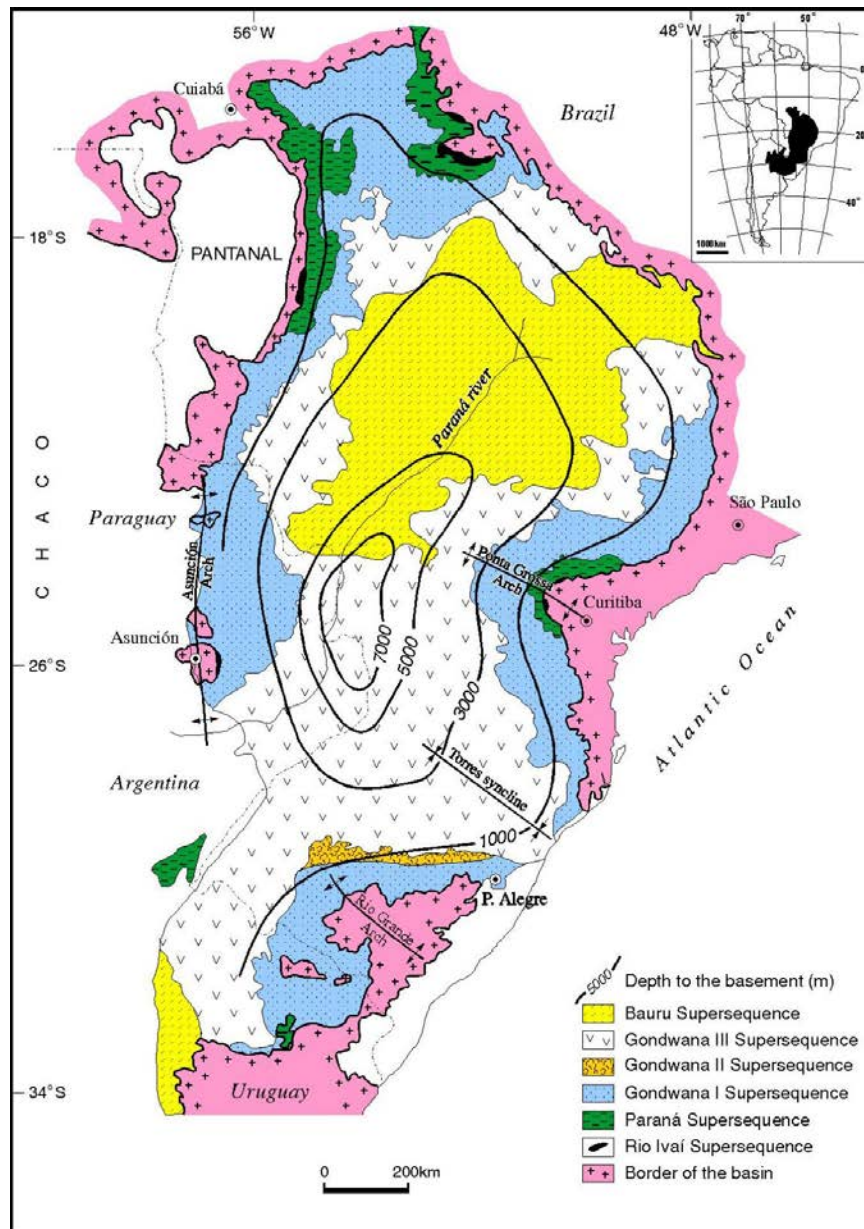


Figura 2 – Mapa geológico simplificado da Bacia do Paraná, com o contorno estrutural (profundidade) do embasamento cristalino (Milani, 2004).

A implantação da Bacia do Paraná deu-se na forma de depressões alongadas na direção NE-SW, segundo a trama do substrato pré-cambriano (MILANI, 1997). Na borda leste da Bacia encontra-se o Arco de Ponta Grossa, um anticlinal que expressa antigas e profundas falhas, feição esta que também é associada ao soerguimento crustal resultante do rifte do Atlântico-Sul durante o Jurássico. Já o flanco oeste é delimitado pelo Arco de Assunção, uma flexura relacionada ao cinturão andino. As outras bordas da Bacia delimitam áreas onde os estratos sobrepõem-se a rochas cristalinas de províncias cratônicas ou de faixas móveis do embasamento Pré-Cambriano (MILANI, 1997).

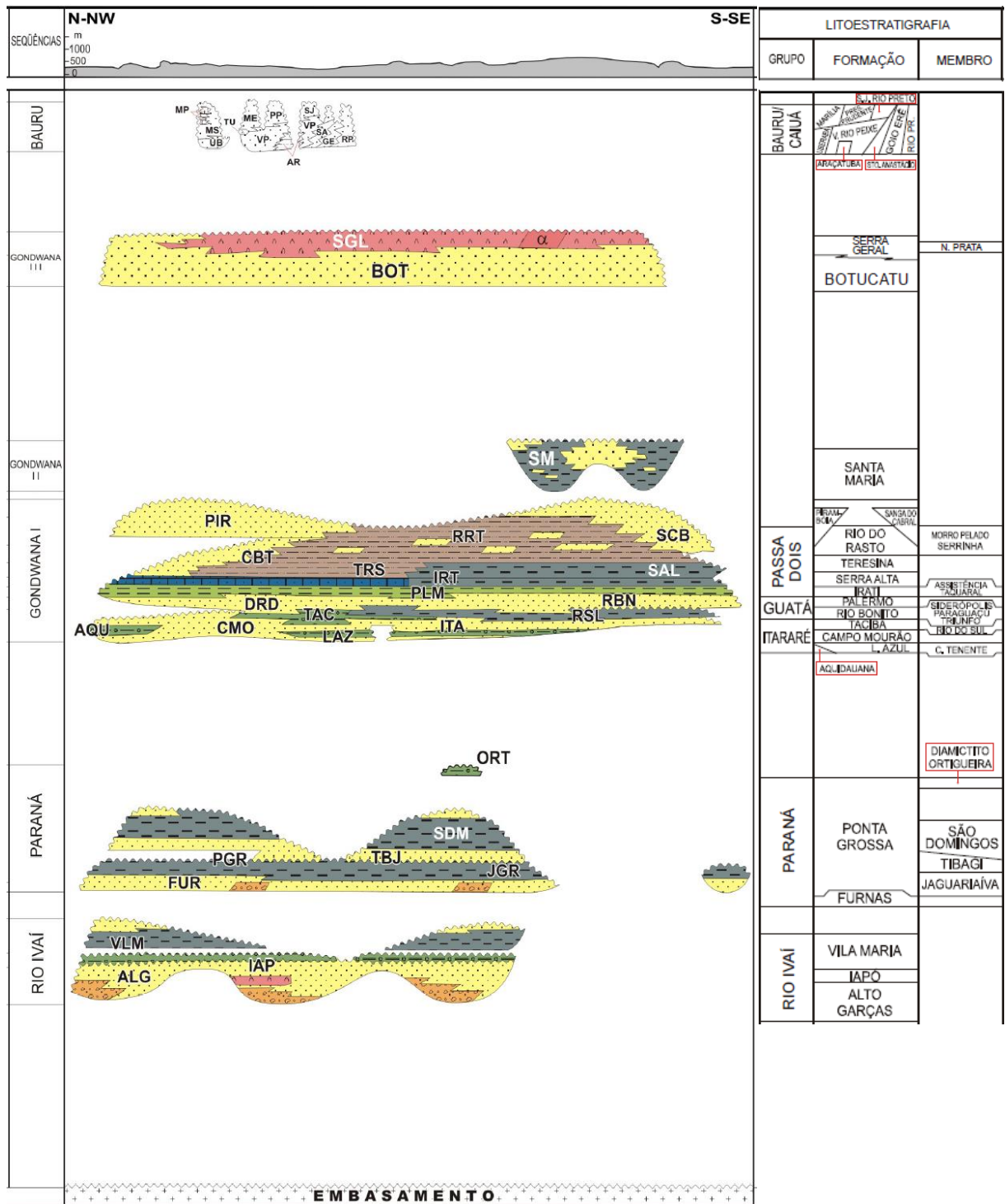


Figura 3 – Carta Estratigráfica da Bacia do Paraná (Milani *et al.*, 2007)

4.2 Formação Piramboia

A Formação Piramboia, formação geológica de interesse para este estudo, insere-se na Bacia Sedimentar do Paraná. Tal formação pertence à supersequência Gondwana I, de acordo com a Carta Estratigráfica da Bacia do Paraná de Milani *et al.* (2007) (Figura 3). A imagem abaixo mostra a área de estudo inserida na Bacia do Paraná no Estado de São Paulo (Figura 4).

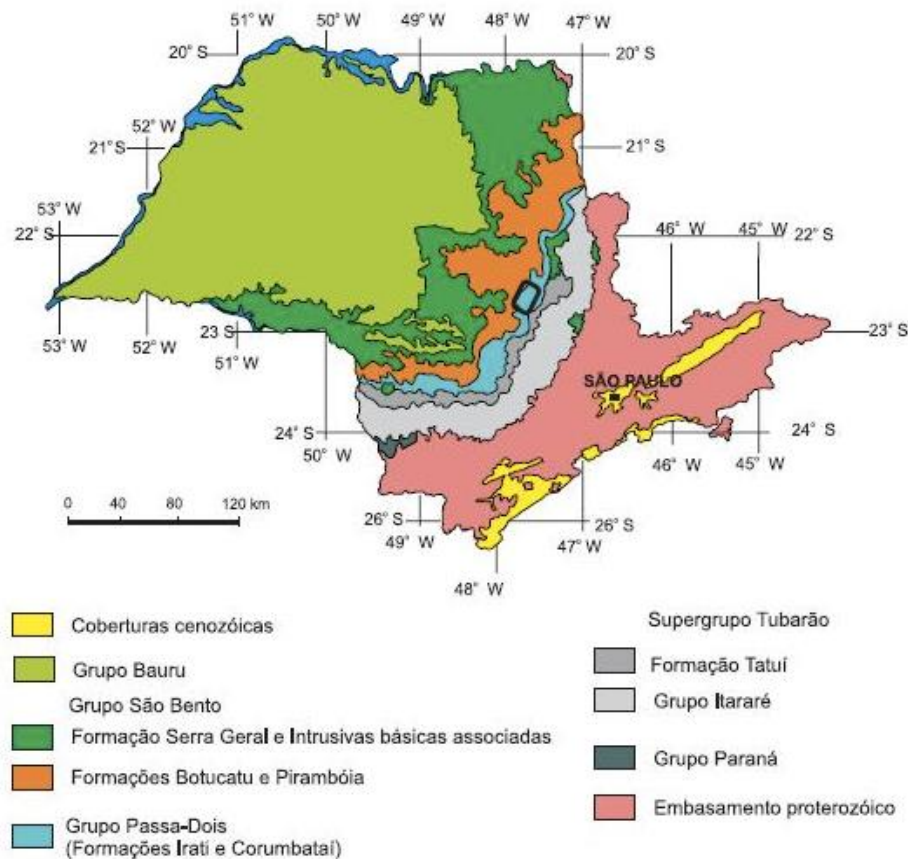


Figura 4 – Mapa Geológico Simplificado do Estado de São Paulo. O retângulo preto corresponde a área de estudo e cercanias imediatas (IPT, 1981).

No início do século XX, os trabalhos da Comissão Geográfica e Geológica do Estado de São Paulo introduziu o termo de Camadas Piramboia ou Arenitos Piramboia como sendo camadas de argilitos, siltitos e arenitos argilosos aflorantes próximo a cidade de Piramboia – SP (PACHECO, 1928 *apud* PARAGUASSU, 1968). Entretanto, os sedimentos das Formações Botucatu e Piramboia apareciam em conjunto no mapa, a exemplo da Figura 4.

Washburne (1930) foi o primeiro autor a caracterizar a separação entre as duas unidades (Arenito Piramboia e Botucatu), diferenciando-as quanto a posição e ambiente deposicional. O

Arenito Botucatu foi caracterizado como sendo a unidade superior de arenitos eólicos e o Arenito Piramboia como sendo a inferior depositada, segundo o autor, em ambiente subaquoso.

Posteriormente, alguns autores consideravam correto a utilização do termo *fácies Pirambóia* e *fácies Santana* para o conjunto arenoso de característica subaquosa presente nas porções inferiores do Arenito Botucatu (ALMEIDA, 1953; ALMEIDA E BARBOSA, 1953). Esta discussão faciológica perdurou até Soares (1973) que adotou a divisão em duas formações geológicas distintas, a Formação Piramboia, com características subaquosas predominante e a Formação Botucatu eminentemente eólica, sendo esta divisão um marco no estudo geológico destas formações na Bacia do Paraná.

A Formação Piramboia, a partir de então, é interpretada como de idade Triássica (SCHNEIDER *et al.*, 1974; SOARES & LANDIM, 1975; CAETANO-CHANG, 1997; ASSINE *et al.*, 2004; PERINOTTO & ZAINI 2008) e possui espessura variável, tendo apenas alguns metros no Estado do Paraná e mais de 400 metros em subsuperfície no Estado de São Paulo (ASSINE *et al.*, 2004). É constituída por arenitos esbranquiçados, amarelados, avermelhados, variando de médios a muito finos, silto-argilosos, de grãos foscos, subangulosos a subarredondados, com intercalações de finas camadas de argilitos e siltitos laminados (SCHNEIDER *et al.*, 1974).

Pode-se separar a Formação Piramboia em duas fácies sedimentares predominantes distintas. As fácies eólicas comumente apresentam estratificação cruzada de médio a grande porte, composta essencialmente por arenitos muito finos a médios. Fácies fluviais mostram estratificações e laminações plano-paralelas, cruzadas planares e acanaladas (CAETANO-CHANG, 1997; CAETANO-CHANG & WU, 2003; CAETANO-CHANG & WU, 2006). Tais fácies fluviais são constituídas de arenitos grossos, também conglomeráticos com intraclastos pelíticos – Arenitos Itirapina para Caetano-Chang e Wu (2006) – que ocorrem tanto lateralmente quanto verticalmente associadas as fácies eólicas, afirmando a interação fluvio-eólica que deu origem a esta formação (ASSINE *et al.*, 2004), indicando ambiente deposicional predominantemente desértico com contribuição continental fluvial de depósitos de rios meandantes associados a pequenas lagoas em clima oxidante (SCHNEIDER *et al.*, 1974) ou canais fluviais temporários (CAETANO-CHANG, 1997).

Na porção meridional da Bacia do Paraná, a Formação Piramboia é considerada lateralmente correlata à Formação Sanga do Cabral, descrita como sucessão fluvio-eólica que se adelgaça para NE (LAVINA, 1988). Ressalta-se que a Formação Piramboia também se

adelgaça para SW, ou seja, no sentido do centro da bacia (MILANI *et al.*, 2007), contudo não há continuidade física entre estas unidades e nem datações que permitam confirmar tal correlação.

Outras correlações foram aventadas por diferentes pesquisadores; Milani *et al.* (1994) considerou a Formação Piramboia como sendo cronocorrelata às Formações Rosário do Sul e Santa Maria. Milani (2004) correlaciona como sendo interdigitada com a Formação Rio do Rasto e cronocorrelata, também, a Formação Sanga do Cabral. Soares & Assine (1992), por outro lado, correlacionam a Formação Piramboia como sendo cronocorrelata às formações Santa Maria e Caturrita do sul do país.

O contato inferior da Formação Piramboia com a Formação Corumbataí, é tido como discordante, evidenciado pela presença de brecha entre as formações (SCHNEIDER *et al.*, 1974; SOARES, 1973). Entretanto, Fúlfaro (1972), considerou o contato como de caráter transicional, inserindo as brechas interclásticas no topo da Formação Corumbataí e não na transição entre as duas formações. Vieira e Maingué (1972) descrevem porções de passagem abrupta e outras gradativas para o contato inferior da Formação Piramboia. Nos trabalhos mais recentes, Caetano-Chang (1997) considera o contato erosivo com discordância entre brechas e lamitos avermelhados. Milani (1997), porém, considera o contato como interdigitado baseado em análise de perfilagem geofísica de poços perfurados em vários locais da Bacia do Paraná pela Petrobrás.

O contato superior, da Formação Piramboia com a Formação Botucatu, é interpretado como discordância erosiva de dezenas de milhões de anos, sendo este intervalo ainda não bem estabelecido pela variabilidade da posição estratigráfica da Formação Piramboia (ASSINE *et al.*, 2004). Contudo, essa discordância mostra-se evidente para os autores devido a maior frequência de camadas com estratificações cruzadas de baixo ângulo e/ou estratificações plano paralelas (fácies fluviais), característica do sistema de interduna úmido, caracterizando-a como um sistema eólico úmido (ASSINE *et al.*, 2004), diferenciando-se da Formação Botucatu que é interpretada como um sistema eólico seco.

Os trabalhos clássicos de proveniência sedimentar da Formação Piramboia levaram em conta, principalmente, dados de paleocorrentes levando a interpretação de paleofluxos e paleoventos. Almeida (1953) atribuiu direção SSW preferencial, com dados para NW e NE também para a Formação Botucatu a partir de 260 medidas. Bigarella & Salamuni (1961), com mais de 3000 medidas de paleocorrentes para as Formações Piramboia, Botucatu e Serra Geral

distribuídos nos estados do Sul, Sudeste, Centro-Oeste e no Uruguai, indicaram dados tanto para SW, quanto para NE com a convergência para o centro do Estado do Paraná. Para Soares (1973), as paleocorrentes rumam para W e SW no flanco norte da Bacia do Paraná.

Especificamente na Formação Piramboia no Estado de São Paulo, Cartano-Chang (1997) realizou 306 medidas e observou diferenças entre a parte inferior e superior da formação. A porção basal indica paleoventos na direção SE, enquanto que na porção de topo também há contribuição NE e SW. Paleofluxos na base indicam direção NW enquanto que no topo direção NE. Caetano-Chang (1997) ainda obteve dados persistentes para WNW nos arenitos conglomeráticos do topo da Formação Piramboia.

Assine *et al.* (2004), apresentou dados separados de medidas de paleocorrentes, eólicas e fluviais. Os dados de paleocorrentes eólicas indicam rumos para SW e SE principalmente, enquanto que os dados de paleocorrentes de fácies fluviais são mais consistentes para W. Os dados são apresentados nos diagramas em rosa na Figura 5. O Quadro 3 mostra a evolução do conhecimento da Formação Piramboia.

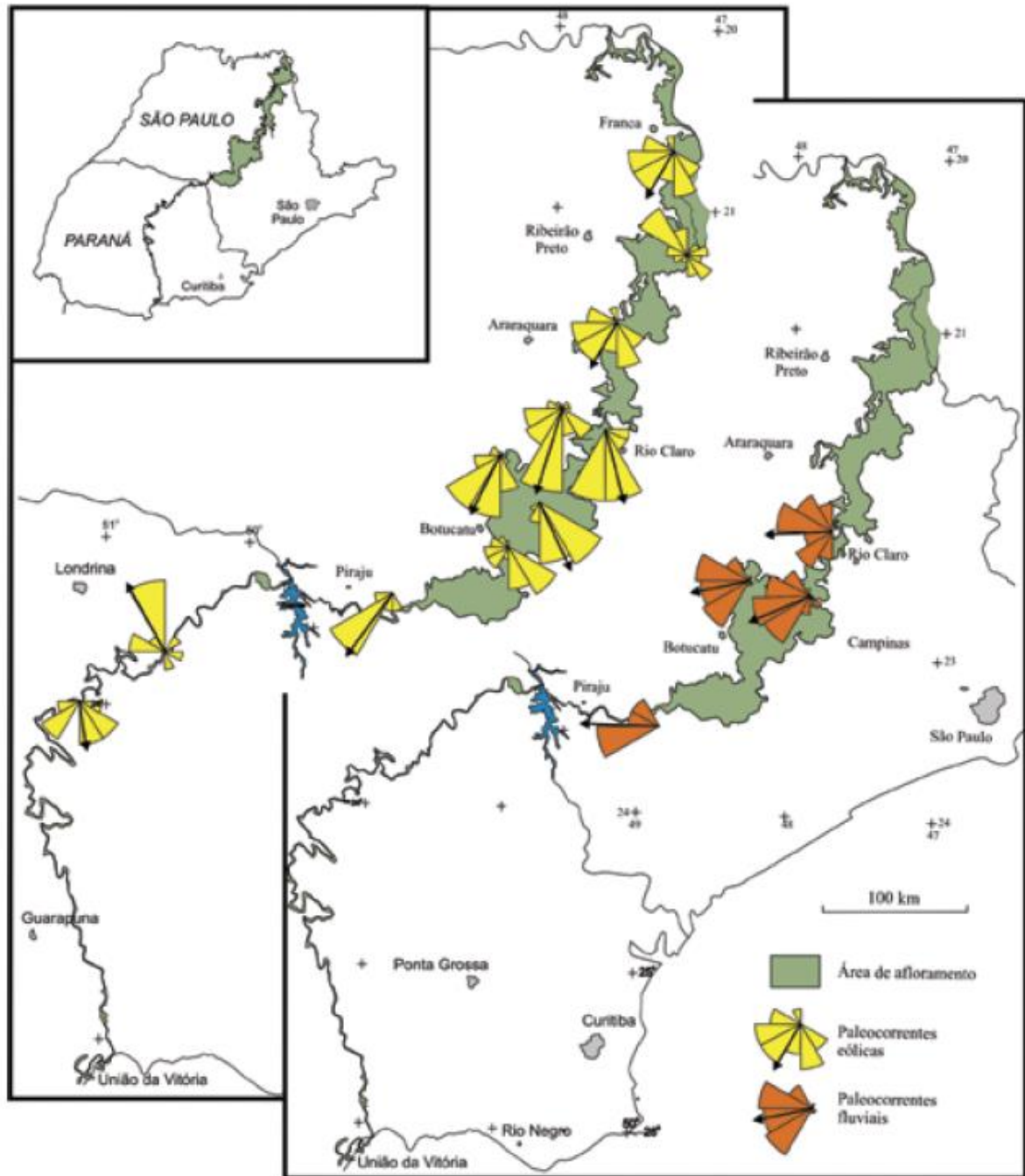


Figura 5 – Diagrama em rosa de paleocorrentes eólicas e paleocorrentes fluviais da Formação Pirambóia (ASSINE *et al.*, 2004)

Autor (ano)	Idade	Sistema Depositional	Local
Washburne (1930)	-	Fluvial	SP
Maack (1952)	-	Fluvial	PR
Bigarella (1948)	-	Fluvial	PR
Almeida & Barbosa (1953)	-	Fluvial	SP (região de Rio Claro)
Almeida (1954)	Triássico (fauna de conchostráceos)	Lacustre (topo), fluvial (base)	SP-PR-SC
Franzinelli (1973)	-	Predomínio fluvial	Entre rios Paranapanema e Piracicaba
Soares (1973)	-	Fluvial	SP
Thomaz (1976 apud Leonardi 1980)	Jurássico (Aaleniano)	Fluvial	SP (região de Araraquara)
Riccomini <i>et al.</i> (1984)	Permo-Triássico	Fluvial	PR (Serra do Cadeado)
Cottas <i>et al.</i> (1986)	-	Fluvial	SP (nordeste de SP, Guarapuava) PR (Ponta Grossa)
Caetano-Chang <i>et al.</i> (1991)	-	Eólico, fluvial subordinado	SP (São Pedro)
Caetano-Chang & Wu (1993)	Triássico	Eólico, fluvial subordinado	SP (São Pedro)
Lavina (1991)	Permiano Superior (Tatariano-Citiano)	Fluvio-eólico	Brasil-Uruguai-Paraguai-Argentina
Caetano-Chang (1997)	Triássico	Fluvio-eólico	SP (centro leste do estado de SP)
Milani (1997)	Permiano Superior (Tatariano-Citiano)	Fluvio-eólico	Brasil-Uruguai-Paraguai-Argentina
Giannini <i>et al.</i> (1999)	Permo-Triássico	Transicional (costeiro, fluvial, eólico)	SP-PR
Assine <i>et al.</i> (2004)	Não certo	Eólico úmido	PR-SP
Perinotto & Zaine (2008)	Triássico	Fluvial e desertico	SP (região de Rio Claro)

Quadro 3 – Evolução do conhecimento da Formação Piramboia (Modificado de Sgarbi, 1997 e Donatti, 2002).

5. RESULTADOS

Os resultados obtidos foram divididos para melhor entendimento do trabalho em três seções. As duas primeiras (5.1 e 5.2) é referente à parte sedimentar do estudo, dividida em análise das fácies descritas em campo e análise das paleocorrentes medidas. A terceira parte (5.3) refere-se a geoquímica do mineral rutilo extraído das amostras.

5.1 Fácies da Formação Piramboia

O presente trabalho divide simplifcadamente as fácies da Formação Pirambóia em duas, no entanto, é sabido que esta formação apresenta mais fácies sedimentares, podendo citar como exemplo: fácies de estratos maciços, fácies de estratificação plano paralela, *ripples*, fácies conglomeráticas, entre outros.

5.1.1 Fácies *St(f)*

A fácies *St(f)* são compostas por arenitos finos a grossos e localmente conglomeráticos de coloração avermelhada e amarelados, mal selecionados e com estratificação cruzada acanalada de pequeno porte (entre 0,3 e 1 metro) resultante de uma migração de duna de crista sinuosa em ambiente subaquoso com fluxo de regime inferior (menor que 1). Figura 6 - A) e B).

5.1.2 Fácies *St(e)*

A fácies *St(e)* da Formação Piramboia, são constituídas de arenitos muito finos a médios, avermelhados, bem selecionados, arredondados e esféricos de brilho fosco. É possível se observar bimodalidade na distribuição granulométrica dos grãos, mostrando os processos eólicos de *grainflow* e *grainfall* característicos de trabalho dos grãos em ambiente desértico. Figura 6 - C), D) e E).



A)



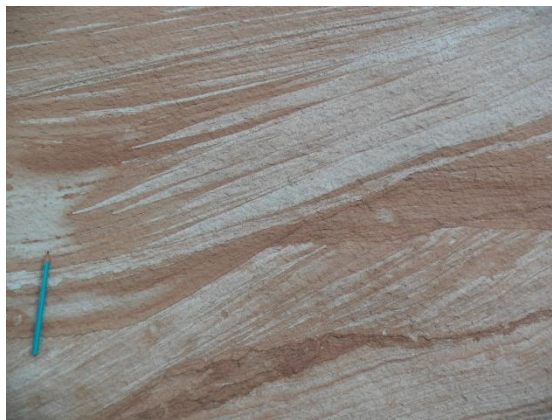
B)



C)



D)



E)

Figura 6 – Fotografias de afloramentos da Formação Piramboia. A) afloramento da fácies St(f), topo da Formação Piramboia; B) corte do afloramento, fácies St(f); C) afloramento fácies St(e); D) afloramento fácies St(e), evidenciando sets de porte médio; E) detalhamento fácies St(e), sets de pequeno porte.

5.2 Paleocorrentes

As paleocorrentes medidas foram representadas em diagramas de roseta que corroboram àqueles apresentados por Assine *et al.* (2004), mostrando forte evidencia de paleocorrentes fluviais com rumo para SW (Figura 7 – b) e de paleocorrentes eólicas mais dispersas entre NW, SW e SE (Figura 7 – a / c). Esta dispersão pode ser explicada pela não uniformidade dos paleoventos. A Figura 8 mostra os dados adquiridos em fácies eólicas e fluviais da Formação Pirambóia na área de estudo.

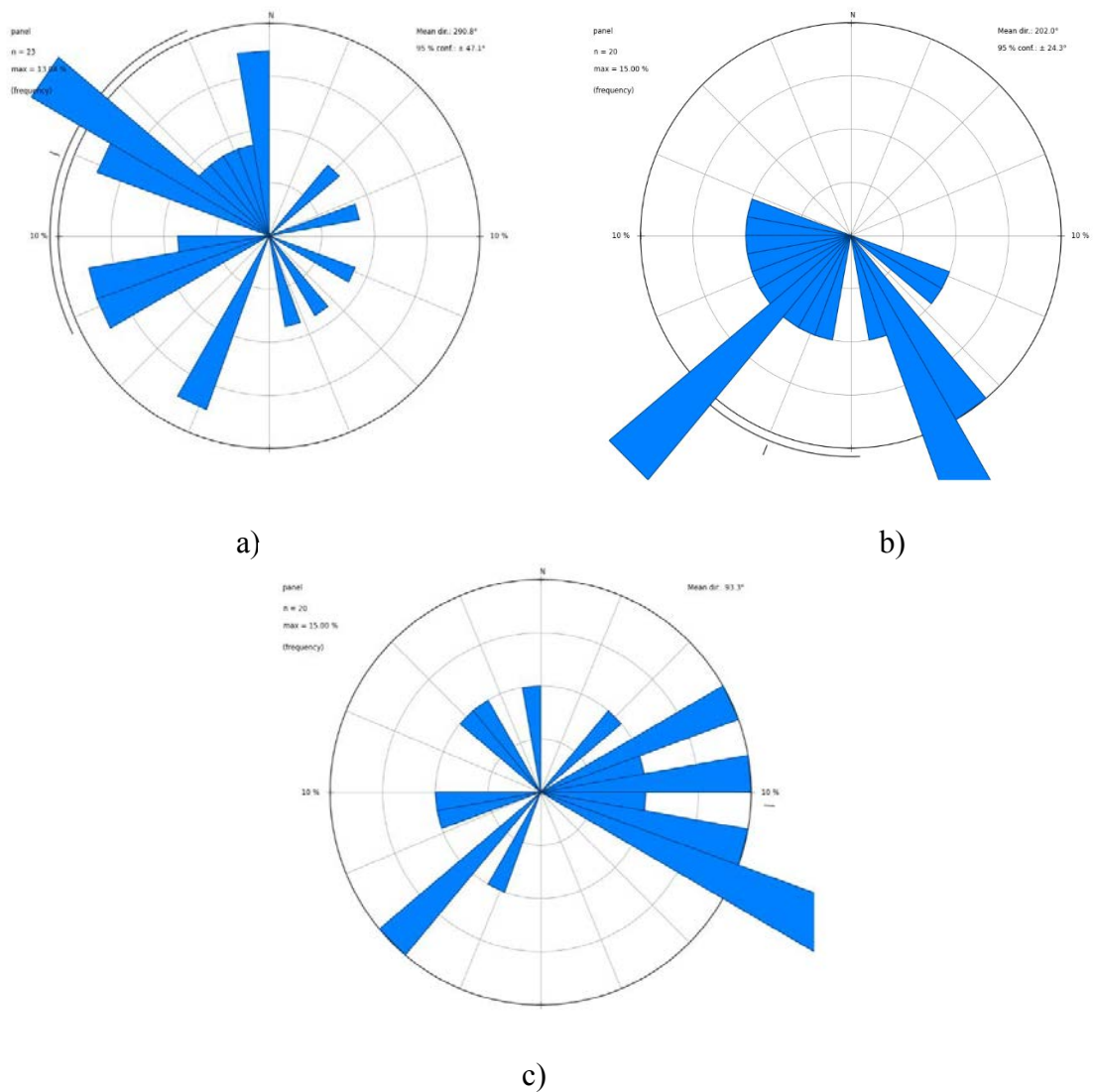


Figura 7 – Diagrama em roseta das estações 1, 2 e 3 de paleocorrentes. A) e C) são de fácies eólicas e B) de fácies fluviais. Software Openstereos.

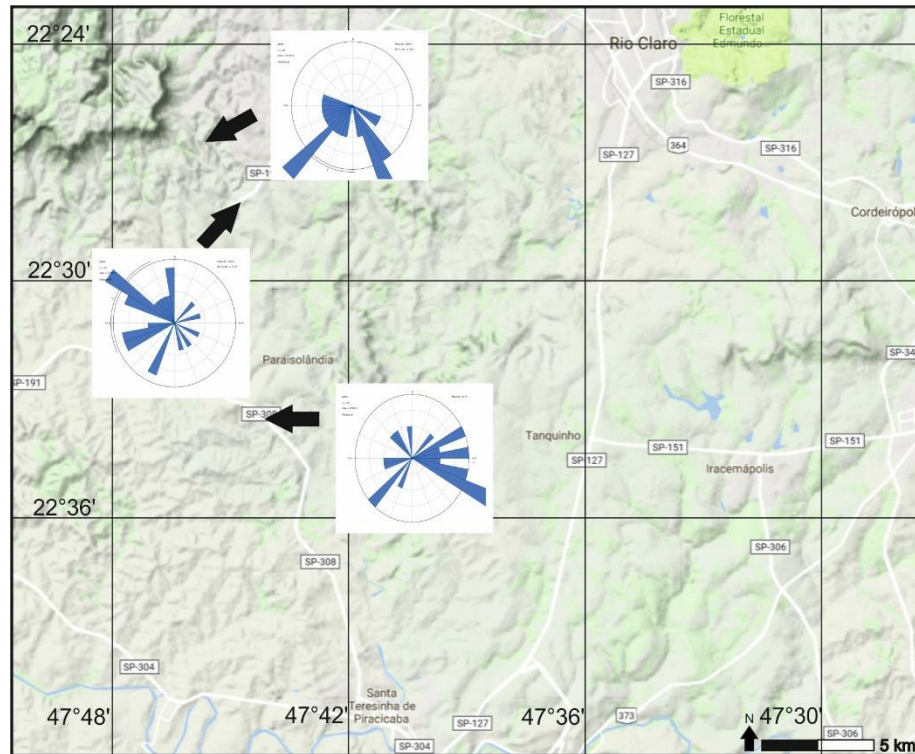


Figura 8 – Estações dos diagramas em rosa inseridas na área de estudo.

5.3 Geoquímica Rutilo

As análises geoquímicas dos grãos de rutilo envolveram:

- Análise dos grãos por meio de Microscopia Eletrônica de Varredura e produção de imagens BSE (*Backscattered-Electron Images*) apresentadas na seção 5.3.1;
- Análise dos elementos traços em rutilo por meio de EPMA;
- Discussão sobre os polimorfos do rutilo, a partir dos dados de elementos Nb, Cr, Sn, Fe, V e Zr, na seção 5.3.2.
- Análise da temperatura, pressão e elementos traços do rutilo, na seção 5.3.3.

Essas informações geoquímicas associadas aos dados sedimentares fomentam a questão central desta pesquisa, sobre a área fonte dos sedimentos da Formação Piramboia.

A Tabela 1 contém os elementos traços de cada ponto de análise (PA) necessária para a discussão dos polimorfos, temperatura e pressão da rocha fonte.

	DL	33	22	70	110	70	120	130	55	140	120	50	50		
Identificação	PA	Si	Al	V	Sn	Cr	Sb	Ta	Fe	W	Hf	Zr	Nb	P	ToC
Rutilo 1	1	BD	116	1867	BD	424	BD	BD	925	BD	BD	577	1167	6	687
Rutilo 1	2	BD	111	1855	BD	438	BD	BD	925	BD	BD	622	1181	6	694
Rutilo 1	3	552	148	2328	BD	383	BD	BD	1438	BD	BD	592	1265	6	690
Rutilo 2	1	BD	159	749	646	794	BD	BD	7213	1388	BD	563	6948	6	685
Rutilo 2	2	BD	148	934	606	725	BD	BD	7384	1213	BD	548	7193	6	683
Rutilo 2	3	327	153	719	646	766	BD	401	7392	1213	BD	481	6676	6	671
Rutilo 3	1	BD	164	1327	BD	547	BD	BD	1422	BD	BD	2739	1678	6	849
Rutilo 3	2	BD	169	1456	BD	582	BD	BD	BD	BD	BD	3124	1538	6	865
Rutilo 3	3	BD	159	1327	BD	541	BD	BD	1508	BD	187	3250	1587	6	870
Rutilo 4	1	BD	291	817	189	349	BD	409	4112	444	BD	141	4928	6	576
Rutilo 4	2	BD	101	669	142	609	BD	139	2806	BD	BD	104	2307	6	556
Rutilo 4	3	BD	349	399	181	376	BD	BD	2728	BD	BD	118	2545	6	565
Rutilo 5	1	BD	132	1026	BD	452	BD	BD	1026	BD	BD	452	1007	6	666
Rutilo 5	2	BD	180	1032	BD	472	BD	BD	BD	BD	BD	429	1615	6	662
Rutilo 5	3	BD	196	1314	BD	554	BD	BD	1593	222	BD	437	2558	6	663
Rutilo 6	1	BD	69	1517	BD	1067	BD	BD	513	BD	BD	1044	762	6	743
Rutilo 6	2	BD	53	1554	BD	1074	BD	BD	536	BD	BD	933	629	6	732
Rutilo 6	3	BD	48	1775	BD	999	BD	BD	490	BD	BD	600	510	6	691
Rutilo 7	1	BD	101	117	291	BD	BD	BD	5651	BD	BD	155	7165	6	583
Rutilo 7	2	337	138	178	315	BD	BD	205	8068	452	BD	170	11422	6	590
Rutilo 8	1	BD	212	676	BD	527	BD	BD	2410	BD	BD	141	2356	6	576
Rutilo 8	2	BD	153	694	BD	534	BD	BD	2223	BD	BD	126	2391	6	569
Rutilo 8	3	61	191	614	BD	547	BD	BD	2324	BD	BD	74	2363	6	534

Tabela 1 – Dados de elementos traços nos grãos de rutilo amostrados (Abreviações; DL: Limite de detecção; PA: Pontos de Análise; Si: Silício; Al: Alumínio; V: Vanádio; Sn: Estanho; Cr: Cromo; Sb: Antimônio; Ta: Tântalo; Fe: Ferro; W: Tungstênio; Hf: Háfnio; Zr: Zircônio; Nb: Nióbio; P: Pressão; ToC: Temperatura de Cristalização a pressão colocada; BD: abaixo do nível de detecção).

5.3.1 Caracterização dos rutilos analisados

As imagens BSE (obtidas na EPMA, modo microscopia eletrônica de varredura) contribuem para definição exata dos pontos de análise (superfície limpa do cristal) e identificação dos grãos utilizados, quanto a tamanho, ranhuras e possíveis inclusões, estando apresentadas nas Figuras 9, 10, 11, 12.

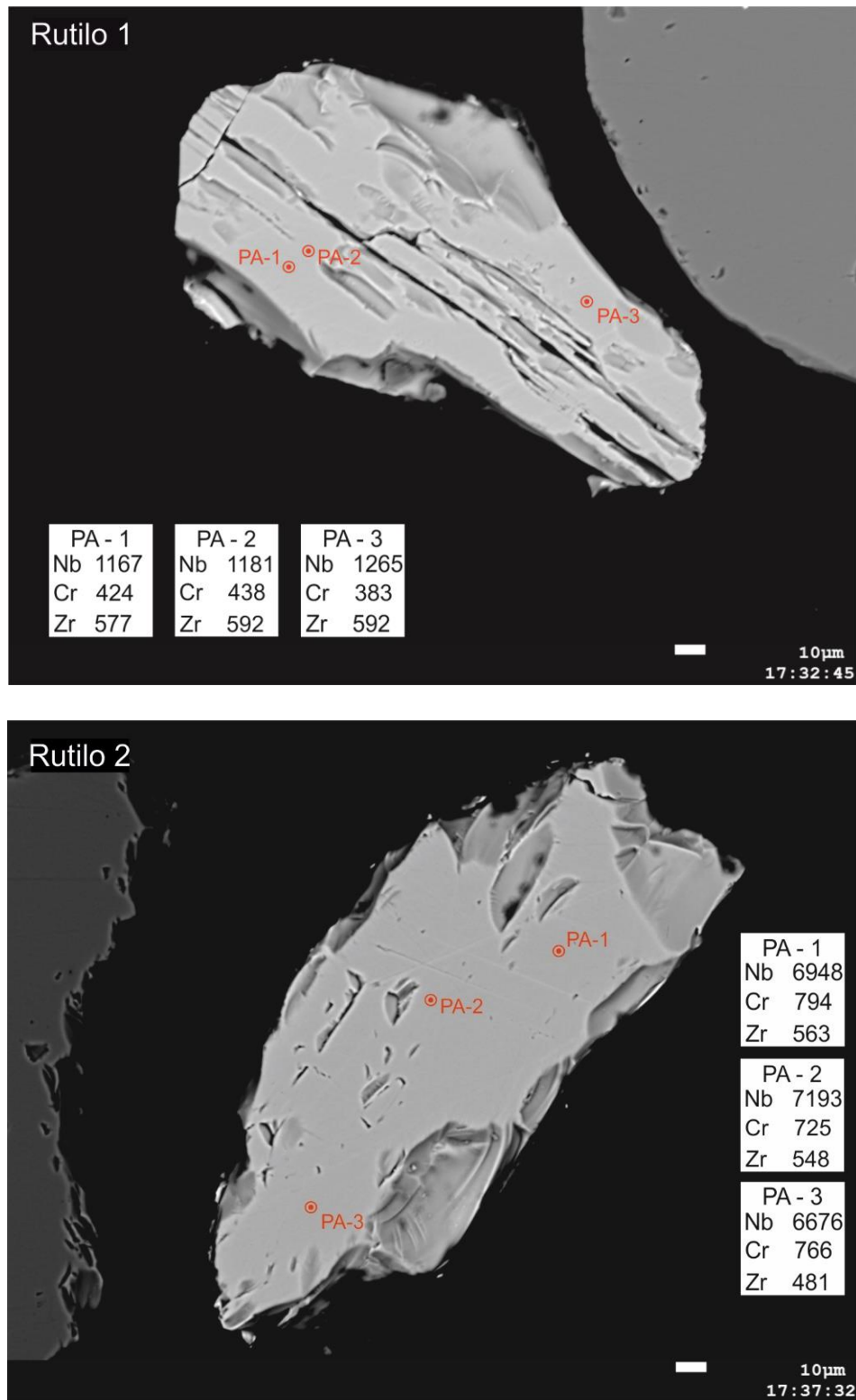


Figura 9 – Imagens BSE dos grãos de Rutilo 1 e 2, indicados na imagem e pontos de análise (PA) com respectivas concentrações dos elementos traços, em ppm.

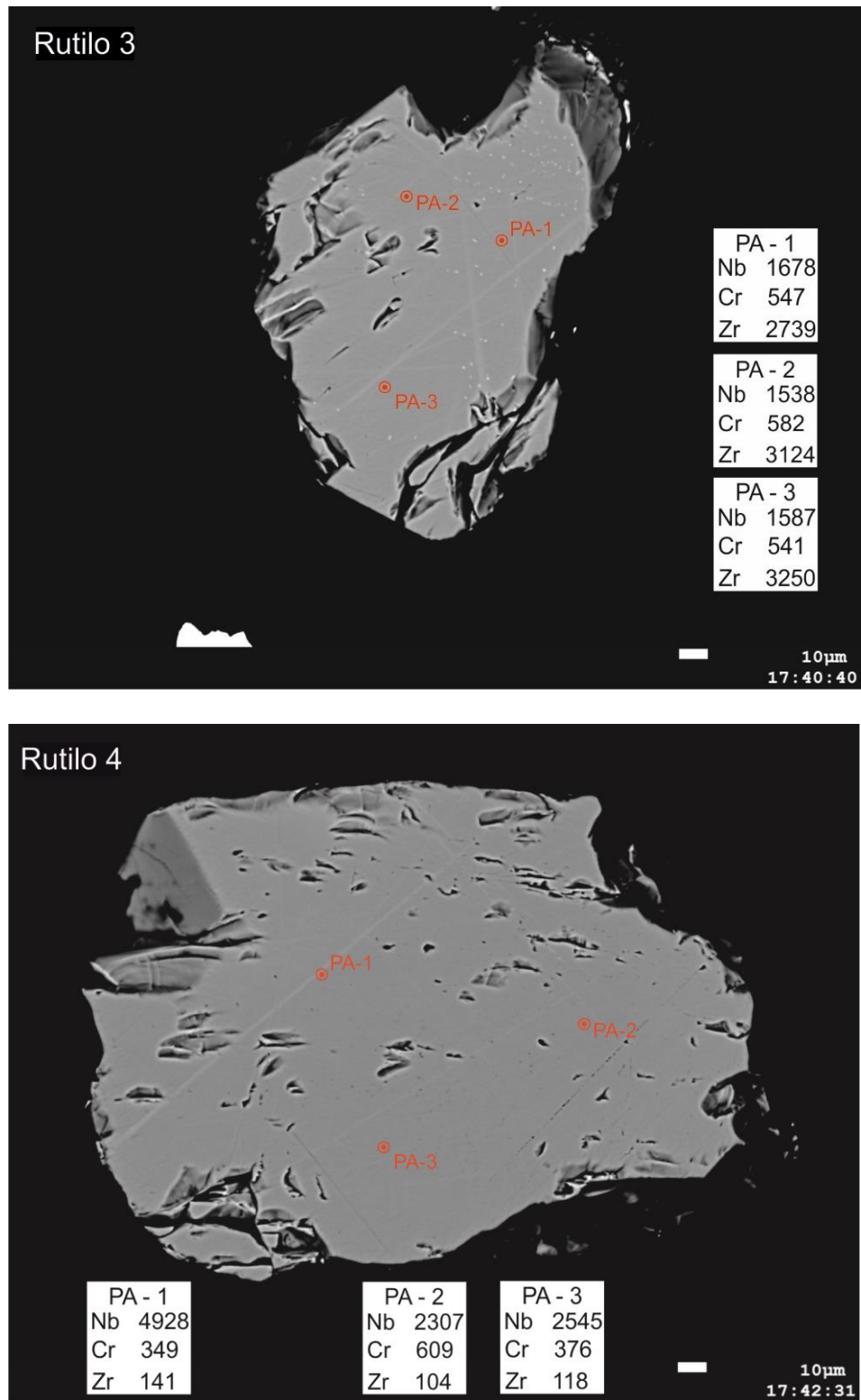


Figura 10 – Imagens BSE dos grãos de Rutilo 3 e 4, indicados na imagem e pontos de análise (PA) com respectivas concentrações dos elementos traços, em ppm.

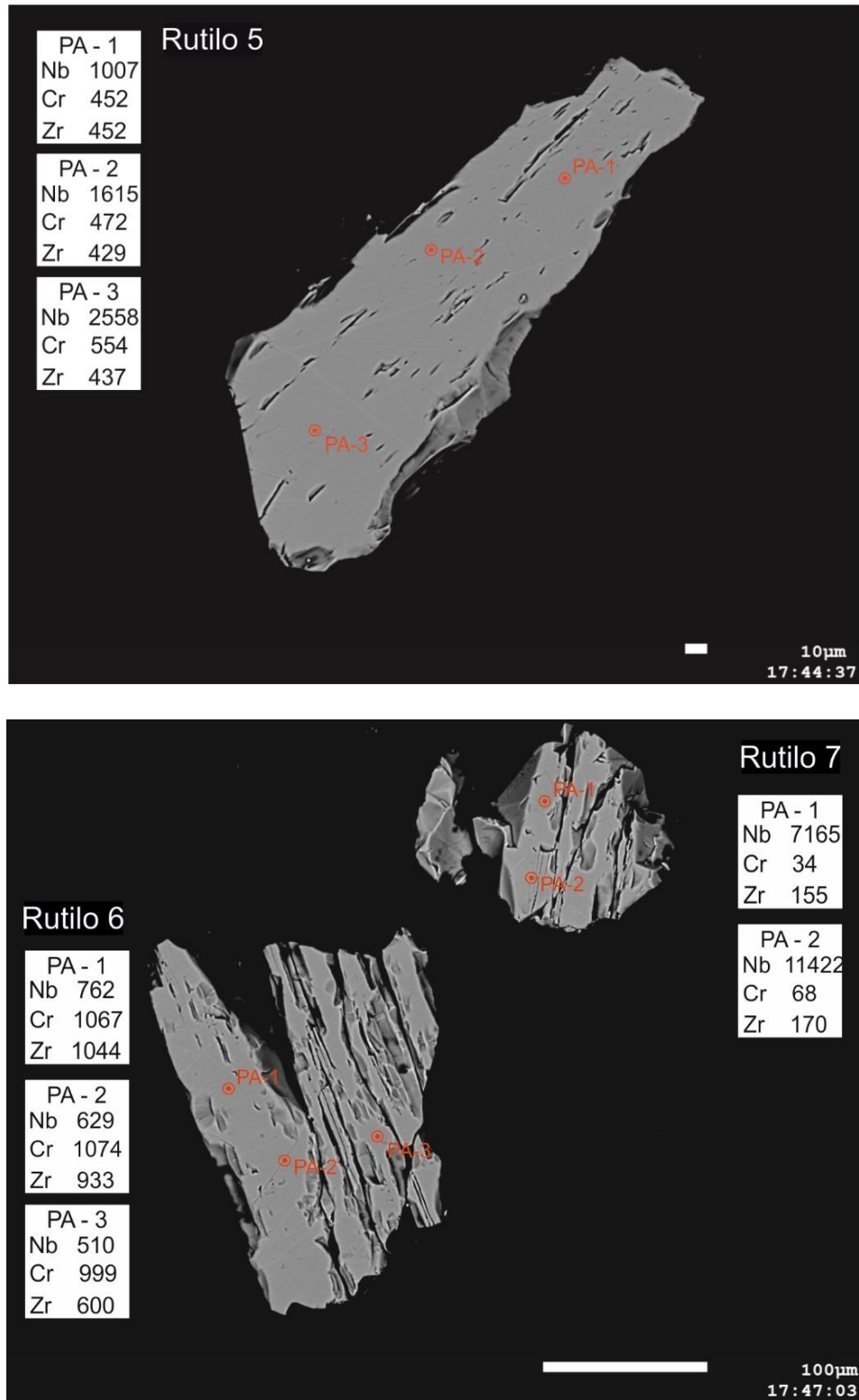


Figura 11 – Imagens BSE dos grãos de Rutilo 5, 6 e 7, indicados na imagem e pontos de análise (PA) com respectivas concentrações dos elementos traços, em ppm.

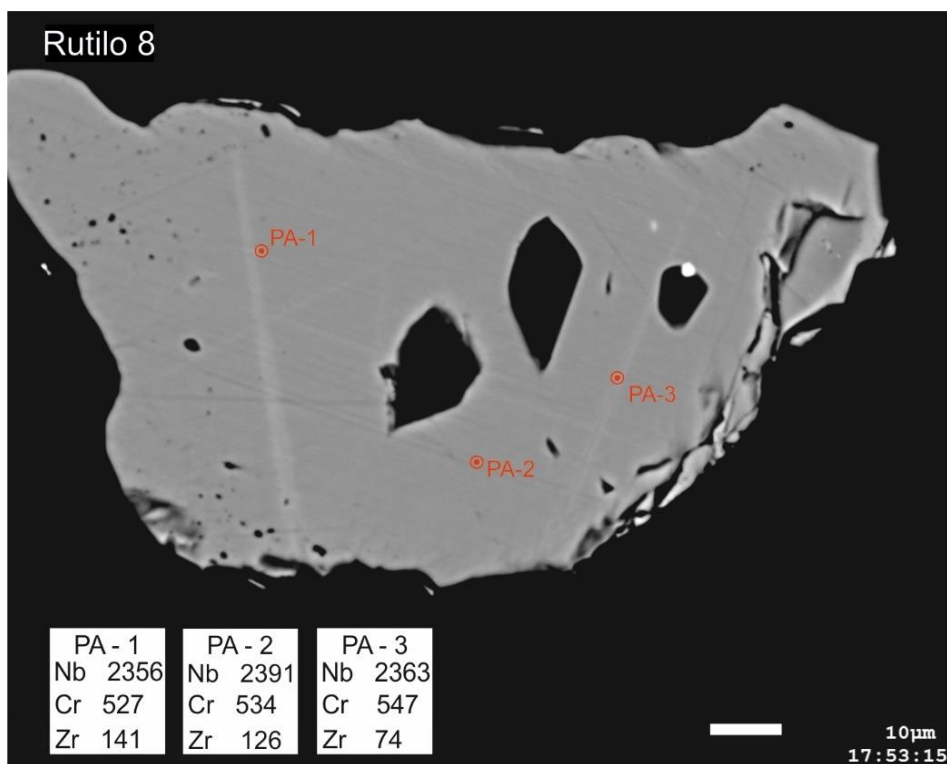


Figura 12 – Imagem BSE do grão de Rutilo 8, indicado na imagem e pontos de análise (PA) com respectivas concentrações dos elementos traços, em ppm.

5.3.2 Polimorfos de Rutilo

Como mencionado na terceira etapa do Quadro 2, é de importância a determinação do mineral analisado na questão dos polimorfos do TiO_2 , podendo estes grãos serem o próprio rutilo, anatásio ou bruquita.

Tais polimorfos possuem características diferentes quanto a presença dos elementos traços, sendo que as técnicas empregadas, principalmente do geotermômetro *Zr-in-rutile* (zircônio em rutilo – apresentado posteriormente) só se apresentam confiáveis se aplicadas no rutilo (TRIEBOLD *et al.*, 2012).

Utilizando essas diferenças nas concentrações dos elementos traços, Triebold *et al.* (2011) desenvolveram uma tabela para se ter probabilidades estimativas de quais ou qual é o polimorfo de TiO_2 está se trabalhando. Os elementos utilizados são Nb, Cr, Sn, Fe, V e Zr.

Com base nos dados obtidos (Tabela 1), este cálculo foi realizado para as 8 amostras e as probabilidades estão apresentadas na Tabela 2.

Identificação	PA	Probabilidades		
		Anatásio	Bruquita	Rutilo
Rutilo 1	1	0.004	0.001	0.995
Rutilo 1	2	0.003	0.000	0.997
Rutilo 1	3	0.007	0.469	0.524
Rutilo 2	1	0.002	0.000	0.998
Rutilo 2	2	0.001	0.000	0.999
Rutilo 2	3	0.002	0.000	0.998
Rutilo 3	1	0.006	0.000	0.994
Rutilo 3	2			
Rutilo 3	3	0.040	0.102	0.857
Rutilo 4	1	0.004	0.000	0.995
Rutilo 4	2	0.003	0.000	0.997
Rutilo 4	3	0.012	0.000	0.988
Rutilo 5	1	0.008	0.000	0.991
Rutilo 5	2			
Rutilo 5	3	0.006	0.001	0.994
Rutilo 6	1	0.017	0.043	0.940
Rutilo 6	2	0.002	0.000	0.998
Rutilo 6	3	0.009	0.051	0.940
Rutilo 7	1	0.635	0.002	0.363
Rutilo 7	2	0.279	0.001	0.720
Rutilo 8	1	0.006	0.000	0.994
Rutilo 8	2	0.005	0.000	0.995
Rutilo 8	3	0.006	0.000	0.994

Tabela 2 – Probabilidades dos polimorfos de TiO₂.

Os dados mostrados na tabela evidenciam a alta probabilidade (maior que 99%), na maior parte dos grãos, de serem rutilos, permitindo a aplicação das técnicas aventadas. Os espaços em branco representam valores de concentrações abaixo do nível de detecção para utilização desta tabela, mas os demais pontos de análise (PA) permitem a inferência do polimorfo.

O grão 7 apresenta característica dual, ora se apresentando como anatásio, ora como rutilo, este fato faz com que o grão não seja bom indicador do geotermômetro a ser utilizado, no entanto, visto a pouca quantidade de amostras, tentou-se utiliza-lo para os procedimentos seguintes.

5.3.3 Elementos Traços

As análises dos elementos traços são de extrema importância para o trabalho, já que a correlação entre tais elementos, juntamente com pressões e temperaturas estimadas pelos métodos supramencionados oferecem informações dos ambientes de formação das rochas fonte,

servindo como guia para determinação provável da área fonte dos sedimentos da Formação Piramboia. A Tabela 1, mostra as concentrações em parte por milhão (ppm) dos elementos traços.

Os dados permitem a inferência de algumas correlações e aplicações de métodos geoquímicos, como o geotermômetro Zr em rutilo e a inferência sobre o caráter máfico ou félsico da área fonte com base no cálculo proposto por Triebold *et al.* (2012), mostrado na Etapa 4 do Quadro 2. Como controle de qualidade de dados, valores de concentração obtidos para os padrões Sy e R10 (LUVIZOTTO *et al.*, 2009), estão incluídos na Tabela 3.

Os rutilos 3 e 6 mostram as características mais distintas. O rutilo 3, apresenta grande quantidade de Zr, deste modo sua temperatura de cristalização (ToC) é maior que as demais. Por outro lado, o rutilo 6, apresenta grande quantidade de Cr, que está discutido em tópico posterior.

DL	33	22	70	110	70	120	130	55	140	120	50	50
Identificação	Si	Al	V	Sn	Cr	Sb	Ta	Fe	W	Hf	Zr	Nb
Sy 1	BD	BD	BD	BD	BD	BD	BD	BD	BD	BD	BD	BD
Sy 2	BD	BD	BD	BD	BD	BD	BD	BD	BD	BD	BD	BD
R10 (1)	BD	26	860	BD	732	BD	369	4407	BD	BD	859	2712
R10 (2)	BD	26	835	BD	746	BD	418	4438	BD	BD	859	2663

Tabela 3 - Dados de elementos traços nos grãos de rutilo Sy e R10 (padrões). (Abreviações; DL: Limite de detecção; Si: Silício; Al: Alumínio; V: Vanádio; Sn: Estanho; Cr: Cromo; Sb: Antimônio; Ta: Tântalo; Fe: Ferro; W: Tungstênio; Hf: Háfnio; Zr: Zircônio; Nb: Nióbio; P: Pressão; ToC: Temperatura de Cristalização a pressão colocada; BD: abaixo do nível de detecção.

a) Nióbio (Nb) e Cromo (Cr)

Os trabalhos de Zack *et al.* (2002, 2004a e 2004b) foram pioneiros na observação da abundância de elementos traços no rutilo, a partir de então os valores de concentrações contrastantes de nióbio e cromo são fundamentais para determinação da característica da rocha fonte.

A partir dos dados de Triebold *et al.* (2012), os valores puderam ser inseridos em uma fórmula já explicitada no Quadro 2. Para cada Ponto de Análise, foi calculado o valor desta formula, chegando ao resultado apresentado na Tabela 4 e na Figura 13.

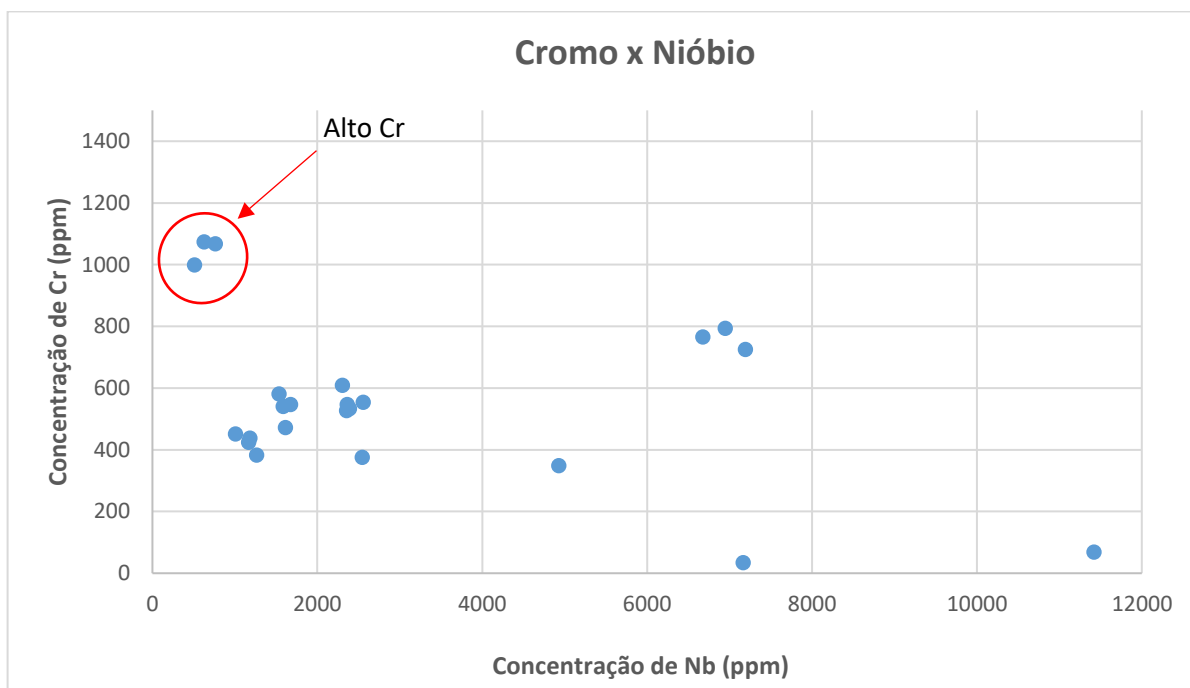


Figura 13 – Gráfico de concentrações de Cromo x Nióbio.

Identificação	Ponto de Análise	Número de Triebold <i>et al.</i> (2012)
Rutilo 1	1	2913
Rutilo 1	2	2969
Rutilo 1	3	3443
Rutilo 2	1	31449
Rutilo 2	2	32740
Rutilo 2	3	30113
Rutilo 3	1	5341
Rutilo 3	2	4608
Rutilo 3	3	4894
Rutilo 4	1	21792
Rutilo 4	2	8425
Rutilo 4	3	9846
Rutilo 5	1	2082
Rutilo 5	2	5102
Rutilo 5	3	9738
Rutilo 6	1	242
Rutilo 6	2	-429
Rutilo 6	3	-947
Rutilo 7	1	33292
Rutilo 7	2	54543
Rutilo 8	1	8752
Rutilo 8	2	8920
Rutilo 8	3	8766

} Rutilo 6: Fonte Máfica

Tabela 4 – Tabela do número de Triebold *et al.* (2012) para cada Ponto de Análise.

É evidente a dispersão principal ao redor de 2000ppm de Nb e entre 400 e 600ppm de Cr. Essas rochas podem se tratar de rochas fontes intermediárias. No entanto, chama atenção altas concentrações de Cr em uma das amostras (Rutilo 6), caracterizando uma rocha fonte eminentemente máfica. Altos valores de Nb podem ser vistos no Rutilo 7, que possui a característica dual entre anatásio e rutilo já tratada, podendo esse valor ser causado por essa característica deste cristal em específico.

b) Silício (Si)

O silício é utilizado como indicador de qualidade dos grãos de rutilo, uma vez que estando em grandes quantidades pode representar inclusões de zircão (ZrSiO_4). No entanto, as únicas três análises que possuem Si em concentrações mais elevadas (Rutilo 1 – PA-3; Rutilo 2 – PA-3; Rutilo 7 – PA-2) não apresentam elevado valor de Zr, excluindo assim a possibilidade de inclusão nas amostras e atestando sua qualidade neste quesito.

As amostras com silício mais elevado podem representar Si oriundo de inclusões de quartzo, como sendo sinal referente à fluorescência secundária de inclusões que estão abaixo da superfície do mineral, não visíveis na imagem.

c) Alumínio (Al)

O alumínio mostra-se, a grosso modo, constante e em pequenas quantidades nas amostras, variando entre 50 e 350ppm. É interessante notar que a amostra caracterizada como máfica apresenta valores de alumínio inferiores que as demais.

d) Vanádio (V)

O vanádio possui grande dispersão, estando em pequenas concentrações da ordem de 100ppm no Rutilo 7, até mais de 2000ppm no Rutilo 1.

e) Estanho (Sn) e Tungstênio (W)

O estanho se mantém em baixas concentrações na maioria dos grãos. Exceção para o Rutilo 2, que apresenta 600ppm de Sn. O Sn neste caso comporta-se de forma semelhante ao Tungstênio, que se mostra relativamente mais alto no Rutilo 2 que os demais (1200-1300ppm). Zack *et al.* (2002) descreve que concentrações associadas de W, Sn e Sb podem indicar depósito de minério hidrotermal.

f) Antimônio (Sb), Háfnio (Hf) e Tântalo (Ta)

Antimônio e Háfnio estão abaixo do nível de detecção em quase todos os pontos analisados. Destaque para o Rutilo 4 que apresenta aproximadamente 400ppm de Ta em sua composição.

g) Ferro (Fe)

O ferro possui concentrações variáveis, chegando até 7300ppm no Rutilo 2, estando o elemento juntamente com alto Sn e W. Nos demais o Fe possui forte correlação com Nb, sendo essa associação não esclarecida ainda.

h) Zircônio (Zr) – Geotermômetro Zr em rutilo

As concentrações de Zr, em conjunto com o caráter félsico de 7 amostras, permitem aplicar o método desenvolvido por Tomkins *et al.* (2007) para entendimento da temperatura de cristalização do rutilo na rocha fonte.

Neste método, além de valores de concentrações de Zr, também é dependente da pressão e do tipo de polimorfo de SiO₂ existente (TOMKINS *et al.*, 2007). Em rochas sedimentares, é impossível precisar a pressão da rocha fonte, mas pode-se assumir valores diversos e sem tendências prévias para assim se estimar a temperatura de cristalização do rutilo na rocha fonte (TRIEBOLD *et al.*, 2012). Este método não é empregado em rutilos máficos, uma vez que a cristalização do rutilo não esteve em equilíbrio com o SiO₂.

Na Tabela 1, o valor de pressão admitido foi de 6 kbar, como sendo um valor representativo para fácies metamórficas regionais xisto verde a anfibolito (Tipo Barroviano).

Nos gráficos a seguir (Figura 14 e 15), são apresentadas curvas que representam a variação da temperatura em função da pressão (foram admitidas pressões de 3 kbar até 15 kbar).

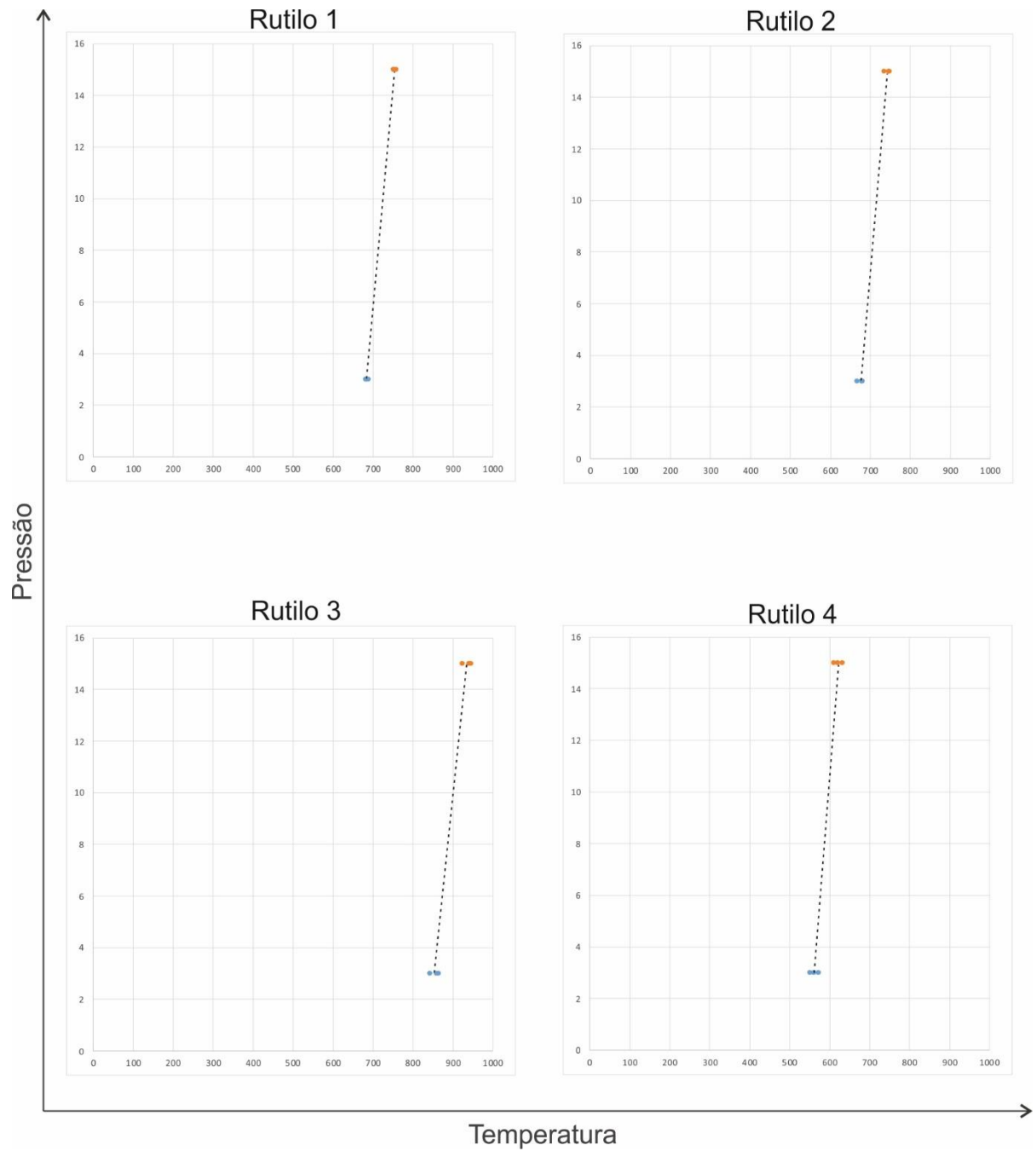


Figura 14 – Gráficos de pressão (kbar) por temperatura (°C), para os Rutilos 1, 2, 3 e 4, utilizando o método de Zr em rutilo de Tomkins *et al.* (2007).

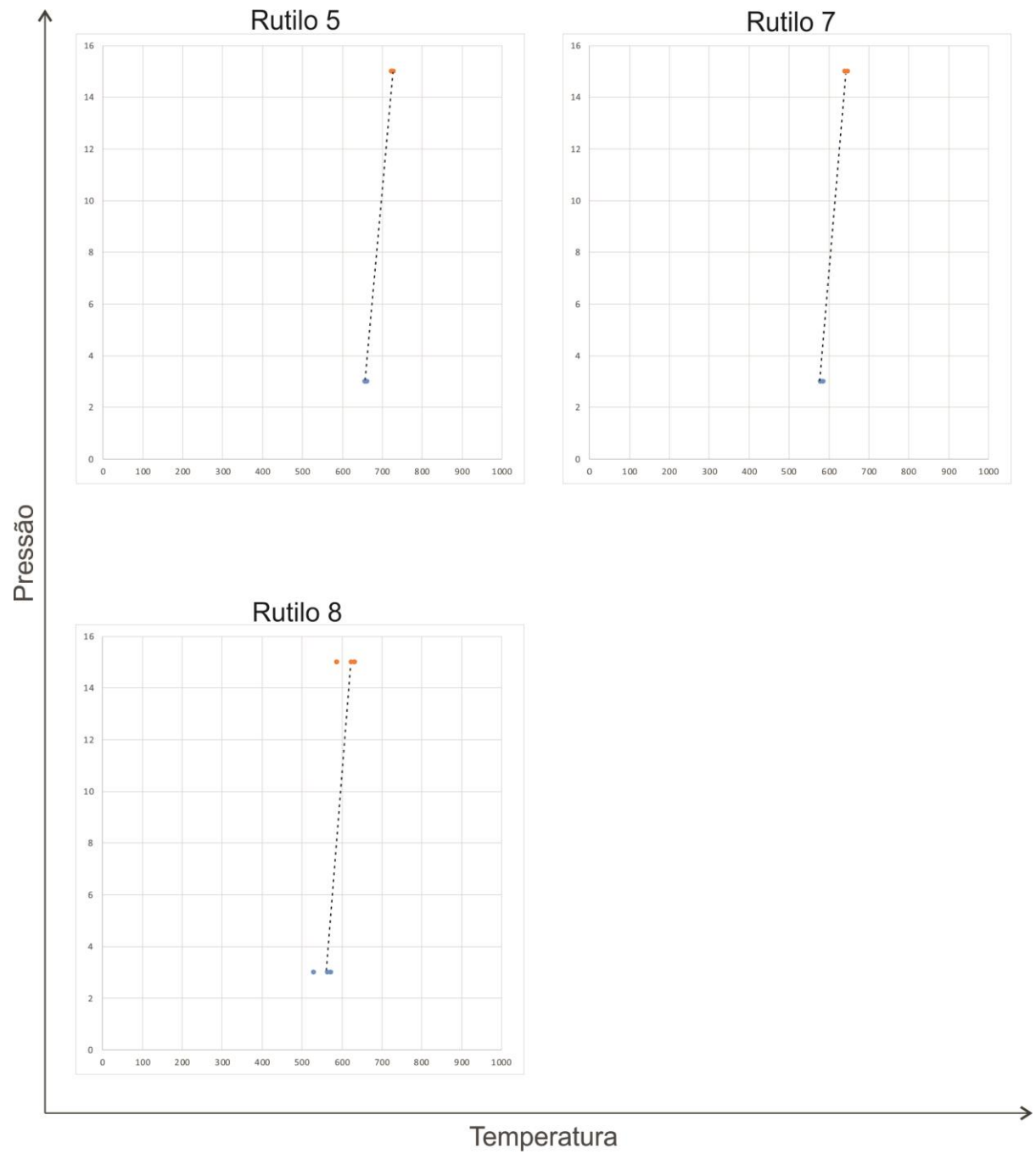


Figura 15 – Gráficos de pressão (kbar) por temperatura (°C), para os Rutilos 5, 7 e 8, utilizando o método de Zr em rutilo de Tomkins *et al.* (2007).

6. DISCUSSÕES

Os dados obtidos em campo e compilados de trabalhos prévios (SOARES, 1973; ASSINE *et al.*, 2004; CAETANO-CHANG, 1997) evidenciam que se faz necessária uma divisão das paleocorrentes de fácies eólicas e de fácies fluviais da Formação Piramboia. A maior variabilidade dos paleoventos durante a deposição da unidade produziu paleocorrentes eólicas menos consistentes quanto ao rumo. No entanto, os dados obtidos em campo corroboram com a interpretação outros trabalhos prévios (ASSINE *et al.*, 2004; ALMEIDA, 1953; BIGARELLA & SALAMUNI, 1961; SOARES, 1973), nos quais as paleocorrentes eólicas apresentam rumo preferencial para S, com variações entre NW, SW e SE. Os dados de paleocorrentes fluviais apresentam direção preferencial para W e SW.

A partir dos dados obtidos neste trabalho e compilados da literatura é possível estimar que aprovável a área fonte dos sedimentos estava a NE e E da área de estudo e que os ventos na época da deposição sopravam, de modo geral, de N para S.

Apesar da grande quantidade de amostras processadas (40 a 50kg de cada local amostrado), os dados geoquímicos obtidos em os grãos de rutilo não atingiram uma quantidade necessária para gerar resultados com valor estatístico. No entanto, os poucos dados obtidos confirmam a aplicabilidade do método geoquímico como ferramenta auxiliar para a definição de áreas fontes. Os dados dos grãos de rutilos apresentam-se em três grupos distintos; um maior grupo, com aparente contribuição de rochas félsicas com temperatura de cristalização por volta de 600-700°C; um segundo grupo, com equilíbrio de cristalização certamente acima de 850°C, e outro grupo associado a rochas máficas.

Tais características das rochas fontes e os dados de paleocorrentes apontam para rochas metamórficas da Faixa de Dobramentos Ribeira como principal área fonte de sedimentos, tanto pela maior proximidade da bacia, quanto pela similaridade de idades. A presença de complexos máfico-ultramáficos associados a esta faixa metamórfica explicaria a possibilidade do grão de rutilo máfico. As altas pressões de rochas presentes da Faixa Ribeira poderia ser a área fonte do rutilo 3 de maior grau metamórfico. Também pode-se interpretar como sendo proveniente das Faixas Brasília e Araçuaí, além do Cráton São Francisco.

Aventa-se também a possibilidade das rochas fonte serem africanas, já que os continentes ainda estavam unidos no Gondwana à época de deposição da Formação Piramboia.

A confirmação das áreas fontes poderia ser elucidada com a datação dos grãos de rutilos, precisando as características geoquímicas e geocronológicas das mesmas.

Os dados apresentados por Alessandretti *et al.* (2016), para a Formação Rio do Rasto (nos estados do Sul do Brasil), demonstram dados de paleocorrentes geralmente para NW, como provável área fonte rochas metamórficas de cinturões Proterozoicos localizados na África e do Maciço do Norte da Patagonia. Por outro lado, os dados apresentados neste trabalho, apontam paleocorrentes da Formação Pirambóia no Estado de São Paulo para W (fluviais), tendo área fonte a E, e paleoventos de N para S, direcionando para o depocentro da bacia e, portanto, diferentes áreas fonte, como ilustrados na Figura 16.

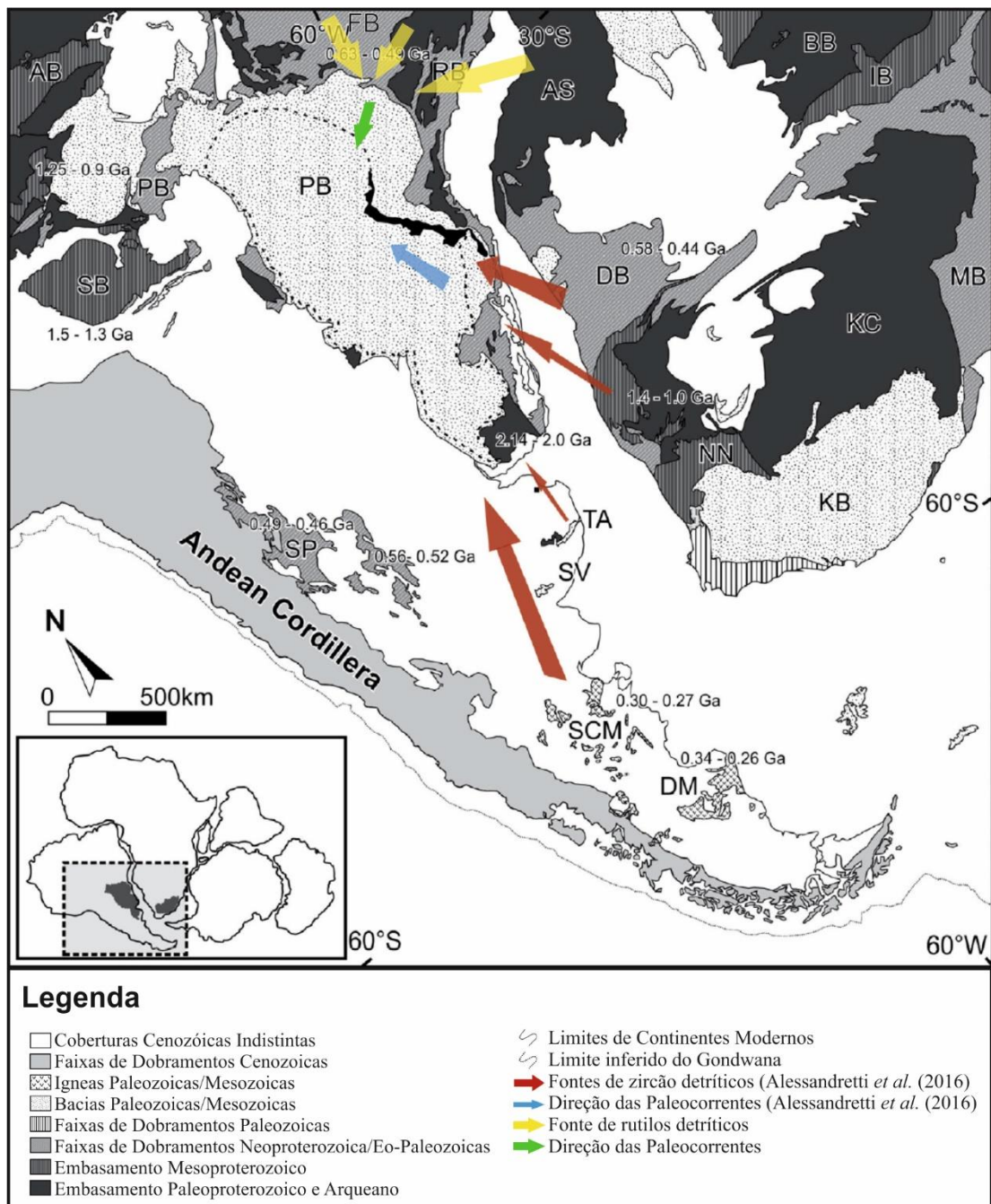


Figura 16 – Proveniência da Formação Piramboia a partir de paleocorrentes e dados geoquímicos de rutilo e da Formação Rio do Rasto a partir de paleocorrentes, isótopos de Hf e geocronologia de zircões detriticos. PBA – Cinturão Paraguai-Araguaia; SB – Cinturão Sunsás; AB – Cinturão Aguapeí; RB – Faixa Ribeira; FB – Faixa Brasília DB – *Damara Belt*; NN – *Namaqua-Natal Belt*; MB – *Moçambique Belt*; IB – *Irumide Belt*; BB – *Bangweulu Belt*; AS – Escudo Angolano; KC – Cráton Kaapvaal; PB – Bacia do Paraná; KB – Bacia do Karoo; SP – *Sirreas Pampeanas*; SCM – Maciço Somuncurá; SV – *Sierra de la Ventania*; DM – Maciço Deseado (Modificado de Alessandretti *et al.*, 2016).

7. CONCLUSÃO

A partir dos dados geoquímicos dos rutilos, foi possível a designação de possíveis áreas fonte para os sedimentos da Formação Piramboia, sendo este o principal objetivo a ser cumprido neste trabalho. Tais áreas revelam-se ser: Faixa Ribeira, Faixa Brasília, Cráton São Francisco, Faixa Araçuaí e Escudo Angolano, colocados aqui em ordem de possibilidade interpretadas a partir da distância.

Problemas nas amostragens revelaram-se o principal problema a ser resolvido quando aplicado este método. Tais problemas envolvem: quantidade de rutilo presente em cada fácies da formação estudada e quantidade de amostra necessária para extração do rutilo e análises em valores estatísticos. Em trabalhos futuros, indica-se fazer pré-amostragens a fim de se evitar tais problemas.

REFERÊNCIAS

ALESSANDRETTI, L.; MACHADO, R.; WARREN, L. V.; ASSINE, M. L.; LANA, C. From source-to-sink: The Late Permian SW Gondwana paleogeography and sedimentary dispersion unraveled by a multi-proxy analysis. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 70, p. 368-382, 2016.

ALMEIDA, F.F.M. Botucatu, a triassic desert of South America. In: IUGS, **International Geological Congress**, p. 9-24, 1953.

ALMEIDA, F. F. M.; BARBOSA, O. Geologia das quadriculas de Piracicaba e Rio Claro, Estado de São Paulo. Ministério da Agricultura, Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM), Divisão de Geologia e Mineralogia, 1953.

ALMEIDA, F. F. M. Fundamentos geológicos do relevo paulista. **Boletim Instituto Geográfico e Geológico**, n. 41, p. 169-263, 1964.

ALMEIDA, F. F. M.; MELO, M. S. A. Bacia do Paraná e o vulcanismo Mesozoico. In: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT. Mapa Geológico do Estado de São Paulo, São Paulo: IPT, v.1, p. 46-81. Escala 1:500.000, 1981.

ASIMOV, I. Foundation. **Foundation Series**. Gnome Press. 1951.

ASSINE, M. L.; PIRANHA, J. M. e CARNEIRO, C. D. R. Os paleodesertos Pirambóia e Botucatu. **Geologia do Continente Sul Americano: Evolução da Obra de Fernando Marques de Almeida**. Organizadores: Virginia Mantesso-Neto, Andre Bartoreli, Celso Dal Ré Carneiro, Benjamin Bley de Brito-Neves. 647 p. São Paulo, p. 77 – 93, 2004.

BIGARELLA, J. J.; SALAMUNI, R. Ocorrências de sedimentos continentais na região litorânea de Santa Catarina e sua significação paleoclimática. **Boletim Paranaense de geografia**, v. 4, n. 5, p. 179-187, 1961.

CAETANO-CHANG, M. R. A Formação Pirambóia no centro-leste do Estado de São Paulo. 1997. 196p. **Tese de Livre Docência** – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1997.

CAETANO-CHANG, M. R.; WU, F. T. Arenitos flúvio-eólicos da porção superior da Formação Pirambóia no centro-leste paulista. **Revista Brasileira de Geociências**, v.36, n.2 , p. 296-304, 2006.

CEPAGRI - Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura. **Clima dos Municípios Paulistas**. Disponível em: <<http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima-dos-municipios-paulistas.html>> Acesso em: 16 de junho de 2016.

FORCE, E. R. The provenance of rutile. **Journal of Sedimentary Research**, v. 50, n. 2, 1980.

FÚLFARO, V. J. The Paraná Upper Permian and Lower Mesozoic stratigraphic succession. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, n. 44 (suplemento), p. 147-148, 1972.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISA TECNOLÓGICA DO ESTADO DE SÃO PAULO. Mapa Geológico do Estado de São Paulo. **Monografias, IPT**, 1981.

LAVINA, E. L. The Passa Dois Group. In: **INTERNATIONAL GONDWANA SYMPOSIUM**, 7. São Paulo. Field excursion guide book. São Paulo: Instituto de Geociências, 1988. p. 24-30. 1988.

LUVIZOTTO, G. L.; ZACK, T.; MEYER, H. P.; LUDWIG, T.; TRIEBOLD, S.; KRONZ, A.; MUNKER, C.; STOCKLI, D. F.; PROWATKE S.; KLEMME, S.; JACOB, D. E. Rutile crystals as potential trace element and isotope mineral standards for microanalysis. **Chemical Geology**, n. 261(3), p. 346-369, 2009.

MACHADO, F. B. Petrologia e caracterização geoquímica das fontes mantélicas da região noroeste da província magmática do Paraná. **Tese de doutorado**. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Campus de Rio Claro. 207p, 2009.

MIALL, A. D. 1978. Lithofacies types and vertical profile models in braided river deposits: a summary. In: MIALL, A. D. (ed.) **Fluvial Sedimentology**. Can. Soc. Petrol. Geol., p. 597-604 (Memoir 5).

MIALL, A. D. Principles of Sedimentary Basin Analysis. 3rd ed. Berlin, Springer-Verlag, 616 p., 1990.

MIALL, A. D. 1996. The Geology of Fluvial Deposits. Springer-Verlag, New York, 586 p.

MILANI, E. J.; FRANÇA, A. B.; SCHNEIDER, R. L. Bacia do Paraná. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, v. 8, n. 1, p. 69-82, 1994.

MILANI, E. J. Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana sul-ocidental. **Tese de Doutorado**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1997.

MILANI, E. J. Comentários sobre a origem e evolução tectônica da Bacia do Paraná. **Geologia do Continente Sul Americano: Evolução da Obra de Fernando Marques de Almeida**. Organizadores: Virginia Mantesso-Neto, Andre Bartoreli, Celso Dal Ré Carneiro, Benjamin Bley de Brito-Neves. 647 p. São Paulo, p. 265-291, 2004.

MILANI, E. J.; RANGEL, H. D.; BUENO, G. V.; STICA, J. M.; WINTER, W. R.; CAIXETA, J. M.; NETO, O. P. Bacias sedimentares brasileiras: cartas estratigráficas. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, n. 15(1). 2007.

PARAGUASSU, A. B., Contribuição ao Estudo da Formação Botucatu – Sedimentos Aquosos, Estruturas Sedimentares e Silicificação. São Carlos, SP, Escola de Engenharia da Universidade de São Paulo. **Tese de Doutorado (inédito)**. 131p.

PERINOTTO, J. A. J.; ZAINE, J. E. Coluna Estratigráfica da Bacia do Paraná na região de Rio Claro, com base em Soares & Landim (1975). Não publicado. 2008.

POTTER, P. E.; PETTIJOHN, F. J. Paleocurrents and basin analysis. 2nd ed., New York, Springer-Verlag, 425 p., 1977.

PRADO, H. do. A pedologia simplificada. **Arquivo do agrônomo**, n. 1, 1987.

RENNE, P. R.; ERNESTO, M.; PACCA, I. G.; COE, R. S.; GLEN, J. M.; PRÉVOT, M.; PERRIN, M. The Age of Paraná Flood Volcanism, Rifting of Gondwanaland, and the Jurassic–Cretaceous Boundary. **Science**, v. 258, p. 975–979, 1992.

ROSS, J. L. S., Relevo brasileiro: planaltos, planícies e depressões. In: CARLOS, A. F. A. (org.). **Novos caminhos da geografia**, São Paulo, Contexto, 1999.

SCHNEIDER, R. L.; MÜHLMANN, H.; TOMMASI, E.; MEDEIROS, R. A.; DAEMON, R. F.; NOGUEIRA, A. A. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA**, 28., 1974, Porto Alegre. Anais do Congresso Brasileiro de Geologia - São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, v. 1, p. 41-65, 1974.

SGARBI, G. N. C. Aspectos paleogeográficos e sedimentológicos do Mesozóico no oeste do estado de Minas Gerais **Tese de Doutorado** - Universidade de Brasília. 224 p, 1997.

SOARES, P. C.; ASSINE, M. L. A sequência triássicojurássica da Bacia do Paraná. **Acta Geologica Leopoldensia**, v. 36, p. 137-139, 1992.

SOARES, P. C.; LANDIM, P. M. B. Comparisons between the tectonic evolution of the intracratonic and marginal basins in South Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Suplemento, v. 48, p. 313-324, 1975.

SOARES, P. C. O Mesozóico gondwânico no estado de São Paulo. Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Rio Claro, **Tese de Doutorado (inédito)**, 153p. 1973.

SOARES, P. C. Divisão estratigráfica do Mesozóico no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 5, n. 4, p. 229-251, 1975.

VIEIRA, A.; MAINGUÉ, E. Geologia de semi-detalhe do centro-norte do Paraná e sudeste de São Paulo. **PETROBRÁS/DESUL**, 49p., (Relatório Interno n. 425), 1972.

TRIEBOLD, S.; von EYNATTEN, H.; ZACK, T.; A recipe for the use of rutile in sedimentary provenance analysis. **Sedimentary Geology**, n. 282, p. 268-275. 2012.

TOMKINS, H. S., POWELL, R., ELLIS, D. J., The pressure dependence of the zirconium-in rutile thermometer. **Journal of Metamorphic Geology** n 25, p. 703–713, 2007.

TUCKER, M. E. Sedimentary Rocks in the Field. John Wiley, Chichester, 150 p., 1996.

WALKER, R. G. Facies, facies models and modern stratigraphic concepts. **Facies models: response to sea level change**, p.1-14, 1992.

WASHBURN, C.W. Petroleum geology of the state of São Paulo, **Brazil**, n.22, 1930.

ZACK T.; KRONZ A.; FOLEY S. F.; RIVERS T. Trace element abundances in rutiles from eclogites and associated garnet micaschists. **Chemical Geology** 184, p. 97–122, 2002.

ZACK, T.; MORAES, R.; KRONZ, A. Temperature dependence of Zr in rutile: empirical calibration of a rutile thermometer. **Contributions to Mineralogy and Petrology** n. 148 (4), p. 471–488, 2004a.

ZACK, T.; von EYNATTEN, H.; KRONZ, A. Rutile geochemistry and its potential use in quantitative provenance studies. **Sedimentary Geology** 171, p. 37–58, 2004b.

ZACK T., STOCKLI D., LUVIZOTTO G. L., BARTH M., WOLFE M., HINTON R., BERNDT-GERDES J., KOOIJMAN E. In-situ U/Pb rutile dating by LA-ICP-MS: 208Pb correction and prospects for thermochronological applications. **Contributions to Mineralogy and Petrology** 162: 515–530, 2011.

ZALAN, P. V.; WOLFF, S.; CONCEIÇÃO, J. C. J.; VIEIRA, I. S.; ASTOLFI, M. A.; APPI, V. T.; ZANOTTO, O; NETO, E.V.S.; CERQUEIRA, J. R. Parana basin. **Journal: AAPG (American Association of Petroleum Geologists) Bull.**; (United States), v.71:5. Conference: American Association of Petroleum Geologists annual meeting, Los Angeles, CA, USA, 1987.