

**PROGRAMA DE
PÓS-GRADUAÇÃO
EM GEOCIÊNCIAS
E MEIO AMBIENTE**

**Desvendando o sistema fonte-sumidouro e a interação
rocha-água em afloramentos da Formação Tatuí, Bacia
Sedimentar do Paraná, no Centro-Leste do
Estado de São Paulo, Brasil**

RAFAEL FRANCISCO HARTUNG

Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Campus de Rio Claro

Rio Claro - SP
2025

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“Júlio de Mesquita Filho”
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

RAFAEL FRANCISCO HARTUNG

Desvendando o sistema fonte-sumidouro e a interação rocha-
água em afloramentos da Formação Tatuí, Bacia Sedimentar
do Paraná, no Centro-Leste do Estado de São Paulo, Brasil

Tese de Doutorado apresentada ao
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
do Câmpus de Rio Claro, da Universidade
Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”,
como parte dos requisitos para obtenção
do título de Doutor em Geociências e Meio
Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Fabiano Tomazini da Conceição

Coorientador: Prof. Dr. Guillermo Rafael Beltran Navarro

Rio Claro - SP

2025

H336d Hartung, Rafael Francisco

Desvendando o sistema fonte-sumidouro e a interação rocha-água em afloramentos da Formação Tatuí, Bacia Sedimentar do Paraná, no Centro-Leste do Estado de São Paulo, Brasil / Rafael Francisco Hartung. -- Rio Claro, 2025

123 f. : il., tabs., fotos, mapas

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro

Orientador: Fabiano Tomazini da Conceição

Coorientador: Guillermo Rafael Beltran Navarro

1. Formação Tatuí. 2. Bacia Sedimentar do Paraná. 3. Geoquímica sedimentar. 4. Geocronologia U-Pb. 5. Intemperismo químico. I. Título.

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

A presente pesquisa tem o potencial de promover a difusão de conhecimento sobre a Formação Tatuí ao detalhar a sua proveniência sedimentar e os atuais processos intempéricos nela constatados a partir da interação água-rocha visando à realização estudos de exploração futura e sustentável de sua matéria-prima. Alinha-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 4, 8, 9, 11 e 12.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

The present research has the potential to promote the dissemination of knowledge about the Tatuí Formation by detailing its sedimentary provenance and the current weathering processes observed therein, which arise from water-rock interaction, with the aim of enabling future studies on the sustainable exploitation of its raw materials. It aligns with Sustainable Development Goals (SDGs) 4, 8, 9, 11, and 12.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“Júlio de Mesquita Filho”
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

RAFAEL FRANCISCO HARTUNG

Desvendando o sistema fonte-sumidouro e a interação rocha-
água em afloramentos da Formação Tatuí, Bacia Sedimentar
do Paraná, no Centro-Leste do Estado de São Paulo, Brasil

Tese de Doutorado apresentada ao
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
do Câmpus de Rio Claro, da Universidade
Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”,
como parte dos requisitos para obtenção
do título de Doutor em Geociências e Meio
Ambiente.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. FABIANO TOMAZINI DA CONCEIÇÃO
IGCE/UNESP/Rio Claro (SP)

Dr. SERGIO RICARDO CHRISTOFOLETTI
Instituto de Pesquisas Ambientais/SEMIL/São Paulo (SP)

Dra. CIBELE CAROLINA MONTIBELLER
Geóloga Autônoma/Rio Claro (SP)

Prof. Dr. ANTENOR ZANARDO
IGCE/UNESP/Rio Claro (SP)

Prof. Dr. DIDIER GASTMANS
CEA/UNESP/Rio Claro (SP)

Conceito: Aprovado.

Rio Claro (SP), 16 de maio de 2025.

Dedico este trabalho à memória de minha
querida avó, Elza B. Gimenez, cuja
presença amorosa e ensinamentos
acompanham cada passo que dou, aos
meus pais, pelos valores e educação a
mim transmitidos, e ao meu Orientador,
Prof. Dr. Fabiano Tomazini da Conceição,
pela confiança e por sempre ter
acreditado em meu potencial enquanto
aluno.

AGRADECIMENTOS

Sou grato a Deus, aos meus pais, Abiud Hartung Junior e Osmarina Gimenez Hartung, e a todos os que colaboraram para tornar esta Tese de Doutorado uma realidade. Em especial, agradeço ao meu Orientador, Prof. Dr. Fabiano Tomazini da Conceição, por acreditar no meu potencial enquanto aluno e sempre ter me acompanhado em todas as fases do presente trabalho.

Meus sinceros agradecimentos também ao Prof^a. Dr^a. Guillermo Rafael Beltran Navarro, Prof^a. Dr^a. Cibeles Carolina Montibeller e ao Dr. Sergio Ricardo Christofolletti pelas críticas construtivas, justas e pertinentes e, especificamente aos dois últimos, pelos apontamentos e sugestões apresentadas durante o Exame Geral de Qualificação.

Sou igualmente grato aos colegas e amigos que fiz ao longo desses anos em que a honra de estudar na UNESP, em especial, o Prof. Dr. Alex Joaquim Choupina Andrade Silva, Prof. Dr. Rodrigo Irineu Cerri, Geólogos Claudio Francisco Bueno Breda e Samuel Siqueira Reis, MSc. Julio Silva, Msc. Leonardo Alberto Sala pelos bons momentos de convivência e aprendizado.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior- Brasil (CAPES) - código de financiamento 001, e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), por meio dos recursos disponibilizados ao Grupo de Pesquisa "*Geomorfologia, Geocronologia, Geoquímica e Planejamento Ambiental*", coordenado pelo Prof. Dr. Fabiano Tomazini da Conceição e Prof^a. Dr^a. Cenira Maria Lupinacci, e com os quais tornou-se possível a execução da presente pesquisa.

Por fim, registro agradecimento à Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), universidade na qual tive a honra de estudar desde a Graduação, pela infraestrutura laboratorial disponibilizada.

“The result, therefore, of this physical inquiry is, that we find no vestige of a beginning, no prospect of an end” (Hutton, 1788, p. 200).

RESUMO

Diversas lacunas ainda necessitam ser preenchidas em relação aos sistemas fonte-sumidouro em todas unidades estratigráficas da Bacia Sedimentar do Paraná (BSP), incluindo a composição química de seus protólitos originais e as condições paleoambientais constatadas na área-fonte à época da deposição de seus sedimentos. Adicionalmente, a obtenção de esclarecimentos acerca dos processos intempéricos atuantes sobre suas rochas quando expostas à superfície da Terra também se fazem necessários, propiciando uma melhor compreensão das transformações químico-mineralógicas nelas constatadas a partir da interação água-rocha. A Formação Tatuí é uma unidade litoestratigráfica da BSP, com história deposicional subsequente ao encerramento da última grande glaciação Gondwânica, ocorrida no Permocarbonífero. Para isso, foram coletadas 41 amostras de rochas, as quais foram submetidas às análises geoquímicas e geocronológicas U-Pb em zircões detríticos. No que concerne aos estudos de proveniência, houve o predomínio dos processos de intemperismo físico em condições de clima temperado frio junto à área-fonte, cujas rochas apresentaram composição proeminentemente félsica. Em relação às idades U-Pb, registrou-se um amplo domínio (~60,2%) de zircões cristalizados no intervalo entre o Toniano e o Ediacarano, com maior incidência no último período mencionado (~33,56%), considerado o auge do Ciclo Brasileiro-Pan-Africano na Faixa Brasília. Com base nas idades U-Pb obtidas, pode-se considerar um intervalo de deposição da Formação Tatuí entre 300 e 290 Ma. Dados de medições de paleocorrentes obtidos da literatura indicam sentido de área-fonte para NNE. Diante do exposto, considera-se que os seus sedimentos são oriundos de rochas da Faixa Brasília. As amostras selecionadas visando ao entendimento da interação água-rocha revelam que os processos de intemperismo químico são consistentes com a monossilificação, na qual há a formação de caulinita, goethita e anatásio. O desenvolvimento de futuras pesquisas envolvendo as demais unidades litoestratigráficas da Supersequência Gondwana I da BSP aflorantes na região centro-leste do Estado de São Paulo poderá contribuir para um entendimento mais abrangente sobre os sistemas fonte-sumidouro atuantes durante a sua deposição.

Palavras-chave: Formação Tatuí; Bacia Sedimentar do Paraná; Geoquímica sedimentar; Geocronologia U-Pb; Intemperismo químico.

ABSTRACT

Several gaps still need to be filled in relation to the source-sink systems in all stratigraphic units of the Paraná Sedimentary Basin (BSP), including the chemical composition of their original protoliths and the paleoenvironmental conditions observed in the source area at the time of deposition of their sediments. Additionally, obtaining clarifications about the weathering processes acting on their rocks when exposed to the Earth's surface is also necessary, providing a better understanding of the chemical-mineralogical transformations observed in them resulting from water-rock interaction. The Tatuí Formation, a lithostratigraphic unit of the BSP, has a depositional history subsequent to the termination of the last major Gondwanan glaciation of the Permo-Carboniferous. For this purpose, 41 rock samples were collected and subjected to geochemical analyses and detrital zircon U-Pb geochronology. Regarding provenance studies, physical weathering processes predominated under cold temperate climatic conditions at the source area, whose rocks exhibited a predominantly felsic composition. Concerning U-Pb ages, a clear predominance (~60,27%) of zircons crystallized during the Tonian to Ediacaran interval was observed, with the highest incidence in the latter period (~33,56%), considered the peak of the Brasiliano-Pan-African Cycle in the Brasília Belt. Based on the aforementioned ages, the depositional interval for the Tatuí Formation is positioned between 300 and 290 Ma. Paleocurrent data obtained from the literature indicate a source area to north-northeast. Therefore, it is considered that its sediments are derived from rocks of the Brasília Belt. The samples selected to understand water-rock interaction reveal that chemical weathering processes are consistent with monosiallitization, which involves the formation of kaolinite, goethite, and anatase. The development of future research involving the other lithostratigraphic units of the Gondwana I Supersequence of the BSP outcropping in the East-Central São Paulo State may contribute to a more comprehensive understanding of the source-to-sink systems active during its deposition.

Keywords: Tatuí Formation; Paraná Sedimentary Basin; Sedimentary geochemistry; U-Pb geochronology; Chemical weathering.

Title in English: Unveiling the source-to-sink system and water-rock interaction in outcrops of the Tatuí Formation, Paraná Sedimentary Basin, in the East-Central São Paulo State, Brazil

LISTA DE FIGURAS

- Figura 2-1:** Mapa geral do continente sul-americano com destaque para o Brasil e o Estado de São Paulo (A); mapa do território paulista, destacando-se o segmento situado entre a sua capital e a área de trabalho (B); mapa contendo as principais rodovias paulistas para acessar a área de pesquisa, partindo da capital paulista (C); imagem da área de estudo obtida através do satélite "*Sentinel-2*", banda "*R01*" resolução de 60 m (D).....22
- Figura 2-2:** Visão geral da Bacia Sedimentar do Paraná (BSP) no continente sul-americano (A). Mapa de compartimentação da BSP com as supersequências Rio Ivaí, Paraná, Gondwana I, Gondwana II, Gondwana III e Bauru (B). A seta em preto contida no interior da Supersequência Gondwana I mostra a localização da área de estudo (mapas modificados de Carbonaro & Ghilardi, 2016); Coluna estratigráfica simplificada mostrando as divisões das seis supersequências mencionadas (modificada de Montibeller *et al.*, 2020) (C). 24
- Figura 2-3:** Coluna estratigráfica simplificada da BSP e seu embasamento na região que abrange Piracicaba, Rio Claro e municípios adjacentes. Nela, é possível verificar a distribuição das unidades no tempo geológico (mais precisamente em termos de era e período), assim como os dados inerentes aos seus valores de espessuras estimados, suas descrições litológicas sintéticas e respectivos ambientes deposicionais. As informações relativas à Formação Tatuí encontram-se destacadas no interior do retângulo de borda vermelha (modificado de Perinotto & Zaine, 2008 e Christofolletti *et al.*, 2015). 25
- Figura 2-4:** Mapa geológico da área de estudo, situada no segmento noroeste do AEP (modificado de Sousa, 2002). Os mapas de localização geral do polígono de trabalho na América do Sul, Brasil e Estado de São Paulo já se encontram apresentados na Figura 2-1 (A) e (B). 26
- Figura 2-5:** Levantamento litoestratigráfico referente ao segmento da Formação Tatuí aflorante no AEP obtidos com base nos levantamentos de três seções colunares realizados por Soares (1972), a saber: (A) "*Fazenda Ipiranga (Rio Corumbataí)*" – "*Poço de Pitanga*", (B) "*Fazenda Pitanga*" e (C) "*Fazenda Pitanga (2,5 km sul)*". Conforme pode ser verificado, os valores de espessura referentes à Formação Tatuí no segmento supramencionado variam entre cerca de 30 a 40 m. Na referida unidade,

há o claro predomínio de siltitos marrom-arroxeados e cinza-esverdeados a amarelados, litotipos predominantes relativos aos seus membros inferior e superior, respectivamente. A referida publicação não especifica se todas as cores anteriormente mencionadas são, de fato, primárias. Ambos os membros, assim os contatos inferior e superior desta unidade encontram-se separados por discordâncias erosivas. Minoritariamente, níveis de arenitos grossos e conglomerados são também nela reportados, destacadamente em porções próximas ao seu topo, além de calcário lenticular. Nos três casos, os litotipos da Formação Tatuí encontram-se sobrepostos a diamictitos do Grupo Itararé e sotopostos a conglomerados ou folhelhos negros a acinzentados do Membro Taquaral, base da Formação Irati. 29

Figura 2-6: Precipitação média mensal (A) e anual (B), desde 1971 até 2022, constatada para a estação pluviométrica D4-074, localizada em Ipeúna (SP) (dados obtidos de DAEE, 2023). 32

Figura 4-1: Imagem da área de estudo obtida através do satélite “Sentinel-1”, resolução de 60 m, destacando a localização da área correspondente à faixa de afloramentos da Formação Tatuí (Sousa, 2002) e a distribuição espacial dos pontos de amostragem. 53

Figura 4-2: Fotografias de afloramentos contendo as variedades de litotipos siliciclásticos da Formação Tatuí coletados a partir dos levantamentos de campo realizados: siltitos marrom-arroxeados (RFH-1) (A), amarelado (RFH-12) (B), cinza-esverdeado contendo concreções pisolíticas centimétricas (RFH-28) (C); arenitos branco-amarelado muito fino (RFH-8) (D) e róseo-amarelado fino (RFH-35) (E). Salienta-se ainda a presença, no local em que houve a coleta de arenito fino referente à amostra RFH-14, a presença de um ritmito, conforme pode ser verificado na fotografia (F). Ele apresenta alternância entre bandas centimétricas do referido arenito com outras relativas a siltito acinzentado. A amostra RFH-2 refere-se ao membro inferior da unidade litoestratigráfica que representa o escopo do presente trabalho, ao passo que as demais pertencem ao seu membro superior. 56

Figura 4-3: Visão geral da paisagem onde amostras foram coletadas para geocronológicas U-Pb (imagem do Google Earth Pro — junho de 2024) (A). Contatos geológicos entre os Grupos Itararé e as Formações Tatuí e Irati na área de estudo (B). Bacia do Rio Passa Cinco na área de estudo onde afloram rochas do Grupo Itararé

(C). Afloramento da Formação Tatuí onde a amostra RFH-40 foi coletada (D). Em detalhe, o siltito arenoso corresponde à amostra RFH-41 (E).....57

Figura 5-1: Diagramas Al_2O_3 vs. TiO_2 (A) e TiO_2 vs. Zr (B) (Hayashi *et al.*, 1997) relacionados à composição dos protólitos associados às áreas fontes das rochas da Formação Tatuí. 65

Figura 5-2: Diagramas de proveniência sedimentar para análise geoquímica de rochas com contribuições biogênicas ausentes ou escassas. As equações inerentes às funções 1 e 2, contidas respectivamente nos eixos das abscissas e ordenadas, são os seguintes: Função 1 = $-1,773 \cdot \text{TiO}_2 + 0,607 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 + 0,76 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 - 1,5 \cdot \text{MgO} + 0,616 \cdot \text{CaO} + 0,509 \cdot \text{Na}_2\text{O} + 1,224 \cdot \text{K}_2\text{O} - 9,09$; Função 2 = $0,445 \cdot \text{TiO}_2 + 0,07 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 - 0,25 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 - 1,142 \cdot \text{MgO} + 0,438 \cdot \text{CaO} + 1,475 \cdot \text{Na}_2\text{O} + 1,426 \cdot \text{K}_2\text{O} - 6,861$ (extraído de Roser & Korsche, 1988). 66

Figura 5-3: Diagrama binário SiO_2 vs. $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ mostrando as condições de paleoclimáticas constatadas na área-fonte e maturidade química dos sedimentos (Suttner & Dutta, 1986). 67

Figura 5-4: Histograma mostrando a distribuição dos valores de idades U-Pb obtidos a partir das análises pontuais realizadas e a indicação da probabilidade relativa, cujos valores encontram-se representados graficamente através da linha vermelha.....71

Figura 5-5: Seleção de fotografias retratando conjuntos de cristais de zircão datados, sendo as três superiores obtidas a partir da amostra RFH-41, enquanto que os demais foram extraídos do exemplar RFH-40 e que correspondem, respectivamente, ao topo e base da Formação Tatuí. Nas imagens acima, é possível constatar, com clareza, a preferência pela realização das análises pontuais (destacados pelos pontos vermelhos) no núcleo de seus referidos cristais.....71

Figura 5-6: Mapa de reconstituição paleogeográfica dos continentes e climatológica entre o Carbonífero Superior (A) (Scotese, 2000a) e Permiano Inferior (B) (Scotese, 2000b). 75

Figura 6-1: Agrupamento das amostras analisadas em diferentes quatro classes baseadas nos valores de CIA.....81

Figura 6-2: Fotomicrografia das lâminas RFH-24 (A e B), RFH-23 (C e D) e RFH-37 (E e F), visando destacar o crescimento progressivo de argilominerais neoformados

(Siglas: Ant – anatásio, Arg – argilominerais, Bt - biotita, Fds – feldspatos, Gt – goethita, Hem – hematita, Ms – muscovita, Op – opacos, Qtz – quartzo e Zr – zircão). 82

Figura 6-3: Diagramas binários mostrando a variação de Th (A), U (B) e da razão Th/U (C) em função de CIA.....83

Figura 6-4: Diagramas binários mostrando a variação da somatória dos elementos terras raras (ΣETR) (A) e da razão La/Lu (B) em função de CIA. 84

Figura 6-5: Diagrama binário mostrando a variação das concentrações de Zr para as amostras analisadas em função dos valores de CIA.....86

Figura 6-6: Diagrama ternário ACNK ilustrando a intensidade dos processos de intemperismo químico para as rochas da Formação Tatuí (Nesbitt & Young, 1984).87

LISTA DE TABELAS

Tabela 2-1: Dados relativos à população, densidade demográfica, PIB nominal, PIB per capita e IDHM dos municípios paulistas de Charqueada, Ipeúna, Piracicaba e Rio Claro.....	33
Tabela 3-1: Tabela-síntese com a evolução do conhecimento da Formação Tatuí..	35
Tabela 4-1: Localização dos pontos de amostragem, elevação e breve descrição das rochas coletadas.	54
Tabela 5-1: Valores de concentração dos elementos maiores (expressos em percentuais de peso de seus respectivos óxidos) para as amostras de rochas sedimentares frescas da Formação Tatuí.	63
Tabela 5-2: Valores de concentração dos elementos traços e elementos terras raras (ppm) para as amostras de rochas sedimentares frescas da Formação Tatuí.....	64
Tabela 5-3: Dados numéricos para todos os grãos de zircão obtidos a partir das amostras RFH-40 e RFH-41, as quais foram coletadas juntos aos níveis de base e topo da Formação Tatuí.	68
Tabela 6-1: Valores de concentração dos elementos maiores (expressos em percentuais de peso de seus respectivos óxidos) e CIA para as amostras de rochas sedimentares da Formação Tatuí.....	78
Tabela 6-2: Valores de concentração dos elementos traços (expressos em ppm) e de razão Th/U registrados para as amostras rochas sedimentares da Formação Tatuí.	79
Tabela 6-3: Valores de concentração dos elementos terras raras (ppm), somatório dos elementos terras raras (Σ REE em ppm) e de razão La/U para as amostras de rochas sedimentares da Formação Tatuí.....	80
Tabela 6-4: Valores relativos ao Fator de Enriquecimento (FE) obtidos para cada uma das quatro classes de amostras compartimentadas com base em seus respectivos valores de CIA.....	85

LISTA DE ABREVIATURAS

Af	Areia fina
C	Conglomerado
AEP	Alto Estrutural de Pitanga
Ag	Areia grossa
ANFACER	Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos, Louças Sanitárias e Congêneres
Am	Areia média
Amf	Areia muito fina
ASPACER	Associação Paulista das Cerâmicas de Revestimento
Ant	Anatásio
Arg	Argilomineral não-discriminado
BSP	Bacia Sedimentar do Paraná
Bt	Biotita
CIA	Chemical Index of Alteration
DAAE	Departamento de Águas e Energia do Estado de São Paulo
EF	Enrichment Factor
ETR	Elementos Terras Raras
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FIPE	Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas
Fds	Feldspato
FUNDAÇÃO SEADE	Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados
Gt	Goethita
Hem	Hematita
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDHM	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
Kln	Caulinita
Op	Opacos
LOI	Loss on Ignition
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
PCSG	Polo Cerâmico de Santa Gertrudes

LISTA DE ABREVIATURAS

PIB	Produto Interno Bruto
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
Qtz	Quartzo
ppm	Partes por milhão
RMP	Região Metropolitana de Piracicaba
Rt	Rutilo
SGS	Société Générale de Surveillance
Zr	Zircão

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
1.1	Objetivos.....	19
2	CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO.....	21
2.1	Localização.....	21
2.2	Aspectos geológicos regionais	23
2.3	Aspectos da Formação Tatuí na área de estudo.....	27
2.4	Aspectos geomorfológicos e pedológicos.....	30
2.5	Aspectos climáticos, hidrográficos e de vegetação.....	31
2.6	Aspectos socioeconômicos.....	33
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DA FORMAÇÃO TATUÍ NO CENTRO-LESTE PAULISTA	35
3.1	Trabalhos pioneiros.....	39
3.2	Segunda metade do século XX.....	41
3.3	Século XXI	48
3.4	Potencialidade econômica e tecnológica	50
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	52
4.1	Amostragem	52
4.2	Petrografia	58
4.3	Geoquímica de rocha total	59
4.4	Geocronologia U-Pb	59
4.5	Índice de Alteração Química e balanço de massa	61
5	RESTRIÇÕES GEOQUÍMICAS E GEOCRONOLÓGICAS NO SISTEMA FONTE-SUMIDOURO DA FORMAÇÃO TATUÍ	62
5.1	Geoquímica de rochas frescas	62
5.2	Geocronologia U-Pb	67
5.3	Sistema fonte-sumidouro.....	72
6	ENTENDENDO A INTERAÇÃO ÁGUA-ROCHA NA FORMAÇÃO TATUÍ.....	77
6.1	Análises geoquímicas	77
6.2	Processos de interação rocha-água-rocha.....	87
7	CONCLUSÕES.....	90
	REFERÊNCIAS.....	92
	APÊNDICE – DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA.....	112

1 INTRODUÇÃO

A análise dos sistemas fonte ao sumidouro em bacias sedimentares siliciclásticas propicia importantes esclarecimentos relativos à reconstituição e interpretação de sua história evolutiva. Sob a óptica temporal, o intervalo analisado abrange desde o momento no qual houve o início da atividade erosiva junto à área-fonte até o estágio de soterramento dos mesmos (Blatt *et al.*, 1980; Einsele, 2000; Boggs Junior, 2006; Miall, 2006). Ainda, estes estudos permitem um melhor entendimento sobre a composição química das rochas localizadas nas áreas-fonte e seus ambientes geotectônicos, além de contribuir com o fornecimento de dados relevantes acerca das condições paleogeográficas e dos controles paleoclimáticos atuantes durante os processos de intemperismo das mesmas (Dickinson, 1988; Haughton *et al.*, 1991; Weltje & Eynatten, 2004; Garzanti, 2016).

A utilização de diagramas geoquímicos de rocha total (principais óxidos, elementos traços e elementos terras raras – ETR) para o estudo dos sistemas fonte ao sumidouro mostra-se de grande valia, permitindo o detalhamento sobre a proveniência dos sedimentos devido ao comportamento imóvel constatado para determinados elementos químicos no decorrer do ciclo sedimentar (Bhatia, 1983; Bhatia & Crook, 1986; McLennan *et al.*, 1984, 1993; Roser & Korsch, 1986; Verma & Armstrong-Altrin, 2013). Complementarmente a esta abordagem, a geocronologia U-Pb em cristais de zircão detríticos contidos nas rochas siliciclásticas é relevante para a delimitação segura dos eventos de cristalização e metamorfismo verificados junto às áreas-fonte responsáveis pelo seu preenchimento (Cawood *et al.*, 2012; Gehrels, 2012, 2014; Spencer *et al.*, 2016). Além disso, permite esclarecimentos sobre sua reconstituição paleogeográfica e da idade máxima de deposição inerente aos sedimentos analisados (Dickinson, 1988; Fedo *et al.*, 2003; Copeland, 2020; Vermeesch, 2021).

Em um estágio posterior, as rochas sedimentares siliciclásticas são expostas à superfície da Terra, onde os processos intempéricos começam a atuar. O intemperismo químico destaca-se pela sua atuação durante a formação do relevo na superfície da Terra, bem como na moderação do clima terrestre (White & Blum, 1995; Gaillardet *et al.*, 1997). As características das rochas (composição, textura e densidade de fraturamento) associadas às condições climáticas são os principais fatores que controlam as interações água-rocha (Meybeck, 1987), com a biosfera,

hidrodinâmica, relevo e tempo também desempenhando papéis importantes (Martini & Chesworth, 1992). Por exemplo, um estudo pioneiro conduzido por Gibbs (1970) explicou os principais mecanismos que controlam a química das águas fluviais mundialmente, ou seja, precipitação atmosférica, intemperismo químico ou evaporação/cristalização fracionada. Posteriormente, estudos quantificaram o intemperismo químico globalmente e propuseram as taxas de remoção de elementos dos continentes para os oceanos (Dupré *et al.*, 2003; Lerman *et al.*, 2007).

A quantificação do intemperismo químico ou erosão química pode ser feita com base na geoquímica fluvial em bacias hidrográficas, sendo a maioria dos estudos conduzidos em áreas com rochas basálticas (Dessert *et al.*, 2003; Louvat *et al.*, 2008; Conceição *et al.*, 2015) ou graníticas (Oliva *et al.*, 2003; West *et al.*, 2005; Fernandes *et al.*, 2016), sob diferentes condições de clima, relevo e uso da terra. Outra abordagem para o entendimento dos processos de interação água-rocha pode ser feita usando um balanço de massa nos perfis de intemperismo que recobrem as rochas frescas, permitindo investigar a redistribuição dos mais variados elementos químicos dentro de qualquer sistema supérgeno (Mathieu *et al.*, 1995; Meneghel *et al.*, 2022). Ainda, se houver informações geocronológicas da possível idade de exposição destas rochas na superfície da Terra, quando associadas com a espessura dos perfis de intemperismo, possibilita calcular-se as taxas de erosão química (Conceição *et al.*, 2022). Assim, com a combinação das duas abordagens a história prolongada da dissolução-reprecipitação de minerais e da acumulação residual na superfície da Terra pode ser entendida.

Crátons pré-cambrianos, cinturões orogênicos e bacias sedimentares são as principais estruturas geodinâmicas mundiais. A primeira delas representa os domínios litosféricos mais antigos e estáveis; ao passo que a seguinte consiste em um importante registro dos processos colisionais e de subducção responsáveis pela acreção e retrabalhamento crustal; e, por fim, a última delas, originada em resposta a diferentes regimes tectônicos e eustáticos, gera pacotes sedimentares cujo estudo e conteúdo são essenciais para desvendar a história evolutiva do planeta, mais especificamente os processos atuantes junto à crosta terrestre (Boggs Junior, 2006; Kearey *et al.*, 2009; Teixeira *et al.*, 2009; Grotzinger & Jordan, 2013).

Dentre as bacias sedimentares brasileiras, a Bacia Sedimentar do Paraná (BSP) apresenta uma área total de aproximadamente 1.500.000 km², distribuídos em quatro países sul-americanos: Brasil (1.100.000 km²), Argentina, Paraguai e Uruguai

(Milani, 2004; Milani *et al.*, 2007). Milani (1997) propôs a compartimentação da BSP em seis unidades aloestratigráficas, também denominadas como sendo sequências de segunda ordem ou supersequências, sendo elas: Rio Ivaí (Caradociano-Landoveriano), Paraná (Lockoviano-Frasniano), Gondwana I (Westfaliano-Scythiano), Gondwana II (Anisiano-Noriano), Gondwana III (Neojurássico-Berriasiano) e Bauru (Aptiano-Maestrichtiano). Milani & Ramos (1998) ressaltam que as três supersequências mais antigas correspondem a sucessivos ciclos transgressivo-regressivos Paleozoicos, ao passo que as demais representam pacotes sedimentares continentais Mesozoicos. Salienta-se também o expressivo magmatismo basáltico continental do Paraná-Etendeka ocorrido durante o Cretáceo Inferior (entre 135.0 ± 0.6 e 132.0 ± 0.2 Ma) no sudoeste de Gondwana, antes de sua ruptura, o qual potencialmente induziu o evento de extinção Weissert (Gomes & Vasconcelos, 2021).

Apesar dos destacados avanços no conhecimento científico sobre a Formação Tatuí, ainda existem importantes lacunas a serem superadas, haja vista que ainda não existem estudos integrando uma abordagem de sistemas fonte ao sumidouro e da influência do intemperismo químico após sua exposição à superfície da Terra de quaisquer das supersequências da BSP. A Formação Tatuí é uma importante unidade litoestratigráfica da BSP no estado de São Paulo, sendo a mesma cronocorrelata à Formação Rio Bonito. Ela é a responsável pelo registro do início do ciclo de sedimentação pós-glacial ocorrido no flanco nordeste desta bacia sedimentar, sendo composta por siltitos e arenitos muito finos a finos e, por vezes, exibindo grãos de areia concrecionados com cimento carbonático (Soares, 1972; Assine *et al.*, 2003). Em seu nível de topo é verificada a presença de arenitos grossos a conglomeráticos, ricos em clastos de sílex, além de lentes de calcário dispersas ao longo desta unidade (Soares, 1972; Schneider *et al.*, 1974; Bistrichi, 1981; Perrotta *et al.*, 2006). A idade de deposição da Formação Tatuí, através de datação relativa com base em paleobotânica e palinologia, é atribuída ao Permiano (Beurlen, 1953; Daemon & Quadros, 1970; Marques-Toigo, 1991; Souza & Marques-Toigo, 2003).

1.1 Objetivos

A presente pesquisa, em um primeiro momento, visa desvendar os sistemas fonte ao sumidouro da Formação Tatuí com base em análises geoquímicas e geocronológicas U-Pb realizadas em siltitos e arenitos desta unidade, de modo a delinear a composição química de seus protólitos e as condições paleoambientais na qual eles se

encontravam inseridos, incluindo, nesta perspectiva de análise, a sua reconstituição paleogeográfica e o tipo de intemperismo atuante à época de sua erosão e, por fim, além da determinação segura de sua idade deposicional máxima. Após os esclarecimentos pioneiros acerca dos aspectos supramencionados, será delineado o papel desempenhado pela interação água-rocha junto às suas rochas atualmente expostas junto à superfície terrestre, com a especificação dos processos de intemperismo químico nelas verificados e as conseqüentes transformações químico-mineralógicas decorrentes de suas reações. Assim, os resultados permitirão um avanço no conhecimento da evolução da BSP no Estado de São Paulo nesses dois momentos distintos da história evolutiva da referida unidade. Além disso, eles proporcionarão, quando comparados com estudos independentes da Formação Rio Bonito, aflorante na região Sul do Brasil, o entendimento dos processos geodinâmicos associados a BSP como um todo.

2 CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO

Neste capítulo, será apresentada a localização da área de estudo e, na sequência, considerações acerca de seus aspectos geológicos regionais e da Formação Tatuí dentro do polígono de trabalho, além dos geomorfológicos, pedológicos, climáticos, vegetação e socioeconômicos.

2.1 Localização

A área da presente pesquisa encontra-se situada na faixa de afloramentos da Formação Tatuí localizada no flanco nordeste da Bacia do Paraná, mais especificamente em área pertencente aos municípios de Rio Claro, Ipeúna, Charqueada e Piracicaba, no interior do estado de São Paulo (Fig. 2-1). Partindo da capital paulista, o trajeto mais rápido e eficiente à área de pesquisa é realizado percorrendo 168 km pela Rodovia dos Bandeirantes (SP-348), desde São Paulo até o seu entroncamento com a Rodovia Washington Luís (SP-310), situado no município de Cordeirópolis. Após isso, trafega-se por mais 11 km até a alça de acesso à SP-127, no município de Rio Claro e, por fim, transita-se por mais 11,7 km através da mesma rodovia em seu sentido para Ipeúna, adentrando, na área em que a pesquisa foi realizada. Para ingressar na área de estudo através de seu segmento sudoeste, o percurso exibindo maior eficiência e rapidez é feito trafegando pela SP-348 por 134 km, desde São Paulo até Santa Bárbara d'Oeste, até acessar a Rodovia Luiz de Queiroz (SP-304). Na sequência, transita-se por mais 30 km até a alça de acesso à Rodovia Hermínio Petrin (SP-308), em Piracicaba. A partir deste ponto, desloca-se por mais 17 km até encontrar a Estrada Vicinal Vereador Joaquim Eneas Zarur Bacin, no município de Charqueada. Por fim, percorre-se mais 3,7 km, de modo a adentrar à área de pesquisa. Ao continuar na referida estrada por mais 500 m, chega-se a Paraisolândia, distrito pertencente ao último município mencionado.

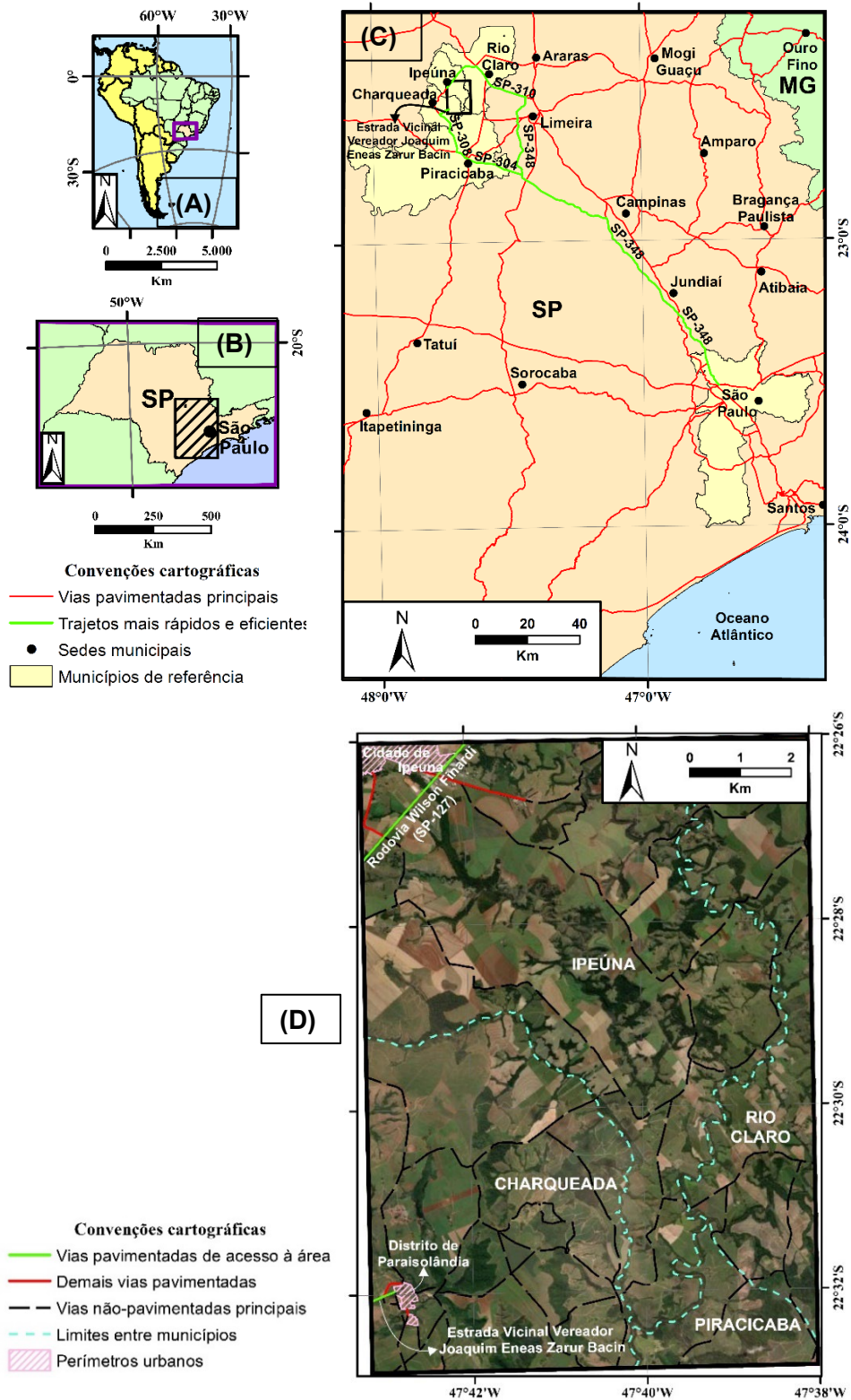


Figura 2-1: Mapa geral do continente sul-americano com destaque para o Brasil e o Estado de São Paulo (A); mapa do território paulista, destacando-se o segmento situado entre a sua capital e a área de trabalho (B); mapa contendo as principais rodovias paulistas para acessar a área de pesquisa, partindo da capital paulista (C); imagem da área de estudo obtida através do satélite "Sentinel-2", banda "R01" resolução de 60 m (D).

2.2 Aspectos geológicos regionais

Em âmbito geológico regional, a área de estudo encontra-se no flanco nordeste da BSP, a qual apresenta uma área total estimada de 1.500.000 km², distribuídos em quatro países sul-americanos: Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai. Deste total, cerca de 1.100.000 km² situa-se em território brasileiro. A BSP é constituída por um extenso pacote sedimentar-magmático, exibindo espessura máxima ~7 km junto ao seu depocentro, dos quais ~5 km referem-se a litotipos sedimentares majoritariamente siliciclásticos. A espessura remanescente é composta por litotipos ígneos predominantemente básicos pertencentes à Formação Serra Geral (Milani, 2004; Milani *et al.*, 2007). Restritamente, sobretudo na região Sul do país, há o registro, para esta unidade, de rochas intermediária e ácidas, mas que perfazem respectivamente apenas 7% e 3% do volume ígneo total constatado no interior da referida bacia (Montanheiro *et al.*, 2004).

A BSP foi compartimentada em seis unidades aloestratigráficas, também denominadas como sendo sequências de segunda ordem ou supersequências (Fig. 2-2), a saber: Rio Ivaí (458,2 Ma a 432,9 Ma), Paraná (419,62 a 372,15 Ma), Gondwana I (315,2 a 246,7 Ma), Gondwana II (246,7 a 205,7 Ma), Gondwana III (161,5 a 137,05 Ma) e Bauru (121,4 a 66 Ma). Deste modo, a BSP guarda um importante registro dos processos de sedimentação ocorridos no setor ocidental do Supercontinente Gondwana (SG) em estágios anteriores, concomitantes e posteriores ao seu processo de fragmentação responsável por originar as atuais placas sul-americana e africana (Vail *et al.*, 1977; Milani 1997). As idades dos períodos acima elencados encontram-se em consonância com Cohen *et al.* (2013).

Ressalta-se que as três supersequências mais antigas correspondem a sucessivos ciclos transgressivo-regressivos paleozóicos, cujos litotipos foram originados, portanto, em ambiente marinho, ao passo que as demais representam pacotes sedimentares continentais mesozoicos (Milani & Ramos, 1998). Salienta-se também que o expressivo magmatismo fissural Paraná-Etendeka ocorrido durante o Cretáceo Inferior (entre 135.0 ± 0.6 e 132.0 ± 0.2 Ma) (Gomes & Vasconcelos, 2021). A coluna litoestratigráfica simplificada da BSP e seu embasamento na região compreendida por Piracicaba, Rio Claro e municípios adjacentes é apresentada na Fig. 2-3.

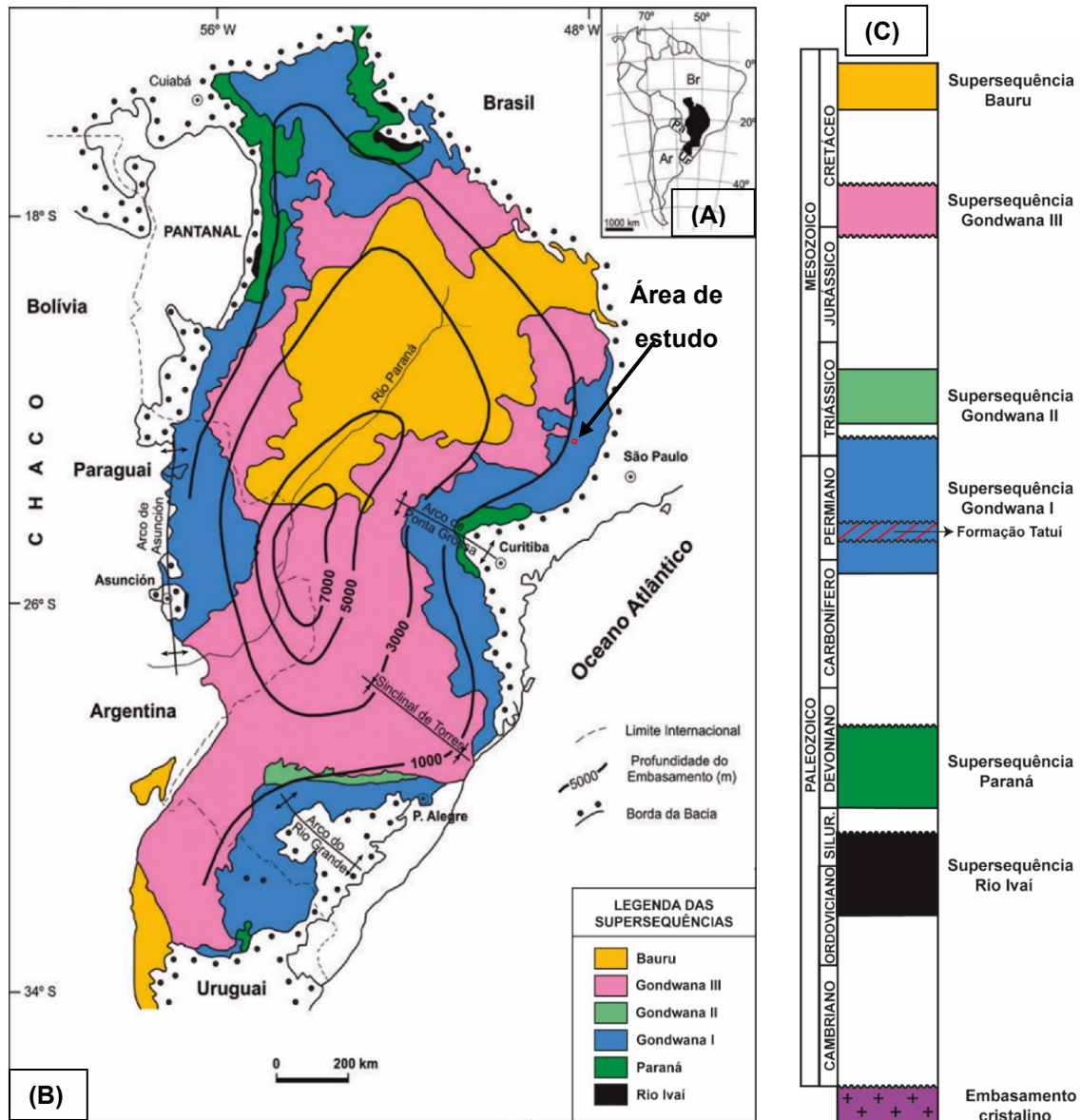


Figura 2-2: Visão geral da Bacia Sedimentar do Paraná (BSP) no continente sul-americano (A). Mapa de compartimentação da BSP com as supersequências Rio Ivaí, Paraná, Gondwana I, Gondwana II, Gondwana III e Bauru (B). A seta em preto contida no interior da Supersequência Gondwana I mostra a localização da área de estudo (mapas modificados de Carbonaro & Ghilardi, 2016); Coluna estratigráfica simplificada mostrando as divisões das seis supersequências mencionadas (modificada de Montibeller *et al.*, 2020) (C).

Na área de estudo, localizada no segmento noroeste do Alto Estrutural de Pitanga (AEP), afloram litotipos de quatro unidades litoestratigráficas formais da BSP (Grupo Itararé e formações Tatuí, Irati e Corumbataí), todas pertencentes à supersequência Gondwana I, além de rochas intrusivas básicas geneticamente relacionadas à Formação Serra Geral, coberturas detríticas indiferenciadas e, em setores mais restritos, nos fundos de vale, mais especificamente em áreas de

sedimentação associadas à dinâmica fluvial, são encontradas as planícies aluvionares (Fig. 2-4). Tendo em vista os objetivos propostos para a presente pesquisa, os levantamentos de campo concentraram-se exclusivamente na faixa de afloramentos da Formação Tatuí.

ERA	PERÍODOS	GRUPO	FORMAÇÃO	LITOLOGIA	ESP. EST. (m)	DESCRIÇÃO SUCIENTA	AMBIENTE DEPOSICIONAL
CENOZOICA	QUATERNÁRIO		RIO CLARO		30	ARENITOS POUCO CONSOLIDADOS COM LENTES DE ARGILAS E NÍVEIS CONGLOMERÁTICOS NA BASE	CONTINENTAL: PLANÍCIE ALUVIAL E LACUSTRE COLUVIÕES
	TERCIÁRIO		ITAQUERI		100	ARENITOS CONGLOMERÁTICOS E ARENITOS SILICIFICADOS; FERRICRETES	CONTINENTAL: LEQUES ALUVIAIS E CONTRIBUIÇÕES FLUVIAL E LACUSTRE
MESOZOICA	CRETÁCEO	SÃO BENTO	SERRA GERAL		100	DERRAMES DE BASALTOS COM LENTES DE ARENITO NA BASE; DIQUES E SOLEIRAS DE DIABÁSIO	MAGMATISMO FISSURAL
	JURÁSSICO		BOTUCATU		100	ARENITOS BEM SELECIONADOS COM GRÃOS SEM ARREDONDAMENTOS E BEM ESFÉRICOS; POUCA ARGILA	CONTINENTAL: DESÉRTICO
	TRIÁSSICO		PIRAMBOIA		150	ARENITOS COM GRÃOS ARREDONDADOS E ESFÉRICOS; DIVERSOS NÍVEIS DE LAMITOS	CONTINENTAL: FLUVIAL E DESÉRTICO
			CORUMBATAÍ		100	SILTITOS CONTENDO LENTES DE ARENITOS FINOS ARGILITOS, SILTITOS, FOLHELHOS PIROBETUMINOSOS, NÍVEIS DE CALCÁRIOS DOLOMITICOS E COQUINAS	CONTINENTAL: LACUSTRE; TRANSICIONAL: PLANÍCIE DE MARÉ
PALEOZOICA	PERMIANO	PASSA DOIS	Mb. Assistência Mb. Taquaral		40	FOLHELHOS, SILTITOS, FOLHELHOS PIROBETUMINOSOS E CALCÁRIOS DOLOMITICOS	TRANSICIONAL: LAGUNA; MARINHO RASO: PLATAFORMA
		SUPERGRUPO TUBARÃO	TATUÍ		50	SILTITOS E ARENITOS MUITO FINOS A FINOS NO TOPO: ARENITOS GROSSOS E PARA CONGLOMERADOS RICOS EM CLASTOS DE SÍLEX	TRANSICIONAL: SISTEMAS FLÚVIO-DELTAICOS E BARRAS DE MARÉ; MARINHO RASO: PLATAFORMAL
			GR. ITATARÉ (indiviso no Estado de São Paulo)		900	ARENITOS, SILTITOS, VARVITOS E DIAMICTITOS (ALGUNS VERDADEIROS TILITOS)	CONTINENTAL (GLACIAL): LEQUES ALUVIAIS E CONTRIBUIÇÕES FLUVIAL E LACUSTRE TRANSICIONAL: DELTAS; MARINHO (GLÁCIO-MARINHO): PLATAFORMA
	CARBONÍFERO						
	PRÉ-CAMBRIANO		EMBASAMENTO			GRANITOS, MIGMATITOS, GNAISSES, XISTOS E QUARTZITOS	

Figura 2-3: Coluna estratigráfica simplificada da BSP e seu embasamento na região que abrange Piracicaba, Rio Claro e municípios adjacentes. Nela, é possível verificar a distribuição das unidades no tempo geológico (mais precisamente em termos de era e período), assim como os dados inerentes aos seus valores de espessuras estimados, suas descrições litológicas sintéticas e respectivos ambientes deposicionais. As informações relativas à Formação Tatuí encontram-se destacadas no interior do retângulo de borda vermelha (modificado de Perinotto & Zaine, 2008 e Christofolletti *et al.*, 2015).

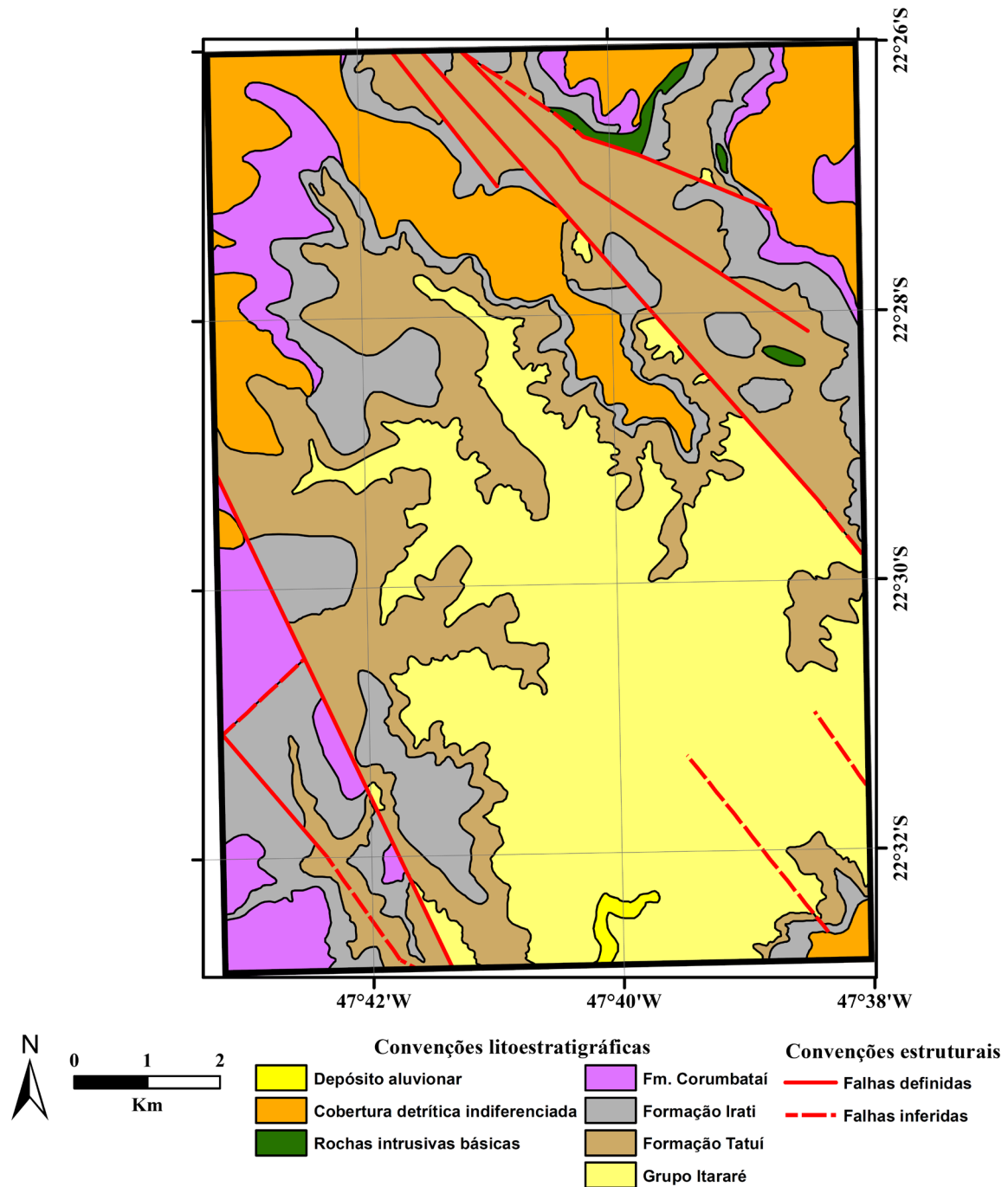


Figura 2-4: Mapa geológico da área de estudo, situada no segmento noroeste do AEP (modificado de Sousa, 2002). Os mapas de localização geral do polígono de trabalho na América do Sul, Brasil e Estado de São Paulo já se encontram apresentados na Figura 2-1 (A) e (B).

O Grupo Itararé (Neocarbonífero) é constituído por arenitos mal seleccionados, diamictitos, assim como siltitos e argilitos, incluindo aqueles com laminações (folhelhos). Para a Formação Tatuí (Eopermiano), unidade tida como escopo do presente trabalho e cuja espessura situa-se na ordem de 50 m, são verificados siltitos

e arenitos muito finos a finos como litotipos predominantes, além de níveis contendo arenitos grossos a conglomeráticos, ricos em clastos de sílex, bem como lentes de calcário. Em relação à Formação Irati (Eopermiano), são observados argilitos e siltitos, incluindo folhelhos, além de calcários. Já na Formação Corumbataí (Neopermiano), são encontrados siltitos e argilitos, incluindo folhelhos, além da presença minoritária de arenitos finos, caracteristicamente regulares a bem selecionados (Sousa, 2002; Perrotta *et al.*, 2006; Perinotto & Lino, 2011).

Complementarmente, também são registradas rochas intrusivas básicas, mais especificamente diabásios, na forma de diques ou soleiras, interpretados como sendo geneticamente associadas à Formação Serra Geral (Eotriássico). Há ainda a ocorrência de cobertura detrítica indiferenciada, constituída por sedimentos inconsolidados formados por areias finas a grossas, localmente siltico-argilosas e, mais raramente, conglomeráticas. Por fim, é constatado depósito aluvionar mapeável em escala 1:100.000, dentro do qual encontram-se turfas e sedimentos inconsolidados (areias, siltes, argilas) associados à dinâmica deposicional do Rio Corumbataí, que é a principal drenagem constatada no interior do polígono de trabalho (Sousa, 2002; Perrotta *et al.*, 2006).

2.3 Aspectos da Formação Tatuí na área de estudo

A Formação Tatuí, escopo do presente trabalho, pertence à Supersequência Gondwana I, sendo constituída predominantemente por siltitos e arenitos muito finos a finos, coloração marrom-arroxeadas, maciços a finamente laminados em sua porção inferior. Já na sua porção superior são observadas as mesmas rochas siliciclásticas, contudo com colorações cinza-esverdeadas a amareladas, por vezes exibindo estratificações cruzadas dos tipos “*hummocky*” e planar, além de marcas de onda. Níveis contendo arenitos grossos e conglomeráticos, ricos em clastos de sílex e localmente espessos, também são registrados nessa porção, havendo o registro de estratificações cruzadas tabular e sigmoidal junto a elas. Ressalta-se que a silicificação constatada ainda não foi entendida perfeitamente. Lentes de calcário também são constatadas ao longo desta unidade (Soares, 1972; Sousa, 2002; Assine *et al.*, 2003; Perrotta *et al.*, 2006; Perinotto & Lino, 2011).

A fração argila aparentemente é subestimada nessa unidade, bem com a sua coloração esverdeada. Stevaux *et al.* (1986) e Chahud (2018), ao realizarem a esta unidade, destacam a presença de argilitos no rol de litotipos siliciclásticos importantes

nela verificados. Cabe salientar que a diagênese possibilitou o crescimento dos argilominerais primários nela verificados e que, a rigor, são os responsáveis pela coloração anteriormente mencionada, que é constatada, com clareza, em seu membro superior. No que concerne à variedade marrom-arroxeadada, não encontrada de modo generalizado ao longo faixa de afloramentos da Formação Tatuí no centro-leste paulista, ela poderia estar associada à atuação de eventos pós-diagenéticos em segmentos específicos no qual afloram essa unidade, a exemplo do AEP. Isso pode explicar, ao menos em parte, a ausência desta última coloração nas descrições realizadas por Perrota *et al.* (2006) e Loreti Junior (2014) para as rochas siliciclásticas atribuídas à Formação Tatuí.

Em sua porção superior, torna-se importante fazer a distinção entre os dois níveis de conglomerados distintos entre si. O primeiro deles encontra-se associado à “*fácies Ibicatu*”, sendo constituído por camadas de seixos e calhaus caracteristicamente mal a moderadamente selecionados que refletem pulsos deposicionais oriundos de leques aluviais. Em relação ao outro nível, ele é o responsável por marcar o contato litoestratigráfico entre a unidade estudada e a Formação Irati. Ele registra um evento marinho transgressivo permiano marcante, ocasionando a formação de uma camada conglomerática de ordem centimétrica, porém de caráter expressivo. Esta proeminente transgressão marinha resultou na formação de uma superfície de ravinamento acarretando em hiato deposicional, e retrabalhamento dos sedimentos subjacentes, com a remoção da fração mais fina e concentração dos clastos mais grosseiros e resistentes, formando um característico “*lag*” residual (Assine *et al.*, 2003).

No tocante ao seu conteúdo fóssilífero, verifica-se a presença de importantes conteúdos fósseis, incluindo caules vegetais (pteridófitas e espermatófitas), crustáceos (conchostráceos, além de fragmentos indeterminados), escamas, dentes e partes ósseas de peixes (Chahud, 2007, 2011; Chahud & Petri, 2009a, 2009b, 2015, 2018). Em relação aos altos estruturais presentes no flanco nordeste da BSP, conforme já delineado preliminarmente no subtópico anterior, a área de estudo está situada especificamente no segmento nordeste do AEP. A referida estrutura possui forma alongada, exibindo valores de comprimentos de seus eixos maior (de direção NNE-SSW) e menor (de direção WNW-ESE) na ordem de 30 e 15 km, respectivamente (Siqueira, 2011). Na maioria dos locais situados dentro do polígono de trabalho, afloram rochas do Grupo Itararé e das Formações Tatuí, Irati e

2.4 Aspectos geomorfológicos e pedológicos

A área de estudo, segundo a compartimentação geomorfológica do Estado de São Paulo proposta por Almeida (1964, 2018), situa-se integralmente na Depressão Periférica Paulista (DPP), mais especificamente na Zona do Médio Tietê (ZMT). Ab'Saber (1969) pontua que a DPP possui origem predominantemente denudacional, esculpida em rochas Paleozoicas a Mesozoicas da BSP, além de intrusivas básicas associadas ao magmatismo Serra Geral, estando localizada entre as “(...) *terras altas do Planalto Atlântico e as cristas igualmente elevadas das Cuestas Basálticas*”. Conforme delineado por Dal Pozzo & Ross (2002), trata-se de um compartimento rebaixado topograficamente em relação aos dois compartimentos a ele adjacentes e que foram anteriormente mencionados.

Penteado (1976) explica que o referido compartimento geomorfológico exibe uma faixa de comprimento NE-SW de aproximadamente 450 km e cerca de 100 km da largura média. Em superfície, sua forma corresponde a um arco de circunferência com convexidade externa voltada para o quadrante SE, onde os litotipos encontram-se dispostos acima do substrato rochoso pré-cambriano referente ao embasamento da BSP, com início de sua faixa de afloramentos marcando o limite entre a DPP o Planalto Atlântico (PA). Já no limite oposto é marcado pelo início das Cuestas arenítico-basálticas, cujos desníveis verificados junto aos seus “*fronts*” podem atingir a ordem dos 200 a 300 m, a depender do segmento analisado.

No que tange à ZMT, Oliveira & Guerra (2011) destacam que ela compreende cerca de 40% da DPP, o que representa aproximadamente 15.200 km², compreendendo o segmento da DPP drenado pelo Rio Tietê, mais especificamente médio curso e que registrando, como afluentes principais, os rios Piracicaba e Sorocaba. Almeida (1964, 2018) esclarece que a gênese e contexto evolutivo do relevo e drenagem da referida zona encontra-se associada à superfície nivelada no Cretáceo Superior a Terciário Inferior, designada como “*Superfície do Japi*”, em um período no qual a drenagem já buscava encontrar o Rio Paraná primitivo. Na área de estudo, o maior e menor valores registrados para as cotas altimétricas situam-se respectivamente na faixa entre 650 e 490 m, respectivamente. Todavia, os valores frequentemente registrados ficaram na ordem entre 560 e 620 m. Em seu interior, com base em informações oriundas da publicação de Poncano *et al.* (1981), há o registro de dois padrões de relevo característicos, sendo que primeiro deles, predominante,

refere-se às “*colinas médias*”, enquanto o outro corresponde aos “*morrotes alongados e espigões*”.

Em relação aos aspectos pedológicos, são verificadas quatro grandes classes solos na área de estudo, ou seja, Argissolos, Latossolos, Neossolos e Nitossolos. Os Argissolos constituem uma classe bem heterogênea, apresentando, em geral, um aumento significativo no teor de argila em função da profundidade, variando de vermelho-amareladas (Argissolos vermelho-amarelos) a avermelhadas (Argissolos vermelhos). Já Latossolos são homogêneos, revelando pouca distinção entre os horizontes, sendo facilmente identificados pelas suas colorações vermelho-amareladas (referente aos Latossolos vermelho-amarelos) e avermelhadas (relativo aos Latossolos vermelhos). Os Neossolos litólicos exibem natureza pouco evoluída, guardando importantes características dos processos responsáveis pela sua origem, uma vez que não são resultantes modificações expressivas no material parental que lhes deram origem. Por fim, em caráter muito restrito, há também o registro de Nitossolos vermelhos, exibindo texturas muito finas, pois são constituídos predominantemente por argilas (Manzatto *et al.*, 2002; Rossi, 2017; EMBRAPA, 2021).

2.5 Aspectos climáticos, hidrográficos e de vegetação

Segundo a classificação climática de Köppen-Geiser, considerada referência internacional na área de climatologia, a área de estudo encontra-se integralmente inserida no clima do tipo “Cwa”. Os locais situados nesta faixa apresentam clima subtropical, com inverno caracteristicamente seco e temperaturas frequentemente inferiores a 18 °C. Em relação ao verão, ele é marcado por temperaturas, de um modo geral, superiores a 22 °C. Trata-se do tipo climático predominante no interior do Estado de São Paulo (Ventura, 1964; EMBRAPA, 2011; Dubreuil *et al.*, 2018). A Fig. 2-6 apresenta os valores de média aritmética relativos às precipitações mensais e anuais nela constatados, desde 1971 a 2022, sendo eles de 122 mm e 1411 mm, respectivamente. Historicamente, agosto é considerado o mês mais seco, ao passo que janeiro exibi comportamento oposto.

Em termos hidrográficos, a área de estudo encontra-se integralmente situada na bacia do Rio Corumbataí, mais especificamente em seu baixo curso. Além da drenagem principal, destaca-se ainda a presença de três importantes afluentes relativos à sua margem direita: os rios Cabeças e Passa Cinco e o ribeirão Água Vermelha. Complementarmente, salienta-se que os seus trajetos são fortemente

influenciados pelo controle estrutural inerente ao AEP (Sousa, 2002; Santos & Garcia, 2006). O Rio Passa Cinco é a principal drenagem da área de estudo, formando fundos de vale caracteristicamente encaixados.

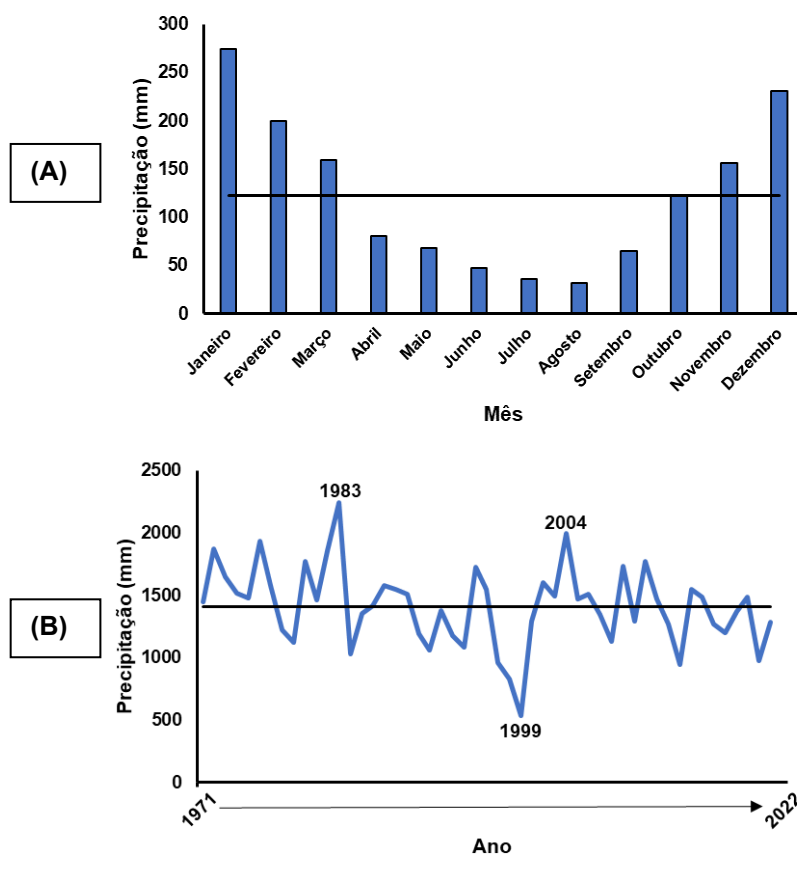


Figura 2-6: Precipitação média mensal (A) e anual (B), desde 1971 até 2022, constatada para a estação pluviométrica D4-074, localizada em Ipeúna (SP) (dados obtidos de DAEE, 2023).

No tocante aos tipos de vegetação presentes na área de estudo, eles pertencem aos biomas do Cerrado (ou Savana) e da Mata Atlântica (Oliveira Filho & Fontes, 2000; Veloso & Góes Filho, 1982; Loreti Junior *et al.*, 2014). No Cerrado, a vegetação é tipicamente xenomórfica, abrangendo um conjunto de herbáceas, geófitas, arbustivas de pequeno porte e árvores oligotróficas. Já a Mata Atlântica é constituída pela floresta estacional semidecidual, formada principalmente por árvores emergentes e de dossel, árvores e arbustos de sub-bosque, herbáceas, liana e epífitas. Por fim, salienta-se que ao longo da área de estudo há ampla substituição da vegetação primária por áreas agropecuárias, destacadamente voltadas ao cultivo de cana-de-açúcar e soja, além de pecuária extensiva.

2.6 Aspectos socioeconômicos

A área de pesquisa encontra-se inserida na Região Metropolitana de Piracicaba (RMP), cuja população total é de 1.519.012 habitantes, sendo que a RMP é a responsável pela geração de 3,48% do Produto Interno Bruto (PIB) paulista (FIPE, 2023). Em seu interior, constata-se a presença de um parque industrial muito abrangente e diversificado, concentrando empresas de portes nacional e multinacional, destacadamente dos ramos cerâmico, sucroalcooleiro, alimentício, agroindustrial, metalúrgico, metalmecânico e de bens de capital. Dados populacionais, de densidade demográfica, PIB nominal, PIB *per capita* e IDH-M dos municípios localizados na área de estudo encontram-se na Tabela 2-1.

Tabela 2-1: Dados relativos à população, densidade demográfica, PIB nominal, PIB per capita e IDHM dos municípios paulistas de Charqueada, Ipeúna, Piracicaba e Rio Claro.

Municípios	Charqueada	Ipeúna	Piracicaba	Rio Claro
População (2022)¹	15.535 hab.	6.831 hab.	423.323 hab.	201.418 hab.
Densidade demográfica (2022)¹	88,34 hab./km ²	35,95 hab./km ²	307,19 hab./km ²	404,11 hab./km ²
PIB nominal (2020)²	R\$ 436.864.969	R\$ 914.749.026	R\$ 27.172.816.849	R\$ 11.432.196.416
PIB per capita (2020)²	25.800,00 R\$/hab.	120.823,00 R\$/hab.	69.697,00 R\$/hab.	56.817,00 R\$/hab.
IDHM (2010)³	0,736 (alto)	0,753 (alto)	0,785 (alto)	0,803 (muito alto)

Fonte dos dados: ¹ IBGE (2022); ² Fundação SEADE (2020); ³ PNUD (2013a). **Significado das siglas:** habitantes (hab.); habitantes por quilômetro quadrado (hab./km²); reais (R\$); reais por habitante (R\$/hab). Para o IDHM, os valores são adimensionais, variando de 0 a 1, categorizados, conforme bem delineado por PNUD (2013b), em cinco classes distintas: 0,00 a 4,99 (muito baixo), 0,5 a 0,59 (baixo), 0,6 a 0,69 (médio), 0,7 a 0,79 (alto) e 0,8 a 1 (muito alto). **Nota adicional:** as análises de parâmetros populacionais segmentados por distritos, subdistritos e setores censitários relativos ao censo demográfico de 2022 ainda não foram divulgados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

O setor cerâmico de revestimentos está experimentando um novo ciclo de crescimento global após a pandemia de Covid-19, com o Brasil se consolidando, no ano de 2024, como o terceiro maior produtor (825 milhões de m²) e consumidor (727,4 milhões de m²) mundial. Os empreendimentos minerários cerâmicos brasileiros são

atualmente constituídos por 81 unidades fabris, que contribuem com cerca de 6% do PIB relativo à indústria de materiais para construção. Eles são os responsáveis pela geração de aproximadamente 50.000 empregos diretos, além de cerca de 200.000 em âmbito indireto. Entre os produtos fabricados, o porcelanato se destaca no cenário atual, sendo majoritariamente produzido nos polos de Santa Catarina e Santa Gertrudes, com capacidade de produção de 190,5 milhões de m² no ano supramencionado (ANFACER, 2025).

Salienta-se, por fim, que nos municípios de Cordeirópolis, Ipeúna, Iracemápolis, Limeira, Piracicaba, Rio Claro e Santa Gertrudes, todos pertencentes à RMP, encontra-se localizado o PCSG. Trata-se do maior centro produtor cerâmico das Américas, formado por uma associação de 20 empreendimentos minerários responsáveis por gerar 11.500 empregos diretos e que contribuem, respectivamente, com 70% e 92% das produções cerâmicas nacional e do Estado de São Paulo, evidenciando, assim, a sua importância e lucratividade para a região na qual ele está inserido (Christofolletti *et al.*, 2023; ASPACER, 2021a,b).

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DA FORMAÇÃO TATUÍ NO CENTRO-LESTE PAULISTA

No presente capítulo será apresentada uma revisão de literatura acerca da evolução do conhecimento geológico sobre a Formação Tatuí, em seu segmento aflorante no Centro-Leste do Estado de São Paulo, destacando os principais trabalhos desenvolvidos para esta unidade. Há registros, na literatura, de contribuições envolvendo as caracterizações litológicas, fossilíferas, ou ainda, de estruturas primárias inerentes à Formação Tatuí, auxiliando, quando analisadas de forma integrada, em uma melhor compreensão de seu paleoambiente deposicional. Na Tabela 3-1, é apresentada a evolução do conhecimento relativo à Formação Tatuí.

Tabela 3-1: Tabela-síntese com a evolução do conhecimento da Formação Tatuí.

Local	Breve descrição	Referência
Interior paulista	Descrição pioneira de seus litotipos e idade deposicional atribuída ao Permiano	CGG (1917 <i>apud</i> Alegri, 1984)
Interior paulista	Descrição generalista de seus litotipos	CGG (1918 <i>apud</i> Alegri, 1984)
Regiões Centro-Leste e Sudoeste paulista	Posicionamento de suas camadas, descrição de seus litotipos e do solo originado a partir deles	Pacheco (1927)
Estado de São Paulo	Posicionamento de suas camadas e descrição de seus litotipos	Florence & Pacheco (1929)
Interior paulista	Seleção de potenciais áreas para exploração de petróleo, posicionamento de suas camadas e descrição de seus diferentes litotipos	Moraes Rego (1930)
Interior paulista	Seleção de potenciais áreas para exploração de petróleo e primeira atribuição formal de sua hierarquia como “ <i>formação</i> ” e interpretação paleoambiental, designando-a como pós-glacial	Washburne (1930)
Região de Tatuí, SP	Levantamento litoestratigráfico (incluindo descrição fossilífera) e interpretação de seu paleoambiente deposicional	Barbosa & Almeida (1949)
Região de Piracicaba	Levantamento litoestratigráfico (incluindo descrições fossilíferas), interpretação de seu paleoambiente deposicional e idade atribuída ao Permiano Inferior	Almeida & Barbosa (1953)
Região de Piracicaba	Levantamento sobre recursos petrolíferos, com a realização de levantamentos litoestratigráficos, atribuição de seu paleoambiente deposicional e revisão de sua idade para o Carbonífero Superior	Barbosa & Gomes (1958)

Local	Breve descrição	Referência
Interior paulista	Detalhamento e revisão litoestratigráfica, na qual a Formação Tatuí volta a ser categorizada como “formação”	Petri (1964)
Interior paulista	Revisão sistemática do Grupo Tubarão no segmento brasileiro da BSP, com o apontamento de similaridades litológicas entre as Formações Tatuí e Palermo	Rocha-Campos (1967)
Centro-Leste paulista	Estudo litoestratigráfico abrangente envolvendo o limite glacial e pós-glacial da BSP, sendo este último representado pela Formação Tatuí	Soares (1972)
Região de Ribeirão Preto	Mapeamento geológico, com a descrição geral de seus aspectos litoestratigráficos.	Soares <i>et al.</i> (1973)
Centro-Leste paulista	Estudo abordando os aspectos litoestratigráficos regionais relativos ao flanco NE da BSP, incluindo, nesse contexto, a Formação Tatuí. Destaca-se a sua correlação estratigráfica com a porção superior da Formação Rio Bonito, além de sua ausência em partes do referido flanco em decorrência de discordância erosiva, com o registro da presença de conglomerados nos referidos setores	Soares & Landim (1973)
Interior do Estado de São Paulo (regiões central e sul)	Estudo litoestratigráfico, no qual há a tentativa de compartimentar o Grupo Tubarão no Estado de São Paulo	Saad (1977)
Região de Ribeirão Preto	Mapeamento geológico, com a descrição de seus litotipos e estruturas primárias verificadas durante os trabalhos de campo	Massoli (1980)
Estado de São Paulo	Mapeamento geológico, incluindo descrição de aspectos litoestratigráficos, além da especificação de paleoambiente e idade deposicionais. Para esta unidade, é atribuída a sua deposição como sendo próxima ao limite dos andares Kunguriano e Kazaniano, situados, respectivamente, no Permiano Inferior e Médio	Almeida & Melo (1981)
Estado de São Paulo (incluindo o centro-leste paulista)	Compilação dos conhecimentos adquiridos sobre as unidades litoestratigráficas formalmente reconhecidas no Estado de São Paulo. Sobre a Formação Tatuí, também houve a especificação de novos dados sobre os seus valores de espessura e descrição dos locais do interior paulista em que há as melhores exposições de seus afloramentos, com a sua idade deposicional sendo atribuída ao Permiano.	Mezzalira (1981)

Local	Breve descrição	Referência
Brasil (incluindo o Centro-Leste paulista)	Caracterização dos diferentes compartimentos geodinâmicos brasileiros a partir do Fanerozoico. Para a BSP, há o detalhamento de suas diferentes unidades, incluindo a Formação Tatuí, com a abordagem de seus aspectos litoestratigráficos (incluindo o seu conteúdo fossilífero), além de interpretações paleoambientais	Petri & Fúlfaro (1983)
Brasil (incluindo o Centro-Leste paulista)	Compilação dos conhecimentos inerentes às unidades litoestratigráficas formalmente reconhecidas em território brasileiro, incluindo, portanto a Formação Tatuí, incluindo, dentre outros aspectos, a sua citação original, locais em que ela aflora e atribuição de sua idade deposicional, atribuída ao Permiano. Com base na literatura, é realizada uma síntese histórica acerca de suas revisões e reposicionamentos litoestratigráficos	Alegri (1984)
Centro-Leste paulista	Detalhamento litoestratigráfico, interpretações paleoambientais, além de considerações acerca da proveniência de seus sedimentos	Fúlfaro <i>et al.</i> (1984)
Centro-Leste paulista	Mapeamento geológico, com a descrição de seus litotipos e estruturas primárias verificados durante os levantamentos de campo, além da realização de análise granulométrica para os seus sedimentos	Massoli (1984)
Centro-Leste paulista	Caracterização litoestratigráfica com base em análise faciológica detalhada e correlação de diferentes seções colunares, interpretação de paleoambientes deposicionais e considerações acerca de sua proveniência sedimentar, com destaque para a partir de medições de paleocorrentes, seixos imbricados e orientação de troncos fósseis	Stevaux <i>et al.</i> (1986)
Centro-Leste paulista	Estudo litoestratigráfico e cronocorrelação da Formação Tatuí com os Membros Paraguaçu e Siderópolis da Formação Bonito e a Formação Palermo	Castro <i>et al.</i> (1993)
Região de Piracicaba	Estudo pautado no entendimento das ocorrências de sílica microcristalina (trípoli) em meio às rochas siliciclásticas situadas próximas ao topo desta unidade	Riccomini <i>et al.</i> (1997)
Centro-Leste paulista	Considerações litoestratigráficas e sobre paleoambiente deposicional	Pires & Petri (1993)

Local	Breve descrição	Referência
Centro-Leste paulista	Estudos litoestratigráficos, de interpretação de paleoambiente deposicional e de proveniência sedimentar	Assine <i>et al.</i> (1999)
Centro-Leste paulista	Considerações detalhadas acerca do aspectos litoestratigráficos, com a análise faciológica detalhada de seu Membro Superior, paleoambiente deposicional e de proveniência sedimentar	Assine <i>et al.</i> (2003)
Região de Piracicaba	Estudo tecnológico de seus litotipos analisados indicam que eles possuem viabilidade de utilização na indústria de cerâmica estrutural	Gaspar Junior (2003)
Estado de São Paulo	Mapeamento geológico estadual. No tocante à Formação Tatuí, além da descrição de seus litotipos, há o reconhecimento de sua correção litoestratigráfica com as Formações Rio Bonito e Palermo (Grupo Guatá)	Perrotta <i>et al.</i> (2006)
Centro-Leste paulista	Detalhamento litoestratigráfico, com foco no estudo paleontológico de vertebrados localizados no topo desta unidade e na porção basal da Formação Irati	Chahud (2007)
Centro-Sul do Brasil (incluindo o Centro-Leste paulista)	Análise evolutiva da BSP. Especificamente sobre a Formação Tatuí, é destacada a sua equivalência litoestratigráfica com as Formações Rio Bonito e Palermo (Grupo Guatá)	Milani <i>et al.</i> (2007)
Região de Piracicaba	Levantamento e descrição de fósseis vegetais situados no topo da Formação Tatuí	Chahud & Petri (2009a)
Região de Piracicaba	Levantamento e descrição de fósseis atribuídos à peixes sarcopterígeos	Chahud & Petri (2009b)
Região de Tatuí	Detalhamento mineralógico de rochas pelíticas da Formação Tatuí e cujas argilas são explotadas por mineradoras.	Moreno <i>et al.</i> (2009)
Região de Piracicaba	Detalhamento da mineralogia de arenitos desta unidade e considerações de seus aspectos diagenéticos.	Gimenez & Chang (2010)
Centro-Leste paulista	Análise detalhada das características litoestratigráficas, incluindo o seu conteúdo fossilífero, além de considerações envolvendo ambientes paleodeposicionais	Chahud (2011)
Região de Piracicaba	Estudo litoestratigráfico, descrição fossilífera e interpretação paleoambiental	Chahud <i>et al.</i> (2012)
Centro-Leste paulista	Detalhamento litoestratigráfico com estudos de icnofósseis, além de considerações paleodeposicionais	Chahud & Petri (2015)

Local	Breve descrição	Referência
Região de Tatuí	Especificação de um conjunto de procedimentos para modernização da atividade minerária na região pesquisada	Tanno <i>et al.</i> (2015)
Região de Tatuí	Estudo compreendendo a viabilidade de utilização como fonte alternativa de material cerâmico no PCSG.	Moreno <i>et al.</i> (2016)
Região de Piracicaba	Detalhamento litoestratigráfico com ênfase no registro de fósseis vegetais, com a realização de análises tafonômicas visando à realização de interpretação paleoambiental	Chahud & Petri (2018)
Região de Piracicaba	Enfoque na realização de ensaios cerâmicos a partir de matérias-primas pertencentes à faixa de Formação Tatuí AEP	Curtolo <i>et al.</i> (2020)
Região de Tatuí	Detalhamento da geração de matérias-primas de interesse econômico e explotadas por mineradoras	Meneghel <i>et al.</i> (2022)
Interior paulista	Detalhamento de argilas plásticas e superplásticas, com o propósito de empregá-las como matérias-primas cerâmicas para a produção de porcelanatos	Christofolletti <i>et al.</i> (2023)

3.1 Trabalhos pioneiros

Na literatura, registra-se que a primeira designação nominal conferida à Formação Tatuí, então denominada como “*camadas de Tatuhy*”, é atribuída à então “*Comissão Geográfica e Geológica de São Paulo*” (CGG), com base em relatório de levantamentos de campo realizados em 1916 no interior do Estado de São Paulo e publicados no ano seguinte. A citação original encontra-se delineada na sequência:

Terminado o levantamento do terciário em nosso estado, ficou deliberado para a campanha de 1916, o levantamento de outra zona geológica que no mapa se acha em claro, na qual afloram as camadas permeanas que denominamos Tatuhy. Occupam estas camadas de Tatuhy, em nossa escala geologica, o lugar entre camadas glaciaes, (grez, conglomerado e tillite), sobre as quaes assentam até camadas calcareas e de schistos argilosos com silex e caracterizadas pelo "stereosternum tumidum". O servico de campo consiste portanto em demarcar os limites das camadas de Tatuhy com o glacial de um lado e com camadas silicosas de schistos e calcareos fossiliferos, de outro lado. Entre Tatuhy e o Laranjal, forma em geral o rio Sorocaba a divisa entre schistos de Tatuhy e a formação glacial (CGG, 1917, p. 12, apud Alegri, 1984).

No relatório de CGG (1918) *apud* Alegri (1984), as "*camadas de Tatuhy*" também são designadas como "*Série Tatuhy*", demonstrando, portanto, imprecisões no tocante às considerações estratigráficas desta unidade, haja vista o conhecimento ainda incipiente verificado para a mesma.

Pacheco (1927) realizou uma descrição generalista do posicionamento das "*camadas*" que constituem a "*divisão Tatuhy*", bem como o seu conteúdo litológico e, também, o solo originado a partir dela. No segmento da BSP em que houve a realização do mapeamento especificado no referido trabalho, ela encontra sobreposta à antiga "*divisão Glacial*" e sotoposta à então denominada "*divisão Corumbatahy*". Esclarece-se ainda que ela é constituída por "*camadas de grez*" de cor predominantemente verde, apresentando tendência em formar concreções e camadas de "*schistos*" [sic] argilosos e calcários. Próximo ao seu limite superior, registra-se a presença de camadas de sílex maciço. No tocante ao solo formado a partir de suas rochas, ele geralmente exibe uma cor tipicamente vermelha em virtude da oxidação de pirita, que encontra-se mais ou menos disseminada ao longo de sua faixa de afloramentos mapeada. Entendimento similar é compartilhado por Florence & Pacheco (1929) em relação ao posicionamento de suas "*camadas*" e arcabouço litológico.

Moraes Rego (1930) descreve o posicionamento dos arenitos dessa unidade acima de depósitos originados por ação de morenas glaciares. Na sequência, destaca-se a publicação de Washburne (1930). Embora o foco central da mesma seja a investigação de potenciais áreas visando à exploração petrolífera no interior do Estado de São Paulo, ela é a responsável por categorizar, em termos litoestratigráficas, esta unidade como "*formação*", classificação esta que é seguida até os dias atuais, além de interpretar, de modo mais abrangente, que a deposição de seus sedimentos ocorreu em condições pós-glaciais.

Na década de 1940, a publicação de Barbosa & Almeida (1949) propõem a compartimentação da antiga Série Tubarão nas seguintes unidades litoestratigráficas: Formações Itu, Capivari, Gramadinho, Tietê e Itapetininga. A ordem em que elas foram citadas compreende os seus respectivos posicionamentos da base em direção ao topo. Especificamente para a unidade mais nova, os autores propuseram a sua compartimentação em Membros Tupi (inferior), Tatuí (intermediário) e Taquaral (superior). Especificamente em relação ao Membro Tatuí, com espessura total de aproximadamente 40 m, é caracterizado pela presença de arenitos finos, além de

siltitos micáceos e piritosos, concrecionados, com sílex e, em âmbito local, calcíticos. A cor verde é a predominante para as suas rochas. No que concerne ao seu conteúdo fossilífero, a publicação supracitada reporta a presença de espículas poliaxiais de esponjas silicosas, servindo como uma possível evidência de que seus litotipos sejam de origem marinha.

3.2 Segunda metade do século XX

A partir dos anos 1950 a estratigrafia do Permiano na BSP passou por grande impulso e, dentro desse contexto, insere-se a consolidação do conceito da Formação Tatuí, enquanto representante, em território paulista, do início de sua sedimentação pós-glacial.

Almeida & Barbosa (1953) especificam que o então Membro Tatuí, da Formação Itapetininga, apresenta litotipos caracteristicamente arenosos, de cor verde, com destacada estratificação plano-paralela. Em meio aos seus siltitos e arenitos, observa-se concrecionamento abundante, com colorações geralmente brancas ou amarelas. Ressalta-se, porém, que diferentemente do Membro Tupi, ao qual ele encontra-se sobreposto, nele se não se verificam evidências da atuação de geleiras, a exemplo de seixos caídos ou estrias glaciais, reforçando assim o seu caráter pós-glacial. Em linhas gerais, entre os referidos membros, há um contato geralmente transicional, que marca a passagem de uma sedimentação mais heterogênea para uma que exhibe um comportamento antagônico. Localmente, também é reportado uma camada fina de conglomerado com seixos de sílex no membro inferior marcando um episódio erosivo responsável por demarcar o contato entre ambos. Já em relação ao contato entre os Membros Tatuí e Irati, registra-se uma passagem, nem sempre brusca, dos litotipos já mencionados referente ao primeiro, para folhelhos e siltitos arenosos. Ademais, o referido trabalho calcula o valor máximo de espessura obtido para o Membro Tatuí em 64 m, mas que pode atingir 70 m em uma bela exposição de suas rochas em corte de rodovia que liga os municípios paulistas de Piracicaba e Laranjal Paulista.

A possível existência de glauconita junto às rochas siliciclásticas do referido membro “[...] *fortemente sugere para a origem desses sedimentos, ambiente marinho de águas rasas e mornas com deposição lenta em fundo lodoso, em plataforma estável*” (Almeida & Barbosa, 1953, p. 27). A presença de ocorrências de espículas poliaxiais de esponjas silicosas junto à exemplar de silito concrecionado, de cor verde

devido à provável presença de glauconita, contribuem para endossar a ideia de que a deposição tenha, de fato, ocorrido em ambiente marinho. Ademais, os autores também especificam que o Membro Tatuí possui idade atribuída ao Permiano Inferior.

Barbosa & Gomes (1958) também mantêm a designação da unidade analisada como Membro Tatuí. Eles o consideram constituído exclusivamente por rochas sedimentares de coloração verde e cujos valores de espessura oscilam entre 30 e 50 m. No que concerne a sua interpretação paleoambiental, o trabalho em questão compartilha do mesmo entendimento daquele apresentado na publicação anterior. Diferentemente do anterior, salientam que suas rochas foram originadas no Carbonífero Superior, mais precisamente no Pensilvaniano Superior.

Petri (1964) realiza uma revisão litoestratigráfica, voltado a designar, como Formação Tatuí, a unidade litoestratigráfica da BSP responsável pelo registro, em território paulista, do ciclo de sedimentação subsequente à última grande glaciação ao qual a referida bacia esteve submetida.

Rocha-Campos (1967) traz uma revisão sistemática geral do estado da arte, bem como dos aspectos geológicos regionais inerentes ao Grupo Tubarão. No que concerne especificamente à Formação Tatuí, o autor a engloba dentro do Subgrupo Guatá, pontua que a mesma apresenta litologia similar àquela descrita para a Formação Palermo, com a presença de arenitos micáceos e com pirita, exibindo cores verde e cinza, sendo também registradas intercalações dos referidos litotipos com níveis de calcário. Adicionalmente, ressalta que as estratificações cruzadas plano-paralelas são as estruturas primárias mais comuns verificadas para esta unidade. Complementarmente, refere-se a ela como sendo a sequência pós-glacial da BSP e salienta que a mesma possui valores de espessura na ordem dos 30 a 70 m.

Nos anos 1970, houve o início da realização de estudos mais abrangentes e aprofundados visando uma melhor caracterização litoestratigráfica da Formação Tatuí. Soares (1972), ao realizar o estudo das sequências glacial e pós-glacial da BSP, caracterizando as rochas desta última como constituintes da Formação Tatuí. Com em levantamentos de seções estratigráficas e descrição de amostras oriundas de poços de perfuração ao longo de todo o centro-leste paulista, propõe a sua divisão em Membro Inferior a Superior, pontuando também a existência de quatro discordâncias ao longo dela (L_1 a L_4). A sua espessura total máxima pode alcançar cerca de 70 m na região de Tatuí com progressivo adelgaçamento em direção à nordeste, com a constatação, na região de Araras, de valores situados na ordem de 25 a 30 m.

Ainda segundo Soares (1972), o seu membro mais antigo, situado entre as discordâncias L_1 e L_2 , é constituído por siltitos marrom-arroxados exibindo acamamento fino a espesso, mas raramente laminado. Ressalta-se também, nesse setor, em âmbito restrito, de arenito muito fino exibindo estratificação plano paralela. Ressalta-se ainda que camadas milimétricas a centimétricas de calcário ou sílex também são ocasionalmente observadas no referido membro. Já o Membro Superior, cujos contatos basal e de topo são representados pelas discordâncias L_2 e L_4 , é composto por um pacote de siltitos cinza-esverdeado, mas raramente verde. Entre os litotipos citados, pontua a existência de uma discordância L_3 . Nesta porção, há ainda o registro de camadas de arenito médio a muito grosso com presença de estratificações cruzadas e marcas de onda e, na região de Limeira, é descrita a presença de uma fina camada centimétrica de conglomerado e, por vezes, contendo brechas com seixos de dimensões também centimétricas.

Soares *et al.* (1973), ao realizar mapeamento geológico na região de Ribeirão Preto e, em partes do sudoeste de Minas Gerais, descrevem a ocorrência de afloramentos de siltitos arenosos maciços pertencentes à Formação Tatuí, conforme classificação estratigráfica de Soares (1972), nas proximidades de Santa Rosa do Viterbo e Cássia dos Coqueiros. Neste trabalho, é delineada a relação de contato discordante em sua base e o seu valor total de espessura está na ordem de 30 m. Há ainda arenitos muito finos amarelo-esverdeados e brancos, cujo valor é usualmente inferior a 5 m.

Soares & Landim (1973) desenvolve um importante estudo geológico de âmbito regional visando à caracterização litoestratigráfica do flanco nordeste da BSP. De modo geral, para a Formação Tatuí, a referida obra segue as descrições litológicas e de estruturas primárias já elencadas no importante trabalho de Soares (1972). Ele estima o valor de espessura dessa unidade em 100 m e a posiciona no mesmo nível estratigráfico do Grupo Guatá, sendo o correspondente, em território paulista, do mesmo ciclo de sedimentação correspondente à porção superior da Formação Rio Bonito, juntamente com a Formação Palermo, unidade cuja faixa de afloramentos ocorre exclusivamente na região Sul do Brasil. Complementarmente, os autores destacam a ausência das rochas pertencentes à Formação Tatuí em determinados segmentos da BSP, a exemplo da porção inerente ao flanco nordeste da BSP situada no nordeste paulista. Nesse setor, em substituição aos seus litotipos, registra-se a

presença de uma discordância erosiva, sendo verificado, neste nível, a presença de conglomerados.

Saad (1977) propõe a caracterização litoestratigráfica do Grupo Tubarão nas regiões Central e Sul do Estado de São Paulo. O referido autor divide o seu arranjo litológico em cinco conjuntos distintos, de “A” até “E” (da base em direção ao topo). As quatro unidades mais antigas, compostas por litotipos siliciclásticos variados, são agrupadas por ele dentro do *Subgrupo Itararé*, enquanto que aquela referente ao topo refere-se à Formação Tatuí.

Massoli (1980) realiza o mapeamento geológico da folha Santa Rita do Passa Quatro. Especificamente no diz respeito à Formação Tatuí, ele a descreve como sendo constituída por siltitos arenosos, apresentando cor vermelha, predominantemente maciços e, por vezes, exibindo um acamamento plano-paralelo incipiente. Seguindo os critérios estratigráficos adotados por Soares (1972) e Soares *et al.* (1973), ele ressalta que o membro inferior desta unidade não é constatado no interior da área por ele mapeada.

Almeida & Melo (1981) fazem uma síntese bibliográfica acerca do conhecimento até então alcançado para Formação Tatuí, além de realizar considerações acerca de sua litoestratigrafia, paleoambiente deposicional e respectiva idade. No tocante ao primeiro aspecto, os autores especificam que esta unidade é composta predominantemente por siltitos, além de arenitos, calcários, folhelhos e sílex em proporções mais restritas. Em termos de espessura, eles estimam que seu valor máximo, em superfície, pode atingir cerca de 130 m e ressaltam o caráter erosivo de seus contatos inferior e superior. Em relação ao seu conteúdo fóssilífero, descrevem como sendo constituído por moldes de conchas, fragmentos de dentes e ossos, espículas de espongiários, além de fragmentos indeterminados de placas. No que concerne aos dois aspectos últimos, consideram o paleoambiente deposicional como sendo possivelmente de origem marinha, em bacia subaquosa de energia reduzida. Além disso, esclarecem que a sua idade situa-se próxima ao limite entre os andares Kunguriano (Permiano Inferior) e Kazaniano (Permiano Médio).

Mezzalira (1981) faz importantes compilações bibliográficas acerca das unidades litoestratigráficas formalmente reconhecidas no Estado de São Paulo, incluindo, portanto, a Formação Tatuí, incluindo, nesse contexto, a sua primeira citação original, além da descrição de seus litotipos, fósseis e estruturas primárias. Ressalta-se que ele também adiciona conhecimento inédito ao abordar os valores de

espessura verificados para esta unidade, com base na observação de testemunhos de sondagem realizados pelo autor e que são oriundos do município de Conchas, adjacente a Piracicaba, os quais registram valores acima de 100 m para a unidade em questão. Ademais, em passagem própria, ressalta os locais em que ocorrem as melhores exposições de suas rochas, em áreas rurais situadas diferentes municípios do centro-leste do Estado de São Paulo, sendo que as melhores exposições situam-se em municípios das regiões de Tatuí, Piracicaba e Ribeirão Preto. Neste último caso, os afloramentos contêm menores valores de espessura em relação aos anteriores, a exemplo dos verificados em Santa Rosa do Viterbo e Cássia dos Coqueiros. Complementarmente, o autor destaca que a idade atribuída a esta unidade refere-se ao Permiano.

Ainda nos anos 1980, o trabalho de Petri & Fúlfaro (1983), ao abordar os aspectos geológicos gerais das grandes bacias intracratônicas brasileiras, para o caso específico da BSP, considera que a Formação Tatuí é a equivalente parcial das Formações Rio Bonito e Palermo, cuja faixa de afloramentos ocorre no Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Ao descrever o seu conteúdo litológico, a obra supracitada salienta que ela é composta por siltitos e arenitos micáceos, com pirita e frequentemente calcíferos. Ele também explica que junto a seus siltitos, podem existir intercalações de calcários e folhelhos.

O trabalho supracitado considera a parte superior da Formação Tatuí como sendo constituída pelo Membro Taquaral, divergindo, portanto, da atual concepção atualmente aceita. Com isso, estima, para a unidade, uma espessura aproximada de 150 m. Diferentemente das unidades presentes na região do Sul, este trabalho fez o detalhamento de fósseis encontrados em afloramentos da Formação Tatuí no interior paulista. Em relação ao seu ambiente gerador, a publicação delineia que nos flancos setentrional e oriental da BSP, a Formação Palermo, representada, em termos cronocorrelatos, pela Formação Tatuí, parece não ter apresentado uma origem marinha. Segundo Petri & Fúlfaro (1983, p. 161), sua gênese pode estar vinculada à “[...] lagoas e lagunas de planícies costeiras ou grandes corpos de água com salinidade variável (não tipicamente marinhos). Estas baixadas estariam em comunicação com o mar a oeste e sul”.

Massoli (1984) faz o mapeamento geológico da folha Pirassununga e, especificamente no que concerne às rochas do “Grupo Tatuí” presentes em seu polígono de trabalho, as descrevem como sendo constituídas por siltitos argilosos e

argilitos de cor marrom chocolate, maciços ou com acamamento plano-paralelo, registrando-se ainda esparsos grânulos e seixos predominantemente de quartzo. Em relação ao seu solo de alteração, os autores esclarecem que é argiloso, de cor vermelha e que pode ser confundido com a denominada “*terra roxa*”, tipicamente produto de alteração das rochas básicas da Formação Serra Geral, distinguindo-se desta em função de sua reduzida quantidade de magnetita. No tocante aos ensaios granulométricos por ele realizados, a maioria dos grãos oriundos das rochas siliciclásticas atribuídas ao “*Grupo Tatuí*” situou-se na fração argila.

Fúlfaro *et al.* (1984) corrobora o entendimento delineado por Petri & Fúlfaro (1983). Ademais, eles tecem importantes considerações iniciais sobre a proveniência dos sedimentos intrínsecos à Formação Tatuí, inferindo que eles sejam oriundos diretamente dos terrenos cristalinos pré-cambrianos que margeiam o flanco nordeste da BSP. Em termos litoestratigráficos, esta publicação infere, com base nos níveis conglomeráticos constatados nesta unidade, bem a existência de fósseis relativos a atuação de leque aluvial interpretado como produto do soerguimento deste setor limítrofe da referida bacia intracratônica.

A pesquisa de Stevaux *et al.* (1986), realiza o detalhamento sobre o trato deposicional inerente à Formação Tatuí a partir da utilização de técnica de análise faciológica aplicada à siltitos e conglomerados pertencentes a esta unidade. Com base em sua aplicação, os seus autores identificaram três diferentes associações faciológicas e que se encontram relacionadas, respectivamente, a ambientes deposicionais dos tipos continental marcado pela atuação de leques aluviais, transicional dominado por marés e, por fim, plataformar marinho raso. Eles também interpretam que a atividade tectônica e consequente soerguimento verificado na borda nordeste da BSP propiciaram o fornecimento, a partir do “*fan-delta de Imbacatu*”, dos sedimentos clásticos mais grosseiros e mal selecionados verificados ao menos em seu nível superior. As medições de paleocorrentes, seixos imbricados e orientações de troncos fósseis reportadas nesta publicação demonstram distribuição em leque com sentido principal do fluxo apontando aproximadamente para oeste. Em termos gerais, infere-se, com isso, que a área-fonte situa-se no quadrante oposto.

Alegri (1984), similarmente à Almeida & Melo (1981), também realizou relevantes compilações bibliográficas de diferentes unidades litoestratigráficas formais reconhecidas, todavia à nível nacional. Para a Formação Tatuí, atribui idade permiana, apresenta a sua citação original, atribuída à CGG (1917), no qual suas

rochas são designadas como “*camadas*” e esclarece que a sua faixa de afloramentos ocorre exclusivamente no Estado de São Paulo, estando a sua área-tipo situa-se na região de Tatuí, no interior paulista. Ressalta-se ainda que o seu autor elabora uma importante síntese das revisões e reposicionamentos litoestratigráficos presentes na literatura para a unidade analisada.

No que concerne aos trabalhos publicados ao longo da década de 1990, Castro *et al.* (1993) salientaram que o Grupo Guatá registra três ciclos transgressivos-regressivos de sedimentação e que a dificuldade em mapear os dois ciclos superiores em superfície no Estado de São Paulo foi o responsável por designá-los, neste trecho específico da BSP, como “*Formação Tatuí*”, tratando-a como cronocorrelacionável aos Membros Paraguaçu e Siderópolis (unidades intermediária e superior da Formação Rio Bonito) e à Formação Rio Bonito.

A publicação de Pires & Petri (1993) entende que as unidades de origem marinha pertencentes à BSP representam um megaciclo de sedimentação marcado por dois grandes ciclos de sedimentação, sendo o primeiro deles, de caráter transgressivo e posterior, de âmbito regressivo. A Formação Tatuí, em sua concepção, encontra-se associada ao primeiro ciclo mencionado, tratando-se de uma típica sequência retrogradacional. Ele salienta ainda que o topo desta coincide com o máximo avanço da transgressão marinha ao qual a BSP foi submetida. Após isso, segue-se um trato de sistemas de mar alto, no qual ocorre deposição de sedimentos são ausentes ou muito restritos, a depender do segmento da bacia analisado, no qual verifica-se a ocorrência de “*bone beds*”, marcando fisicamente o limite entre a unidade supracitada e o Membro Taquaral, situado na base da Formação Irati.

Riccomini *et al.* (1997) entende que as ocorrências de trípoli situadas, sob a perspectiva estratigráfica, nas proximidades do topo da Formação Tatuí possivelmente se originaram por influência ígnea tardia, a partir da ação de soluções hidrotermais enriquecidas em sílica, sendo que esta precipitou de modo concomitante à dissolução de carbonato em decorrência de abaixamento de temperatura. Diante do exposto, o autor atribui aos estágios finais do magmatismo responsável por gerar a Formação Serra Geral como sendo o responsável pela gênese das águas hidrotermais, o que, segundo a referida obra, permite delimitar o processo de formação desta trípoli no Cretáceo Inferior.

Assine *et al.* (1999, p. 1), ao realizar a interpretação paleoambiental referente à porção superior da Formação Tatuí, formada por diferentes níveis de arenitos

grossos a conglomerático, ricos em clastos de sílex, representa um trato de sistemas de mar alto “(...) *caracterizado pela progradação de sistemas aluviais (Ibicatu) sobre uma plataforma marinha dominada pela ação de marés*”. Na sequência, ao abordar a sua proveniência sedimentar com base na medição de paleocorrentes, constata que elas são “(...) *dirigidas para sul, medidas em arenitos das planícies aluviais e das barras de desembocadura indicam área-fonte a norte, o que é sugestivo de paleolinha de costa de costa na direção aproximada leste-oeste*”. Por fim, ele considera que o limite natural entre as Formações Tatuí e Irati representa um trato de sistemas transgressivos, representado pelo membro inferior da última unidade mencionada. Deste modo, em concordância com Pires & Petri (1993), o trabalho mencionado no presente parágrafo interpreta que a elevação do nível eustático ocasionou uma redução no aporte dos sedimentos em direção ao sítio deposicional da BSP, com o trato deposicional inerente à Formação Tatuí sendo recoberto em “*onlap*” marinho pelas fácies transgressivas do membro situado imediatamente acima de seu contato litoestratigráfico superior.

3.3 Século XXI

Na primeira década do século XXI, a publicação de Assine *et al.* (2003), seguindo o critério de compartimentação estratigráfica proposta por Soares (1972), ao estudar a faixa de afloramentos da Formação Tatuí no centro-leste paulista, identifica, para o seu Membro Superior, cinco fácies em quais foram possíveis a obtenção de dados sólidos visando à reconstituição de seus paleofluxos sedimentares e paleogeografia, a saber: “*arenitos finos com estratificação cruzada hummocky*”, “*conglomerados*”, “*arenitos seixosos com estratificação cruzada planas*”, “*arenitos com gradação normal*” e “*arenitos com estratificação cruzada sigmoidal*”. Já para Membro Inferior, não houve esse detalhamento. Assine *et al.* (2003, p. 34) explica que, no último membro mencionado, “[...] *ocorrem muito restritamente fácies com elementos passíveis de medição de paleocorrentes, já que a unidade se caracteriza como uma seção monótona de lamitos*” e que, em razão disso, esta pesquisa concentrou-se destacadamente no estudo das fácies inerentes ao membro mais novo.

Complementarmente, Assine *et al.* (2003) destaca a presença de níveis areníticos e conglomeráticos, ricos em clastos de sílex, com sendo uma importante característica diagnóstica do Membro Superior desta unidade no segmento analisado, sendo elas integrantes de um trato de sistemas de mar alto caracterizado pela

progradação de sistemas de leques costeiros (“*Ibicatu*”) sobre uma plataforma marinha dominada pela ação de marés. Há ainda, segundo os autores, um segundo nível conglomerático, situado na Formação Irati, imediatamente acima de contato com a Formação Tatuí e cuja origem é distinta do nível anteriormente citado, sendo o mesmo interpretado como depósito residual transgressivo associado ao retrabalhamento parcial dos sedimentos da Formação Tatuí por agentes marinhos costeiros, sendo, na sequência, recoberto pelos folhelhos transgressivos do Membro Taquaral da Formação Irati. Ademais, dados obtidos com base no levantamento de paleocorrentes indicam que as áreas-fontes se situam aproximadamente a N da região estudada em seu trabalho, majoritariamente para NNE, ao passo que as direções de eixos “a” de seixos contidos nos depósitos residuais do topo desta unidade indicam paleolinha de costa apresentando direção estimada E-W.

O trabalho de Perrotta *et al.* (2006), compartilhando do mesmo entendimento desta publicação e também daquele delineado por Almeida & Melo (1981), além de descrever os litotipos da Formação Tatuí, formados predominantemente por rochas siliciclásticas finas, mais precisamente siltitos e siltitos arenosos, também a considera como sendo cronocorrelata às Formações Rio Bonito e Palermo, ambas pertencentes ao Grupo Guatá. A referida obra também concorda com Almeida & Melo (1981) no tocante ao posicionamento de sua idade no intervalo no limite Kunguriano-Kazaniano. Milani *et al.* (2007), ao realizar um estudo abrangente acerca da evolução geológica da BSP, também ressalta a cronocorrelação existente entre a Formação Tatuí com as duas unidades litoestratigráficas que integram o grupo anteriormente citado.

Gimenez & Chang (2010) investigam as feições diagenéticas de arenitos da Formação Tatuí, destacando processos envolvendo a sua cimentação por sílica e carbonato, compactação mecânica, além de substituição mineral e recristalização. Esses processos refletem a interação sedimentar com fluidos durante diferentes estágios entre deposição e diagênese. Apesar de não se apresentar como temática prioritária daquela pesquisa, infere-se uma múltipla proveniência de seus sedimentos com base na composição dos grãos, incluindo quartzo monocristalino, feldspatos e fragmentos de rocha, sugerindo fontes oriundas de terrenos cristalinos e sedimentares reciclados.

A partir do Século XXI, houve notório progresso em relação aos estudos acerca dos conteúdos fossilíferos da Formação Tatuí. Na literatura, registra-se, até o presente nível de conhecimento sobre esta unidade, a ocorrência fósseis restritas ao seu

segmento de topo e que abrangem caules vegetais, mais precisamente pteridófitas e espermatófitas, bem como crustáceos, reunindo, neste caso, conchostráceos, assim como fragmentos indeterminados. Por fim, também se reporta a presença de escamas, dentes e partes ósseas de peixes. As importantes publicações de Chahud (2007, 2011), Chahud *et al.* (2012), assim como de Chahud & Petri (2009a, 2009b, 2015, 2018) reúnem contribuições detalhados e abrangentes sobre uma ou mais das tipologias fossilíferas supramencionadas.

3.4 Potencialidade econômica e tecnológica

Durante mais de um século, Formação Tatuí tem sido utilizada na região de Tatuí, interior do Estado de São Paulo, como matéria-prima para a fabricação de cerâmica vermelha (ou estrutural), com o fornecimento de produtos voltados destacadamente para a construção civil, mais precisamente telhas e tijolos. Todavia, nos últimos anos, ela vem sendo incorporada junto à massa cerâmica para a produção de revestimentos (porcelanatos) no PCSG. Importantes publicações de âmbito detalhado acerca dos aspectos tecnológicos, bem como de matérias-primas específicas desta unidade são mais recentes e encontram-se delineados a seguir.

Gaspar Junior (2003), ao estudar as características tecnológicas de diferentes litotipos da BSP na região do PCSG, e de seu embasamento, especificamente no que concerne aos siltitos pertencentes à Formação Tatuí, concluiu que as rochas não apresentam resultados satisfatórios para a indústria cerâmica de revestimento, mas apresenta viabilidade de utilização junto à indústria de cerâmica estrutural. Moreno *et al.* (2009) faz um detalhamento acerca da mineralogia constituinte de rochas pelíticas da Formação Tatuí, onde argilas são explotadas por mineradoras situadas próximas ao município de Tatuí, mais precisamente em Cesário Lange e Laranjal Paulista. Os autores constatarem a presença de quartzo, illita e feldspatos alcalinos detríticos na condição de minerais primários, enquanto que caulinita apresenta-se como mineral neoformado decorrentes de processos de intemperismo químico atuantes nos feldspatos e illita.

Tanno *et al.* (2015), a partir de um levantamento de campo realizado em empresas de mineração de argila ligadas à cerâmica vermelha na região de Tatuí, delineia um conjunto de procedimentos visando à modernização desta atividade na região supracitada, englobando as etapas de planejamento, operação e controle da produção de argila e que poderiam servir também para a modernização da estrutura

produtiva inerente às mineradoras de outras regiões paulista, bem como do país. Moreno *et al.* (2016), ao realizar a caracterização dos aspectos físico-químicos, geoquímicos, mineralógicos e cerâmicos de argilas obtidas a partir de rochas frescas aflorantes na região de Tatuí, concluíram a viabilidade em utilizá-las como fontes alternativas de matéria-prima cerâmica em relação àquelas encontradas no PCSG.

Curtolo *et al.* (2020), com base na coleta de amostras siliciclásticas pertencentes à faixa de afloramentos da Formação Tatuí na região de Rio Claro, fizeram ensaios cerâmicos, além de seus detalhamentos mineralógicos e petrográficos. Em relação às suas características cerâmicas, destaca-se o seu baixo conteúdo em Fe_2O_3 , registrando valores de massa em percentuais de óxidos inferiores a 3%, juntamente com altas concentrações de feldspatos alcalinos, frequentemente superior a 30%, bem como a razão entre SiO_2 e Al_2O_3 (3,83 a 6,90). Os ensaios cerâmicos, por sua vez, apresentaram resultados heterogêneos para os corpos de prova submetidos à queima a 1150 °C, mas, de forma geral, o material oriundo da Formação Tatuí apresenta potencial promissor no campo da fabricação cerâmica.

Na faixa de afloramentos da Formação Tatuí situadas em áreas rurais do município homônimo, Meneghel *et al.* (2022) esclarecem que as matérias-primas explotadas pelos empreendimentos minerários ali situados são constituídas por argilominerais, sendo eles formadas posteriormente à exposição em superfície das rochas, em decorrência da atuação intemperismo químico, mais especificamente através do processo de hidrólise parcial. Suas argilas são usualmente empregadas como matérias-primas para a indústria cerâmica de porcelanatos, contendo, deste modo, maiores valores agregados com comparadas àquelas constatadas no âmbito do PCSG, no qual são tradicionalmente explotadas matérias-primas de cerâmica vermelha (ou estrutural).

Christofolletti *et al.* (2023), ao fazer o detalhamento mineralógico e caracterização tecnológica de argilas plásticas e superplásticas de diferentes unidades litoestratigráficas aflorantes no Estado de São Paulo, abordam que os depósitos formados por alteração (alteritos) na Formação Tatuí resultaram da transformação mineralógica e química de sedimentos litificados, principalmente ilíticos, em caulinita e esmectita, associados à depleção de Fe_2O_3 . Por fim, os autores esclarecem que os seus sedimentos apresentam comportamento fundente e incorporam importantes características superplásticas para massas de grês porcelanato.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

No presente capítulo, serão delineados os materiais e métodos adotados para a exequibilidade desta pesquisa, com o detalhamento dos procedimentos de amostragem, petrografia, geoquímica de rocha total, geocronologia U-Pb, além da especificação dos dois parâmetros quantitativos utilizados.

4.1 Amostragem

Os levantamentos de campo visando à coleta de amostras concentraram-se junto à faixa de afloramentos da Formação Tatuí contida na área de estudo (Fig. 4-1). No total, foram obtidos 41 exemplares de rochas siliciclásticas da referida unidade, mais precisamente siltitos e arenitos, representativos de seus diferentes níveis estratigráficos. As amostras RFH-1 a RFH-39 foram submetidas à análise geoquímica, ao passo que as remanescentes, à datação U-Pb. Os dados de localização de seus pontos de coleta em termos de coordenadas geográficas e elevação, a determinação de seus posicionamentos estratigráficos seguindo os critérios estabelecidos por Soares (1972) e Assine *et al.* (2003), a descrição sucinta das amostras coletadas, bem como a finalidade da investigação conduzida a partir de suas análises individuais, encontram-se delineados na Tabela 4-1.

Em relação ao membro inferior desta unidade, as amostras obtidas integram uma seção de siltitos exibindo coloração marrom-arroxeadas a avermelhada, com boa seleção granulométrica. Em geral, eles se mostraram predominantemente maciços e, em setores mais restritos, finamente laminados. O membro superior apresenta uma maior variedade de litotipos. As amostras coletadas inerentes a este nível estratigráfico correspondem a siltitos cinza-esverdeados e amarelados, predominantemente maciços, registrando, em setores restritos, a presença de laminações plano-paralelas em caráter incipiente. Em geral, as características intrínsecas às seleções dos grãos foram similares às aquelas observadas para os litotipos constituintes do membro mais antigo.

Salienta-se ainda que, no membro superior, também foram coletados arenitos muito finos a finos apresentando coloração branco-amarelada a róseo-amarelada, sendo eles moderadamente a bem selecionados, com estrutura predominantemente maciça. Especificamente no afloramento no qual houve a coleta da amostra RFH-14, que se trata de um arenito muito fino amarelado, foi observada a presença de ritmito

caracterizado pela típica alternância entre as camadas maciças da referida rocha a outras contendo siltito arenoso cinza-esverdeado. A Fig. 4-2 apresenta as variedades de litotipos siliciclásticos coletadas no desenvolvimento dos trabalhos de campo realizados no setor nordeste do AEP. Já o detalhamento da região onde foram coletadas as amostras para a datação U-Pb pode ser verificado na Fig. 4-3.

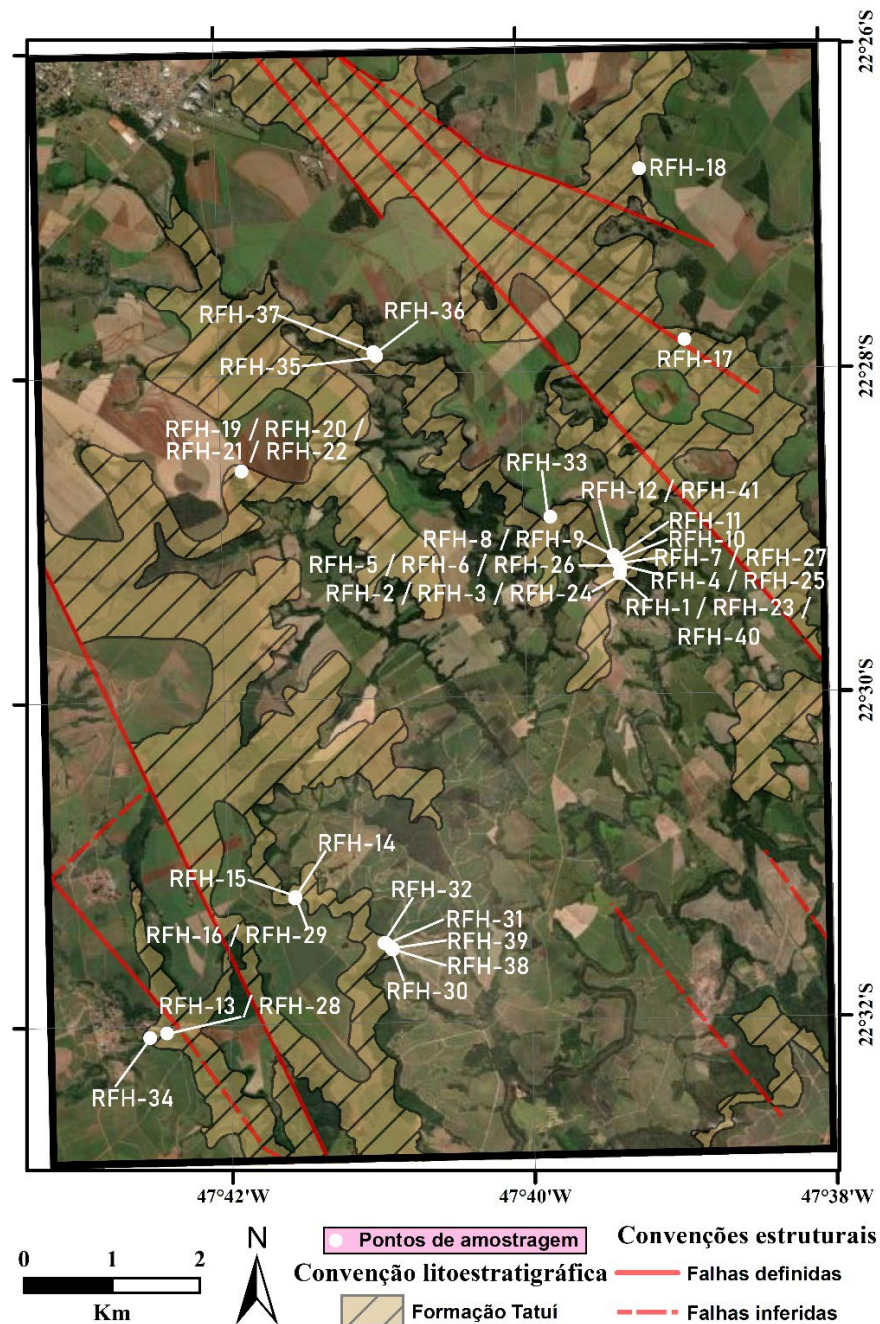


Figura 4-1: Imagem da área de estudo obtida através do satélite “Sentinel-1”, resolução de 60 m, destacando a localização da área correspondente à faixa de afloramentos da Formação Tatuí (Sousa, 2002) e a distribuição espacial dos pontos de amostragem.

Tabela 4-1: Localização dos pontos de amostragem, elevação e breve descrição das rochas coletadas.

Amostra	Localização	Elevação (m)	Posicionamento Estratigráfico	Breve descrição	Finalidade da investigação
	Latitude (S) – Longitude (W)				
Análise geoquímica					
RFH-1	22°29'15" – 47°39'22"	591	Membro Inferior	Siltito arenoso	Interação rocha-água
RFH-2	22°29'15" – 47°39'22"	592	Membro Inferior	Siltito arenoso	Interação rocha-água
RFH-3	22°29'15" – 47°39'22"	592	Membro Inferior	Siltito arenoso	Interação rocha-água
RFH-4	22°29'13" – 47°39'22"	610	Membro Superior	Siltito arenoso	Interação rocha-água
RFH-5	22° 29'12" – 47°39'22"	612	Membro Superior	Arenito muito fino	Interação rocha-água
RFH-6	22° 29'12" – 47°39'22"	612	Membro Superior	Siltito arenoso	Fonte- sumidouro
RFH-7	22°29'12" – 47°39'23"	614	Membro Superior	Arenito muito fino	Fonte- sumidouro
RFH-8	22°29'10" – 47°39'23"	623	Membro Superior	Arenito muito fino	Interação rocha-água
RFH-9	22°29'10" – 47°39'23"	623	Membro Superior	Arenito fino	Interação rocha-água
RFH-10	22°29'10" – 47°39'24"	625	Membro Superior	Arenito fino	Interação rocha-água
RFH-11	22°29'09" – 47°39'24"	630	Membro Superior	Arenito muito fino	Interação rocha-água
RFH-12	22°29'09" – 47°39'24"	631	Membro Superior	Siltito arenoso	Investigação fonte- sumidouro
RFH-13	22°32'03" – 47°42'25"	509	Membro Superior	Siltito arenoso	Interação rocha-água
RFH-14	22°31'13" – 47°41'33"	594	Membro Superior	Arenito muito fino	Investigação fonte- sumidouro
RFH-15	22°31'13" – 47°41'34"	596	Membro Superior	Arenito muito fino	Interação rocha-água
RFH-16	22°31'14" – 47°41'33"	600	Membro Superior	Arenito fino	Interação rocha-água
RFH-17	22°27'49" – 47°38'55"	526	Membro Superior	Siltito médio	Interação rocha-água
RFH-18	22°26'46" – 47°39'12"	573	Membro Superior	Siltito arenoso	Interação rocha-água
RFH-19	22°28'38" – 47°39'32"	610	Membro Superior	Arenito muito fino	Interação rocha-água
RFH-20	22°28'38" – 47°39'32"	610	Membro Superior	Arenito muito fino	Interação rocha-água

Amostra	Localização	Elevação (m)	Posicionamento Estratigráfico	Breve descrição	Finalidade da investigação
	Latitude (S) – Longitude (W)				
RFH-21	22°28'38" – 47°39'32"	610	Membro Superior	Arenito muito fino	Interação rocha-água
RFH-22	22°28'38" – 47°39'32"	610	Membro Superior	Arenito muito fino	Interação rocha-água
RFH-23	22°29'15" – 47°39'22"	591	Membro Inferior	Siltito médio	Interação rocha-água
RFH-24	22°29'15" – 47°39'22"	592	Membro Inferior	Siltito arenoso	Interação rocha-água
RFH-25	22°29'13" – 47°39'22"	610	Membro Superior	Siltito médio	Interação rocha-água
RFH-26	22° 29'12" – 47°39'22"	612	Membro Superior	Arenito fino	Interação rocha-água
RFH-27	22°29'12" – 47°39'23"	614	Membro Superior	Siltito médio	Interação rocha-água
RFH-28	22°32'03" – 47°42'25"	509	Membro Superior	Siltito arenoso	Investigação fonte- sumidouro
RFH-29	22°31'14" – 47°41'33"	600	Membro Superior	Arenito fino	Interação rocha-água
RFH-30	22°31'33" – 47°40'55"	575	Membro Inferior	Siltito arenoso	Investigação fonte- sumidouro
RFH-31	22°31'31" – 47°40'57"	588	Membro Superior	Arenito muito fino	Interação rocha-água
RFH-32	22°31'31" – 47°40'58"	591	Membro Superior	Arenito fino	Interação rocha-água
RFH-33	22°28'54" – 47°39'49"	609	Membro Superior	Siltito arenoso	Investigação fonte- sumidouro
RFH-34	22°32'04" – 47°42'32"	504	Membro Superior	Siltito médio	Interação rocha-água
RFH-35	22°27'53" – 47°40'57"	592	Membro Superior	Arenito fino	Interação rocha-água
RFH-36	22°27'53" – 47°40'58"	594	Membro Superior	Siltito arenoso	Interação rocha-água
RFH-37	22°27'52" – 47°40'58"	599	Membro Superior	Siltito médio	Interação rocha-água
RFH-38	22°31'33" – 47°40'55"	573	Membro Inferior	Siltito arenoso	Investigação fonte- sumidouro
RFH-39	22°31'33" – 47°40'55"	575	Membro Inferior	Siltito arenoso	Investigação fonte- sumidouro
Datação geocronológica U-Pb					
RFH-40	22°29'09" - 47°39'24"	630	Membro Inferior	Siltito arenoso	Investigação fonte- sumidouro

Amostra	Localização	Elevação (m)	Posicionamento Estratigráfico	Breve descrição	Finalidade da investigação
	Latitude (S) – Longitude (W)				
RFH-41	22°29'15"- 47°39'22"	591	Membro Superior	Siltito arenoso	Investigação fonte- sumidouro

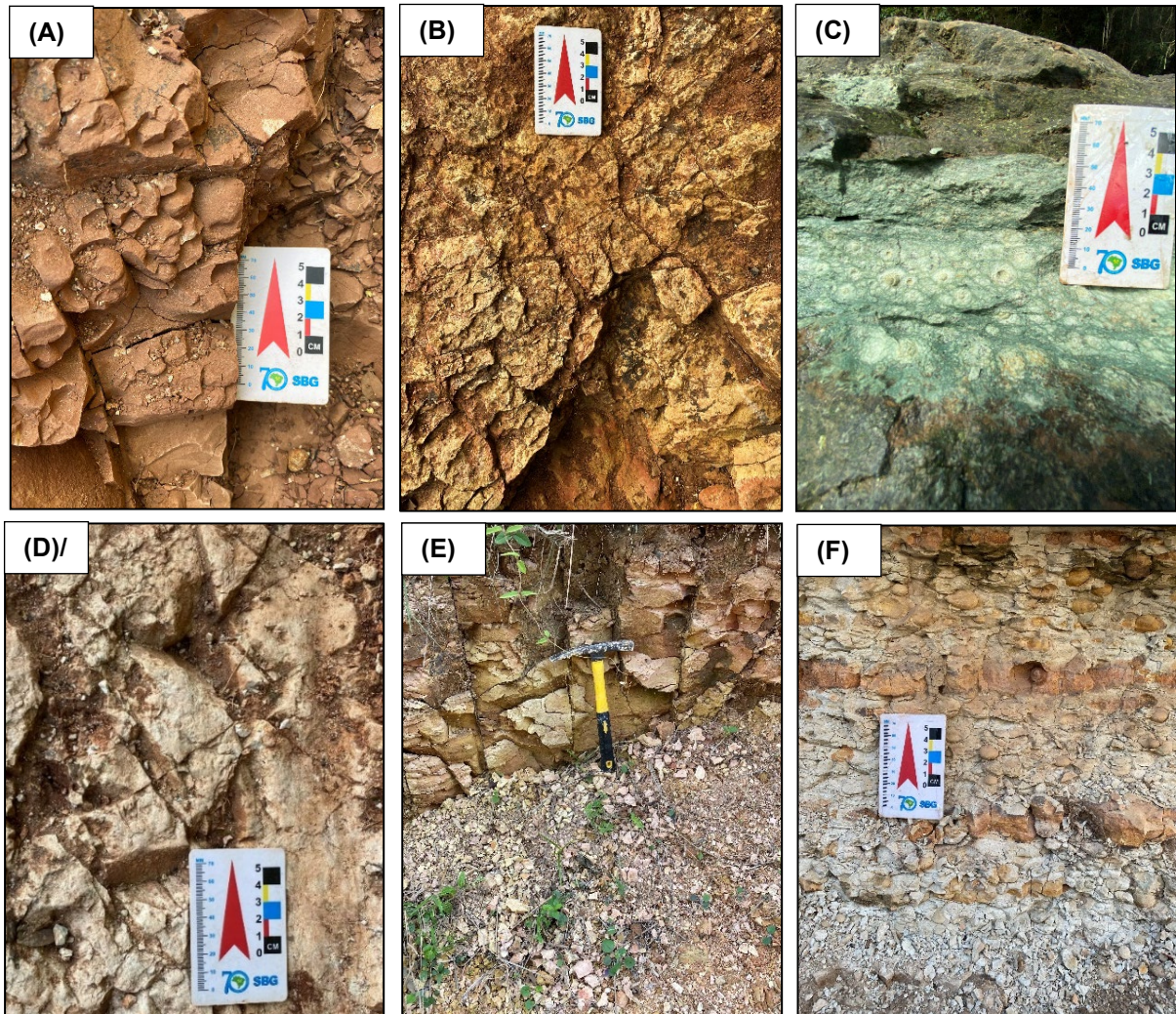


Figura 4-2: Fotografias de afloramentos contendo as variedades de litotipos siliciclásticos da Formação Tatuí coletados a partir dos levantamentos de campo realizados: siltitos marrom-arroxeados (RFH-1) (A), amarelado (RFH-12) (B), cinza-esverdeado contendo concreções pisolíticas centimétricas (RFH-28) (C); arenitos branco-amarelado muito fino (RFH-8) (D) e róseo-amarelado fino (RFH-35) (E). Salienta-se ainda a presença, no local em houve a coleta de arenito fino referente à amostra RFH-14, a presença de um ritmito, conforme pode ser verificado na fotografia (F). Ele apresenta alternância entre bandas centimétricas do referido arenito com outras relativas a siltito acinzentado. A amostra RFH-2 refere-se ao membro inferior da unidade litoestratigráfica que representa o escopo do presente trabalho, ao passo que as demais pertencem ao seu membro superior.

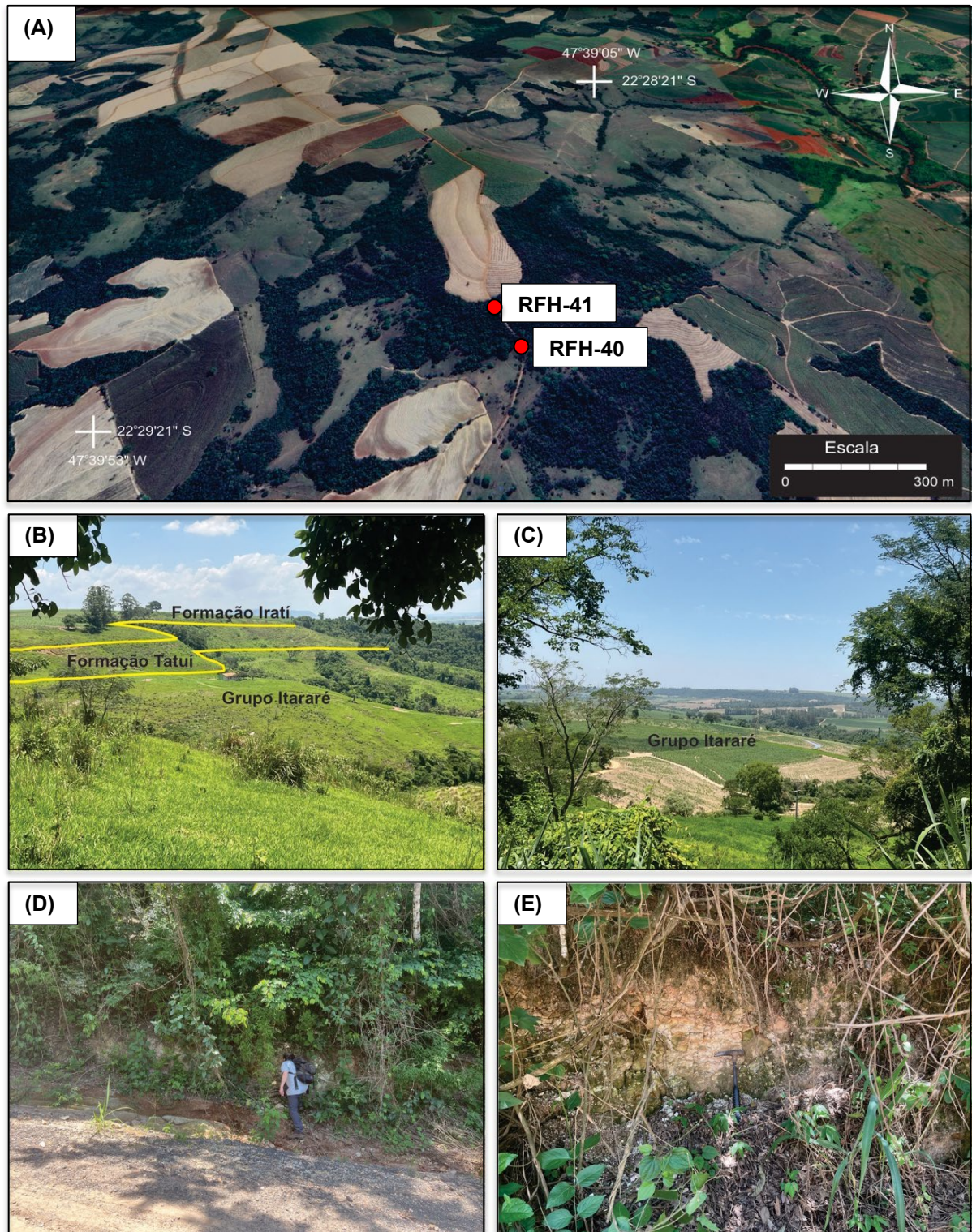


Figura 4-3: Visão geral da paisagem onde amostras foram coletadas para geocronológicas U-Pb (imagem do Google Earth Pro — junho de 2024) (A). Contatos geológicos entre os Grupos Itararé e as Formações Tatuí e Irati na área de estudo (B). Bacia do Rio Passa Cinco na área de estudo onde afloram rochas do Grupo Itararé (C). Afloramento da Formação Tatuí onde a amostra RFH-40 foi coletada (D). Em detalhe, o siltito arenoso corresponde à amostra RFH-41 (E).

Esclarece-se que não foram realizadas análises granulométricas para as amostras coletadas após a desintegração delas. Deste modo, a classificação das mesmas pautou-se exclusivamente com base em critérios de reconhecimento em campo, incluindo a utilização de escala granulométrica durante o processo de obtenção delas junto aos seus respectivos afloramentos.

Com a finalização dos levantamentos de campo, as amostras obtidas junto aos afloramentos da Formação Tatuí foram designadas a procedimentos laboratoriais que são melhor detalhados nos três tópicos subsequentes.

4.2 Petrografia

Após a conclusão dos trabalhos de campo, com a finalidade de realizar o detalhamento da composição mineralógica, bem como dos aspectos texturais e estruturais dos siltitos e arenitos da Formação Tatuí, foram confeccionadas 12 lâminas delgadas no Laboratório de Laminação do Departamento de Geologia, do IGCE, UNESP de Rio Claro, e que correspondem às amostras RFH-4, RFH-5, RFH-6, RFH-7, RFH-12, RFH-13, RFH-15, RFH-17, RFH-21, RFH-23, RFH-24 e RFH-37, submetidas a diferentes intensidade de intemperismo químico. A petrografia das lâminas foi efetuada por meio de microscópio petrográfico da marca *Zeiss*, modelo *Axioskop 40*, com a utilização de lentes objetivas apresentando aumentos de 10 e 20 vezes, instalado no Laboratório de Geoquímica Ambiental, pertencente ao Departamento de Geografia e Planejamento Ambiental (DGPA), do IGCE.

Os arranjos mineralógicos, bem como as relações texturais e de estruturas verificadas microscopicamente junto ao arcabouço, matriz e cimento das rochas analisadas foram fotografadas através de câmera fabricada pela empresa *Zeiss*, modelo *AxioCam ERc5s*, sendo elas salvas e editadas através do *software AxioVision*, versão 4.8. As abreviações adotadas para os minerais analisados seguiram, quando possível, a nomenclatura proposta por Kretz (1983), foram feitos com base na utilização do *software Adobe Illustrator*, versão 26.1.3. Os eventuais ajustes finos feitos junto ao contraste e nitidez das imagens geradas foram nelas implementados com o uso do *software Adobe Photoshop*, versão 13.0. As fotografias e respectivas descrições petrográficas inerentes a cada uma das referidas lâminas foram organizadas sob a forma de tabelas.

4.3 Geoquímica de rocha total

A análise geoquímica de rocha total para as 39 amostras (RFH-1 a RFH-39) coletadas na Formação Tatuí foi realizada no Laboratório Geoquímico da empresa SGS Geosol – *Laboratórios Ltda*, sediada em Vespasiano, na região metropolitana de Belo Horizonte, estado de Minas Gerais, através da contratação do pacote comercialmente intitulado “*ICP95A / IMS95A*”. No total, 46 elementos químicos foram quantificados, incluindo, nesse conjunto, os principais óxidos, elementos traços e elementos terras raras (ETR), a partir da fusão de 0,1 g de rocha pulverizada por metaborato de lítio.

Para os principais óxidos (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 , CaO , MgO , K_2O , Na_2O , P_2O_5 e MnO) e cinco elementos traços (Ba, Sr, V, Zn e Zr) a quantificação foi feita através de espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (*ICP OES*), com limite de detecção de 0,01% e 0,5 ppm, respectivamente. Já os demais elementos traços (Co, Ni, Cu, Ga, Rb, Y, Nb, Sn, Cs, Hf, Ta, Th e U) e ETRs (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb e Lu) foram quantificados por espectrometria de massa com plasma indutivamente acoplado (*ICP MS*), com limite de detecção variando entre 0,02 e 5 ppm (SGS, 2023a,b; Potts *et al.*, 1992). A determinação da perda de peso da amostra por ignição, abreviada, em língua inglesa como “*LOI*”, deu-se a partir da contração do pacote comercial “*PHY01E*” junto à empresa responsável pela condução da análise geoquímica (SGS, 2023c). Durante a sua realização, houve o aquecimento da amostra a 1000 °C por 4 h, resultando em perda de voláteis, destacadamente vapor de água e dióxido de carbono. O valor do *LOI* foi obtido com base na diferença de massa da amostra analisada antes e após aquecê-la.

4.4 Geocronologia U-Pb

Para realizar a geocronologia U-Pb, inicialmente houve a separação de cristais de zircão contidos como minerais acessórios juntos às amostras RFH-40 e RFH-41, obtidas respectivamente junto aos níveis de base e topo da Formação Tatuí. Esse procedimento preliminar foi conduzido no Laboratório de Preparação de Amostras Pedológicas e Geológicas (LAPEGE) do DG. O procedimento inicial para realizar a separação dos cristais de zircão consistiu na britagem de aproximadamente 20 kg de cada amostra, com posterior peneiramento para que haja a seleção de partículas com

frações entre 180 e 270 mesh. Posteriormente, houve bateamento mecanizado de modo a concentrar os minerais mais densos, com a posterior secagem por aquecimento com lâmpada incandescente. Na continuidade, ocorreu o descarte de minerais com propriedades magnéticas através do separador isodinâmico "*Frantz LB1*". Os cristais remanescentes foram segregados por densidade utilizando bromofórmio, acompanhada pela secagem dos minerais com densidade superior a este líquido. Por fim, a seleção manual dos cristais de zircão foi feita com o uso de lupa binocular adotando, como critérios, as suas dimensões e hábitos (Strong & Driscoll, 2016; Azevedo, 2021).

Os grãos de zircão foram destinados ao Laboratório de Preparação de Amostras e Caracterização de Materiais, localizado no Instituto de Geociências (IG), da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) para geocronologia U-Pb. Para a obtenção das idades de cristalização e eventos posteriores, houve a utilização de ablação a laser associada à espectrometria de massa com plasma indutivamente acoplado (LA ICP MS), através do equipamento da empresa "*Thermo*", modelo "*Element XR*", com sistema de ablação a laser fabricado pela "*Photon Machine*", modelo "*Excite 193*".

O cálculo referente à idade do zircão analisado foi feito com base nos valores de razões isotópicas de $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ e $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$, tornando-se possível a elaboração de uma isócrona (Wetherill, 1956), com margem de erro inerente às idades exibindo confiabilidade de 95 % (Davis *et al.*, 1982). No que concerne às constantes de decaimento adotadas e as composições isotópicas de urânio, elas seguiram as recomendações propostas com base em Steiger & Jäger (1977). Para processamento dos dados, houve a utilização do software "*IOLITE*", versão 4, adotando-se o valor de $137,818 \pm 0,045$ para a razão isotópica entre ^{238}U e ^{235}U (Davis *et al.*, 1982; Paton *et al.*, 2010).

No total, foram analisados 151 minerais, com a execução de 181 análises pontuais, sendo que 30 delas foram desconsideradas, por terem sido realizadas em núcleos contendo imperfeições que pudessem comprometer a correta interpretação de suas idades de cristalização, sendo consideradas, para esses casos, as leituras complementares feitos em posições mais afastadas desse setor. Adicionalmente, outras 6 idades foram desconsideradas para as discussões posteriores, tendo em vista que seus respectivos percentuais de concordância situam-se fora do intervalo de 90 a 110%.

4.5 Índice de Alteração Química e balanço de massa

Em relação aos processos intempéricos atuantes nas áreas fontes e nas rochas aflorantes da Formação Tatuí, foram usados diversos diagramas geoquímicos, bem como o Índice de Alteração Química (*Chemical Index of Alteration* – CIA, Nesbitt & Young, 1982, 1984) (Equação 4-1), possibilitando determinar a intensidade do intemperismo químico pretérito e atual. Salienta-se que os cálculos foram realizados seguindo as instruções propostas nos trabalhos anteriormente citados, bem como em observância às especificações de McLennan *et al.* (1993) e Fedo *et al.* (1995).

$$CIA = [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO^* + Na_2O + K_2O)] \times 100 \quad (4-1)$$

Onde: Al_2O_3 , CaO^* , Na_2O e K_2O são às proporções molares Al_2O_3 , CaO^* , Na_2O e K_2O , sendo que CaO^* representa os valores de CaO restrito aos minerais silicáticos.

Segundo esclarece Tole (1985), o Zr apresenta uma baixa solubilidade em soluções aquosas, cujos valores oscilam entre 0,82 e $1,27 \times 10^{-13}$ mol/m²/s entre as temperaturas de 25 °C e 80 °C, respectivamente. Desde modo, o elemento em questão pode ser utilizado como referencial padrão para o estabelecimento de comparações acerca de enriquecimento ou depletação que ocorrem no decorrer dos processos de intemperismo químico, sendo ele utilizado em relevantes trabalhos que abordam essa temática, a exemplo de Mathieu *et al.* (1995), Letkeman *et al.* (1996), Conceição & Bonotto (2006) e Meneghel *et al.* (2022). Para a quantificação do Fator de Enriquecimento (FE), quatro variáveis independentes foram utilizadas e correspondem às concentrações médias dos elementos analisados e do Zr nas rochas alteradas ($C_{e,c}$ e $C_{Zr,c}$, respectivamente) em quatro classes progressivas de CIA, além das concentrações dos mesmos elementos na amostra de rocha fresca coleta que foi submetida a menor intensidade de intemperismo químico ($C_{e,p}$ e $C_{Zr,p}$) (Equação 4-2).

$$FE = (C_{e,c} / C_{Zr,c}) / (C_{e,p} / C_{Zr,p}) \quad (4-2)$$

Salienta-se, por fim, que a compartimentação das amostras selecionadas para o propósito acima delineado foi realizada com base em seus respectivos valores de CIA, variando entre 70 e 90. A primeira classe compreende amostras com valores iguais ou superiores a 70 e inferiores a 75, sendo as demais organizadas sucessivamente em intervalos iguais, até a última classe, que abrange os exemplares cujos valores são iguais ou superiores a 85 e inferiores a 90.

5 RESTRIÇÕES GEOQUÍMICAS E GEOCRONOLÓGICAS NO SISTEMA FONTE-SUMIDOURO DA FORMAÇÃO TATUÍ

Restrições geoquímicas e geocronológicas relativas à Formação Tatuí, fundamentadas com base nas onze amostras de rochas frescas já especificadas no capítulo anterior, separadas das demais a partir das descrições feitas e menores valores de CIA, fornecem uma base empírica sólida para a compreensão acerca da proveniência de seus sedimentos, sua localização paleogeográfica, as condições intempéricas passadas e a especificação do intervalo de idades relativos aos cristais de zircão analisados. Assim, este Capítulo apresenta os resultados e discussões dos resultados geoquímicos e geocronológicos dos exemplares da Formação Tatuí supramencionados, permitindo uma análise abrangente sobre seu sistema fonte-sumidouro.

5.1 Geoquímica de rochas frescas

Os resultados das análises geoquímicas em rocha total para os elementos maiores e traços, bem como os elementos terras raras, encontram-se nas Tabelas 5-1 e 5-2, respectivamente. A concentração dos elementos maiores foi de $74,16 \pm 0,94$ % para SiO_2 , $11,50 \pm 0,77$ % para Al_2O_3 , $2,25 \pm 0,83$ % para Fe_2O_{3T} , $3,20 \pm 1,28$ % para Na_2O , $1,90 \pm 0,49$ % para K_2O , $1,25 \pm 0,56$ % para MgO , $0,48 \pm 0,25$ % para CaO , $0,05 \pm 0,4$ % para MnO , $0,31 \pm 0,10$ % para TiO_2 , $0,02 \pm 0,01$ % para P_2O_5 .

Os valores de LOI situaram-se entre 2,88 e 5,46 %, com valor médio de $4,11 \pm 0,80$ %. As maiores concentrações médias dos elementos traços foram de $536,6 \pm 192,0$, $122,6 \pm 55,8$, $98,1 \pm 7,3$ e $69,4 \pm 15,9$ ppm para Ba, Sr, Zr e Rb, respectivamente. As concentrações médias de U e Th foram de $1,7 \pm 0,4$ e $3,5 \pm 0,6$ ppm, respectivamente, com a razão Th/U de $2,1 \pm 0,5$. Para os elementos terras raras, a concentração média da somatória foi de $183,8 \pm 20,3$ ppm. Ainda, há enriquecimento dos elementos terras raras leves ($161,5 \pm 5,0$ ppm) em relação as pesadas ($22,2 \pm 0,9$ ppm), com média da razão La/Lu de $105,6 \pm 5,9$.

Visando determinar a composição dos protólitos na área-fonte, foram utilizados os diagramas binários Al_2O_3 vs. TiO_2 e TiO_2 vs. Zr (Hayashi *et al.*, 1997), além do diagrama de proveniência de Roser & Korsche (1988). Este último, diferentemente dos anteriores, possui o “*campo das rochas sedimentares quartzosas*”, atribuído aos exemplares submetidos a eventos de reciclagem sedimentar posterior à cristalização.

Tabela 5-1: Valores de concentração dos elementos maiores (expressos em percentuais de peso de seus respectivos óxidos) para as amostras de rochas sedimentares frescas da Formação Tatuí.

Oxido	RFH-5	RFH-6	RFH-7	RFH-8	RFH-12	RFH-14	RFH-28	RFH-30	RFH-33	RFH-38	RFH-39
SiO ₂	74.80	74.75	73.44	73.20	75.99	74.29	73.89	72.82	74.38	73.27	73.27
Al ₂ O ₃	11.31	10.67	12.53	11.36	10.07	10.86	11.78	12.57	11.84	11.53	12.00
Fe ₂ O ₃	1.26	1.76	1.46	2.03	1.34	2.94	2.00	3.16	2.41	3.87	2.53
TiO ₂	0.23	0.27	0.18	0.27	0.25	0.51	0.25	0.36	0.25	0.47	0.36
CaO	0.54	0.38	0.77	0.25	0.26	0.99	0.39	0.44	0.29	0.27	0.75
MgO	0.69	0.94	1.24	0.64	0.71	1.60	1.16	1.85	1.46	2.47	2.47
K ₂ O	1.67	1.90	1.33	1.36	1.20	1.87	2.30	2.35	2.15	2.78	1.95
Na ₂ O	3.62	2.80	4.31	5.22	4.58	1.24	3.72	2.85	2.53	1.17	3.13
P ₂ O ₅	0.05	0.01	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01	0.03
MnO	0.04	0.03	0.02	0.13	0.05	0.08	0.09	0.03	0.03	0.02	0.08
LOI	4.69	4.88	4.58	4.09	3.86	5.46	3.93	3.03	4.44	3.37	2.88
Soma	98.90	98.39	99.88	98.58	98.33	99.85	99.53	99.47	99.80	99.50	99.45

Tabela 5-2: Valores de concentração dos elementos traços e elementos terras raras (ppm) para as amostras de rochas sedimentares frescas da Formação Tatuí.

Elementos	RFH-5	RFH-6	RFH-7	RFH-8	RFH-12	RFH-14	RFH-28	RFH-30	RFH-33	RFH-38	RFH-39
Elementos traços											
V	10.0	17.0	13.0	12.0	14.0	18.0	15.0	19.0	17.0	13.0	15.0
Co	2.0	3.4	2.2	10.8	4.6	8.2	4.4	2.9	2.8	6.1	4.2
Ni	12.0	6.0	6.0	8.0	6.0	17.0	14.0	12.0	14.0	10.0	17.0
Cu	6.0	7.0	10.0	13.0	6.0	15.0	9.0	5.0	8.0	7.0	6.0
Zn	10.0	15.0	20.0	18.0	13.0	13.0	14.0	15.0	24.0	15.0	17.0
Ga	10.8	14.1	12.5	15.1	11.9	13.7	14.4	15.4	14.9	11.8	11.7
Rb	66.5	67.3	49.1	56.8	48.4	81.5	95.6	90.6	62.2	81.6	63.6
Sr	75.0	83.0	123.0	97.0	112.0	97.0	109.0	208.0	119.0	76.0	250.0
Y	23.0	31.4	44.3	24.9	35.3	24.3	39.9	30.0	37.2	16.3	29.4
Zr	103.0	85.0	102.0	97.0	99.0	87.0	104.0	107.0	94.0	106.0	95.0
Nb	10.1	14.1	20.3	13.6	11.7	10.7	14.4	13.9	14.3	12.9	14.9
Sn	3.4	3.4	4.7	3.2	2.3	2.1	1.4	1.5	2.7	1.3	1.2
Cs	2.7	5.7	1.9	1.0	0.6	6.3	4.4	3.7	3.2	5.5	2.6
Ba	477.0	380.0	306.0	677.0	702.0	326.0	743.0	627.0	325.0	490.0	850.0
Hf	7.0	8.3	7.4	8.0	7.9	8.8	7.0	8.5	6.3	6.4	9.4
Ta	0.9	1.1	1.7	1.1	1.0	0.8	0.8	0.8	0.7	0.8	1.2
Th	2.3	4.3	4.4	3.4	3.5	3.9	3.8	3.3	3.1	3.8	3.2
U	1.2	2.3	2.3	1.7	1.8	1.9	1.5	1.6	1.3	1.6	1.5
Elementos terras raras											
La	51.9	49.1	49.8	52.0	49.6	57.5	60.2	39.8	43.4	62.5	44.7
Ce	37.0	52.2	64.5	61.4	57.7	55.5	48.1	61.0	58.1	56.6	67.8
Pr	4.7	6.7	12.6	7.2	4.8	8.6	15.5	17.1	10.2	4.1	10.2
Nd	18.9	45.2	37.8	37.4	39.2	38.2	34.8	44.7	38.0	35.7	39.5
Sm	4.2	4.9	9.5	5.7	5.4	3.8	11.5	11.9	7.3	2.6	7.7
Eu	0.5	0.8	1.0	0.8	0.8	0.7	1.6	1.6	0.9	0.5	1.1
Gd	3.9	5.1	8.5	5.0	6.8	3.5	10.0	8.5	6.9	3.0	7.4
Tb	0.7	0.8	1.4	0.8	1.2	0.6	1.6	1.4	1.0	0.4	1.0
Dy	4.2	5.2	8.5	5.1	7.4	4.0	8.9	7.5	6.8	3.5	6.1
Ho	0.9	1.2	1.7	1.1	1.4	0.8	1.7	1.2	1.3	0.6	1.1
Er	2.7	3.7	5.3	3.4	4.0	2.4	4.9	3.2	3.9	2.0	3.1
Tm	0.4	0.5	0.8	0.6	0.5	0.4	0.7	0.4	0.5	0.2	0.4
Yb	2.5	3.3	5.0	3.5	3.6	2.7	4.6	3.1	3.6	2.1	3.4
Lu	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.4	0.4	0.6	0.4
ΣREE	132.9	179.2	206.9	184.4	182.9	179.2	204.5	201.8	182.2	174.4	193.9
La/Lu	103.8	111.6	99.6	96.3	103.3	115.0	102.0	113.7	103.3	104.2	109.0

O comportamento caracteristicamente imóvel verificado para determinados elementos químicos ao longo do ciclo sedimentar, a exemplo daqueles delineados na Fig. 5-1, permitem com os mesmos sejam utilizados visando à obtenção de informações acerca das características geoquímicas presentes junto à área-fonte (Mason & Morre, 1982; Bhatia, 1983; Bhatia & Crook, 1986; McLennan *et al.*, 1993; Albarède, 2009). Os elementos contidos nos dois diagramas apresentados na Fig. 5-1 inserem-se nesse contexto. Ambos mostram que a provável composição das áreas-fontes das rochas da Formação Tatuí seria derivada de rochas félsicas. Em relação ao diagrama TiO_2 vs. Zr (Fig. 5-1B), duas amostras encontram-se dispostas no campo pertencentes às rochas ígneas intermediárias, mas na região próxima ao limite com o campo no qual encontram as amostras majoritárias.

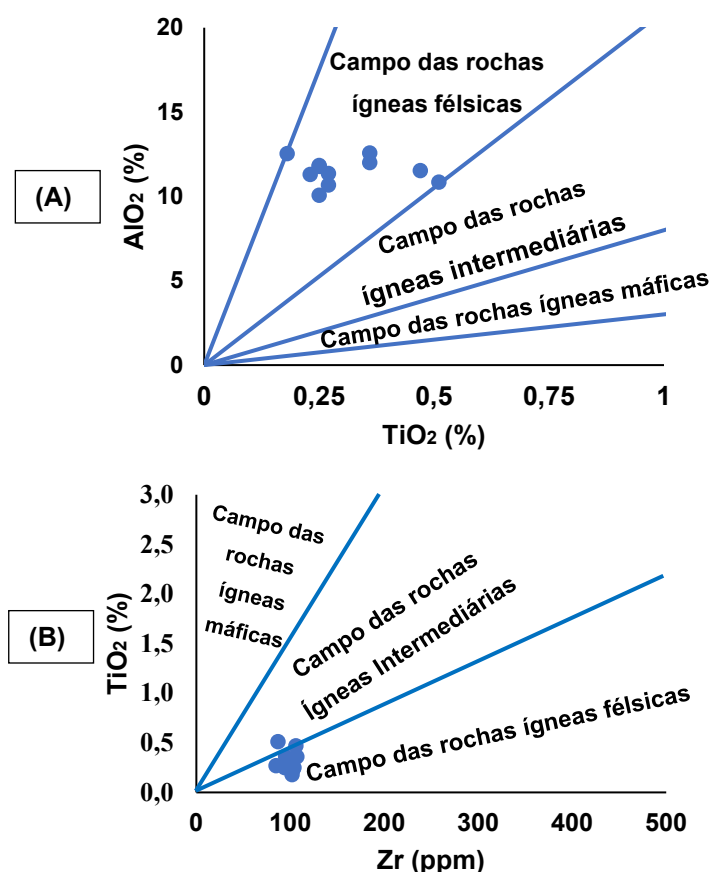


Figura 5-1: Diagramas Al_2O_3 vs. TiO_2 (A) e TiO_2 vs. Zr (B) (Hayashi *et al.*, 1997) relacionados à composição dos protólitos associados às áreas fontes das rochas da Formação Tatuí.

Para os dados plotados no diagrama utilizado por Roser & Korsche (1988), não houve um claro predomínio no tocante ao campo de proveniência, haja vista que de todas as amostras analisadas, 6 delas encontram-se inseridas no campo relativo às rochas sedimentares quartzosas (cerca de 55% do conjunto total), ao passo que as demais estão contidas naquele referente às rochas ígneas félsicas (Fig. 5-2).

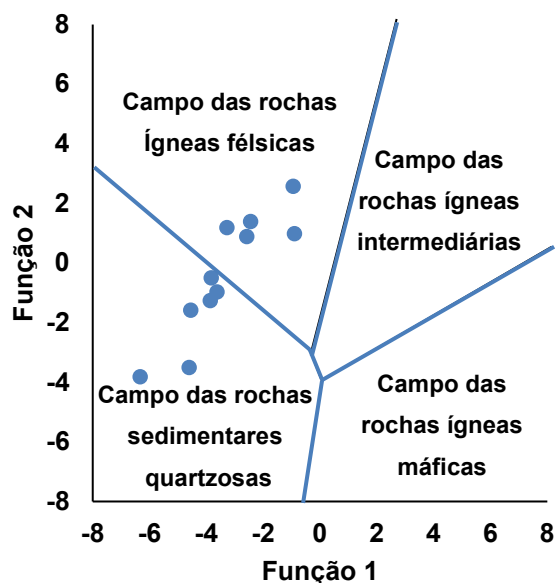


Figura 5-2: Diagramas de proveniência sedimentar para análise geoquímica de rochas com contribuições biogênicas ausentes ou escassas. As equações inerentes às funções 1 e 2, contidas respectivamente nos eixos das abscissas e ordenadas, são os seguintes: Função 1 = $-1,773 \cdot \text{TiO}_2 + 0,607 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 + 0,76 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 - 1,5 \cdot \text{MgO} + 0,616 \cdot \text{CaO} + 0,509 \cdot \text{Na}_2\text{O} + 1,224 \cdot \text{K}_2\text{O} - 9,09$; Função 2 = $0,445 \cdot \text{TiO}_2 + 0,07 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 - 0,25 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 - 1,142 \cdot \text{MgO} + 0,438 \cdot \text{CaO} + 1,475 \cdot \text{Na}_2\text{O} + 1,426 \cdot \text{K}_2\text{O} - 6,861$ (extraído de Roser & Korsche, 1988).

Em relação aos processos intempéricos atuantes na área-fonte da Formação Tatuí, os valores de CIA variam entre 51,9 e 60,8, com média de $56,9 \pm 3,3$, notando-se, com isso, uma clara prevalência dos processos de intemperismo físico em relação ao químico (Nesbitt & Young, 1982, 1984). As amostras contendo valores, para o parâmetro supramencionado, situados entre 50 a 60, de um modo geral, estiveram submetidas a atuação de intemperismo química incipiente (Nesbitt & Young, 1982; Fedo *et al.*, 1995; Selvaraj & Chen, 2006; Négrel *et al.*, 2022). Ainda, dados geoquímicos plotados no diagrama binário concebido originalmente por Suttner & Dutta (1986) permite identificar que as condições paleoclimáticas durante os processos de intemperismo das rochas inerentes à área-fonte eram semiáridas, com

baixa maturidade química (Fig. 5-3). Ressalta-se, porém, que este gráfico apresenta importante limitação que será melhor discutida no subtópico final deste capítulo.

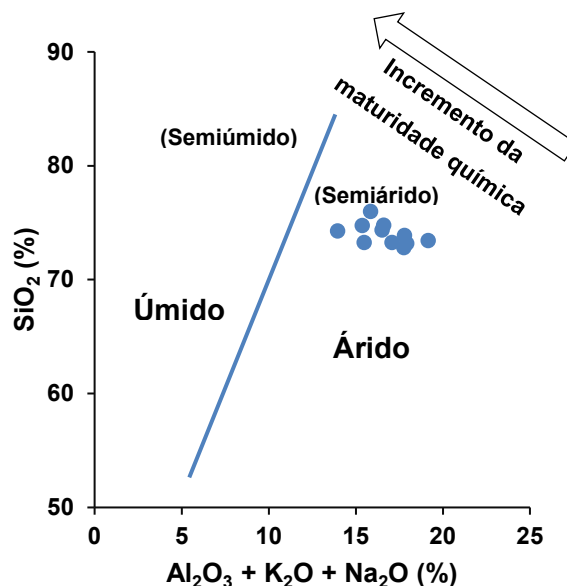


Figura 5-3: Diagrama binário SiO_2 vs. $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ mostrando as condições de paleoclimáticas constatadas na área-fonte e maturidade química dos sedimentos (Suttner & Dutta, 1986).

5.2 Geocronologia U-Pb

Em relação à geocronologia U-Pb dos grãos de zircão detrítico, as idades interpretadas como sendo aquelas inerentes à cristalização de cada um dos 151 cristais analisados encontram-se listadas na Tabela 5-3. Desse total, foram analisadas e discutidas 146 idades, que consistem naquelas cujo percentual de concórdia situa-se entre 90 e 110. A faixa de idades obtidas encontra-se entre $2,646 \pm 42$ e 294 ± 9 Ma e que abrangem, seguindo os intervalos elencados por Cohen *et al.* (2013), 14 períodos geológicos, a saber: Neoarqueano com 2 (~1,37%), Orosiriano com 9 (~6,16%), Estateriano com 2 (~2,05%), Calimiano com 2 (~1,37%), Ectasiano com 3 (~2,05%), Esteniano com 9 (~6,16%), Toniano com 10 (~6,85%), Criogeniano com 29 (~19,86%), Ediacarano com 49 (~33,56%), Cambriano com 8 (~5,48%), Ordoviciano com 4 (~2,74%), Devoniano com 3 (~2,05%), Carbonífero com 12 (~8,22%) e Permiano com 4 (~2,74%). Em síntese, denota-se uma destacada contribuição inerente ao Neoproterozoico (Fig. 5-4), com 88 idades (~60,27%) dispostas no intervalo Toniano-Ediacarano.

Tabela 5-3: Dados numéricos para todos os grãos de zircão obtidos a partir das amostras RFH-40 e RFH-41, as quais foram coletadas juntos aos níveis de base e topo da Formação Tatuí.

RFH-40														
Spot	f206 (%)	U (μg/g)	Th (μg/g)	Pb (μg/g)	Th/U	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	Rho	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb ¹ (Ma)	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U ¹ (Ma)	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U ¹ (Ma)	% conc ²
Spot 159	0.12	302.3 ± 15.6	326.2 ± 14.5	51.2 ± 3.0	1.08	16134	0.0543 ± 0.0017	0.384 ± 0.012	0.0502 ± 0.0013	0.41	337 ± 72	315 ± 8	329 ± 9	96
Spot 160	5.86	125.1 ± 4.3	102.0 ± 3.2	36.0 ± 1.3	0.82	319	0.0693 ± 0.0018	1.330 ± 0.032	0.1408 ± 0.0033	0.43	889 ± 55	848 ± 19	855 ± 13	99
Spot 161	0.19	117.3 ± 4.5	107.3 ± 3.6	22.5 ± 1.1	0.91	9662	0.0567 ± 0.0020	0.594 ± 0.018	0.0764 ± 0.0019	0.21	432 ± 82	475 ± 11	472 ± 12	101
Spot 162	0.17	128.0 ± 4.9	86.1 ± 3.3	17.4 ± 0.9	0.67	10969	0.0560 ± 0.0018	0.609 ± 0.018	0.0785 ± 0.0018	0.36	404 ± 75	487 ± 11	479 ± 11	102
Spot 163	0.20	84.2 ± 1.7	52.2 ± 1.6	14.2 ± 0.7	0.62	9451	0.0603 ± 0.0021	0.857 ± 0.031	0.1020 ± 0.0026	0.44	587 ± 77	626 ± 15	623 ± 17	100
Spot 164	0.13	143.9 ± 4.3	104.5 ± 1.9	25.3 ± 0.8	0.73	14063	0.0600 ± 0.0016	0.744 ± 0.018	0.0901 ± 0.0019	0.33	586 ± 61	555 ± 11	566 ± 10	98
Spot 165	0.21	97.8 ± 5.1	78.7 ± 5.5	15.1 ± 1.2	0.80	8732	0.0563 ± 0.0021	0.615 ± 0.022	0.0782 ± 0.0022	0.37	424 ± 85	486 ± 13	484 ± 14	100
Spot 166	0.36	47.2 ± 1.0	50.8 ± 1.1	14.7 ± 0.7	1.08	5261	0.0580 ± 0.0025	0.835 ± 0.036	0.1019 ± 0.0031	0.28	487 ± 104	624 ± 18	609 ± 20	102
Spot 167	0.56	32.0 ± 0.8	38.0 ± 0.8	11.0 ± 0.6	1.19	3323	0.0641 ± 0.0037	0.892 ± 0.049	0.1031 ± 0.0038	0.33	631 ± 124	631 ± 22	636 ± 26	99
Spot 168	0.09	114.9 ± 4.5	403.7 ± 10.0	238.8 ± 8.9	3.51	21748	0.0839 ± 0.0019	2.232 ± 0.052	0.1901 ± 0.0041	0.45	1289 ± 46	1118 ± 22	1192 ± 16	94
Spot 169	0.34	112.5 ± 3.9	75.7 ± 2.5	10.8 ± 0.7	0.67	5453	0.0532 ± 0.0028	0.353 ± 0.017	0.0478 ± 0.0014	0.23	252 ± 119	301 ± 9	303 ± 13	99
Spot 170	0.57	63.4 ± 1.9	67.2 ± 2.5	11.2 ± 0.7	1.06	3263	0.0576 ± 0.0040	0.383 ± 0.024	0.0503 ± 0.0019	0.12	457 ± 149	317 ± 12	323 ± 18	98
Spot 171	0.14	141.2 ± 2.9	83.8 ± 1.6	25.7 ± 0.9	0.59	13805	0.0597 ± 0.0019	0.814 ± 0.023	0.0978 ± 0.0024	0.33	553 ± 70	601 ± 14	602 ± 13	100
Spot 172	0.24	74.8 ± 1.9	73.1 ± 1.6	28.5 ± 1.1	0.98	7840	0.0632 ± 0.0026	0.914 ± 0.035	0.1065 ± 0.0033	0.40	633 ± 87	650 ± 19	661 ± 19	98
Spot 173	0.55	31.5 ± 1.4	36.4 ± 1.5	12.3 ± 0.8	1.15	3402	0.0644 ± 0.0035	0.925 ± 0.047	0.1067 ± 0.0035	0.15	726 ± 110	653 ± 21	665 ± 24	98
Spot 175	0.53	33.5 ± 1.1	40.0 ± 1.1	13.6 ± 0.7	1.19	3520	0.0640 ± 0.0036	0.862 ± 0.044	0.1040 ± 0.0038	0.27	584 ± 122	634 ± 22	613 ± 24	104
Spot 176	0.51	32.4 ± 1.6	32.7 ± 1.5	12.4 ± 0.9	1.01	3692	0.0568 ± 0.0034	0.847 ± 0.049	0.1069 ± 0.0039	0.27	467 ± 131	654 ± 23	610 ± 26	107
Spot 177	0.57	30.4 ± 0.9	35.0 ± 0.9	9.4 ± 0.5	1.15	3281	0.0661 ± 0.0038	0.886 ± 0.047	0.1015 ± 0.0036	0.23	684 ± 126	624 ± 21	631 ± 25	99
Spot 178	0.66	24.9 ± 0.7	33.4 ± 1.0	8.7 ± 0.5	1.34	2812	0.0606 ± 0.0037	0.856 ± 0.049	0.1050 ± 0.0038	0.22	624 ± 132	642 ± 22	624 ± 27	103
Spot 179	0.14	119.0 ± 5.8	191.6 ± 14.6	44.0 ± 3.2	1.61	13236	0.0582 ± 0.0021	0.777 ± 0.026	0.0985 ± 0.0026	0.36	484 ± 76	605 ± 15	579 ± 14	104
Spot 180	0.01	368.0 ± 17.2	200.7 ± 6.1	217.0 ± 7.5	0.55	195724	0.1760 ± 0.0030	11.702 ± 0.232	0.4835 ± 0.0099	0.64	2600 ± 28	2543 ± 44	2575 ± 18	98
Spot 181	0.19	49.2 ± 2.3	33.6 ± 1.6	12.3 ± 0.7	0.68	9934	0.0742 ± 0.0024	1.756 ± 0.049	0.1765 ± 0.0040	0.23	1001 ± 64	1047 ± 22	1028 ± 18	102
Spot 182	0.08	114.7 ± 3.0	51.9 ± 1.1	17.0 ± 0.7	0.45	22109	0.0715 ± 0.0018	1.688 ± 0.042	0.1700 ± 0.0033	0.33	960 ± 52	1012 ± 18	1002 ± 15	101
Spot 183	0.09	208.5 ± 6.3	72.6 ± 1.6	11.5 ± 0.5	0.35	21678	0.0553 ± 0.0014	0.708 ± 0.016	0.0915 ± 0.0017	0.34	427 ± 54	564 ± 10	542 ± 9	104
Spot 185	0.22	157.8 ± 6.8	121.5 ± 4.8	16.7 ± 0.9	0.77	8379	0.0529 ± 0.0020	0.357 ± 0.012	0.0497 ± 0.0014	0.26	315 ± 85	312 ± 8	309 ± 9	101
Spot 186	0.03	228.2 ± 9.8	48.9 ± 1.7	34.7 ± 1.6	0.21	64600	0.0934 ± 0.0018	3.623 ± 0.070	0.2789 ± 0.0058	0.57	1491 ± 37	1579 ± 29	1553 ± 15	106
Spot 188	0.10	256.3 ± 10.7	194.3 ± 8.0	52.3 ± 2.7	0.76	18712	0.0568 ± 0.0017	0.751 ± 0.022	0.0967 ± 0.0026	0.48	444 ± 70	597 ± 16	567 ± 13	105
Spot 190	0.18	286.1 ± 11.5	221.1 ± 5.3	22.6 ± 1.1	0.77	10269	0.0554 ± 0.0019	0.383 ± 0.013	0.0508 ± 0.0012	0.23	393 ± 80	319 ± 7	326 ± 9	98
Spot 191	0.14	100.8 ± 6.3	43.2 ± 2.1	23.0 ± 1.5	0.43	13490	0.0809 ± 0.0027	2.046 ± 0.056	0.1877 ± 0.0050	0.33	1150 ± 66	1106 ± 27	1127 ± 19	98
Spot 192	0.74	30.9 ± 1.4	34.2 ± 1.9	9.7 ± 0.8	1.10	2524	0.0575 ± 0.0039	0.829 ± 0.052	0.1119 ± 0.0041	0.20	501 ± 134	681 ± 24	622 ± 28	109
Spot 193	1.06	21.3 ± 0.8	23.6 ± 0.9	6.1 ± 0.4	1.11	1766	0.0632 ± 0.0053	0.884 ± 0.062	0.1109 ± 0.0049	0.18	523 ± 161	672 ± 28	604 ± 35	111
Spot 194	1.01	22.3 ± 0.7	25.8 ± 0.7	7.0 ± 0.4	1.15	1856	0.0847 ± 0.0090	1.020 ± 0.068	0.1098 ± 0.0051	0.12	879 ± 157	670 ± 29	708 ± 32	95
Spot 195	1.06	21.9 ± 0.9	24.5 ± 1.0	7.0 ± 0.5	1.12	1767	0.0951 ± 0.0182	0.900 ± 0.067	0.1032 ± 0.0049	0.18	804 ± 166	633 ± 29	618 ± 39	102
Spot 196	0.88	23.2 ± 0.8	25.1 ± 0.8	7.2 ± 0.5	1.08	2116	0.0671 ± 0.0051	0.961 ± 0.066	0.1154 ± 0.0054	0.32	707 ± 153	698 ± 31	681 ± 33	102
Spot 197	0.86	23.3 ± 1.0	25.6 ± 0.9	8.7 ± 0.6	1.10	2185	0.0719 ± 0.0073	0.910 ± 0.056	0.1117 ± 0.0046	0.16	587 ± 151	680 ± 26	665 ± 29	102
Spot 198	1.40	14.2 ± 0.6	16.4 ± 0.6	5.5 ± 0.5	1.15	1332	0.0777 ± 0.0096	0.915 ± 0.082	0.1126 ± 0.0062	0.31	844 ± 180	680 ± 36	597 ± 45	114
Spot 200	0.56	34.8 ± 1.0	53.5 ± 1.3	16.2 ± 0.9	1.54	3333	0.0775 ± 0.0046	1.126 ± 0.060	0.1092 ± 0.0036	0.27	985 ± 127	667 ± 21	752 ± 29	89
Spot 201	0.54	37.7 ± 1.0	51.3 ± 0.9	15.3 ± 0.7	1.36	3483	0.0657 ± 0.0034	0.881 ± 0.042	0.1022 ± 0.0033	0.22	710 ± 111	624 ± 19	637 ± 22	98
Spot 202	0.10	59.7 ± 1.6	77.3 ± 1.7	70.5 ± 2.3	1.30	18921	0.1225 ± 0.0031	5.771 ± 0.153	0.3461 ± 0.0092	0.54	1981 ± 45	1919 ± 44	1941 ± 23	97

Tabela 5-3: Dados numéricos para todos os grãos de zircão obtidos a partir das amostras RFH-40 e RFH-41, as quais foram coletadas juntos aos níveis de base e topo da Formação Tatuí (continuação).

	0.17	265.5 ± 9.5	253.8 ± 7.1	36.9 ± 1.5	0.96	11202	0.0539 ± 0.0018	0.348 ± 0.012	0.0467 ± 0.0013	0.36	353 ± 76	294 ± 8	301 ± 9	97
Spot 204	0.54	78.0 ± 2.6	76.4 ± 2.4	10.7 ± 0.6	0.98	3434	0.0543 ± 0.0032	0.351 ± 0.018	0.0488 ± 0.0016	0.11	354 ± 131	307 ± 10	305 ± 13	101
Spot 205	0.13	205.5 ± 5.7	21.4 ± 0.5	4.6 ± 0.3	0.10	14237	0.0559 ± 0.0015	0.590 ± 0.015	0.0782 ± 0.0017	0.36	424 ± 60	487 ± 10	475 ± 9	103
Spot 206	0.17	68.6 ± 1.4	31.7 ± 1.0	18.1 ± 0.9	0.46	11087	0.0764 ± 0.0025	2.115 ± 0.060	0.2067 ± 0.0059	0.32	1082 ± 67	1204 ± 31	1148 ± 19	111
Spot 207	0.53	76.9 ± 3.7	69.1 ± 2.4	11.8 ± 0.8	0.90	3511	0.0567 ± 0.0040	0.413 ± 0.025	0.0582 ± 0.0022	0.12	479 ± 138	363 ± 13	347 ± 18	105
Spot 208	0.40	71.5 ± 2.2	57.5 ± 1.5	12.7 ± 0.6	0.80	4624	0.0617 ± 0.0032	0.665 ± 0.030	0.0828 ± 0.0027	0.11	589 ± 117	512 ± 16	519 ± 18	99
Spot 209	0.02	351.4 ± 8.8	464.3 ± 17.1	341.0 ± 12.2	1.32	83848	0.1064 ± 0.0018	4.187 ± 0.080	0.2887 ± 0.0060	0.64	1739 ± 31	1636 ± 30	1670 ± 16	94
Spot 210	0.28	158.3 ± 6.4	159.9 ± 6.2	22.0 ± 1.3	1.01	6575	0.0514 ± 0.0023	0.338 ± 0.015	0.0482 ± 0.0014	0.31	194 ± 104	303 ± 9	297 ± 11	102
Spot 211	0.23	97.3 ± 6.1	28.5 ± 1.9	8.3 ± 0.7	0.29	8025	0.0595 ± 0.0025	0.778 ± 0.030	0.0970 ± 0.0027	0.28	564 ± 90	596 ± 16	582 ± 17	102
Spot 212	0.06	396.1 ± 14.0	447.2 ± 13.8	116.4 ± 4.3	1.13	33240	0.0585 ± 0.0013	0.759 ± 0.018	0.0943 ± 0.0018	0.41	525 ± 50	580 ± 11	573 ± 10	101
Spot 213	0.55	44.6 ± 1.1	56.4 ± 1.2	16.1 ± 0.8	1.26	3389	0.0632 ± 0.0037	0.849 ± 0.045	0.1004 ± 0.0036	0.13	601 ± 133	614 ± 21	613 ± 25	100
Spot 214	0.51	51.7 ± 2.0	107.1 ± 4.1	26.4 ± 1.2	2.07	3650	0.0616 ± 0.0030	0.833 ± 0.038	0.1021 ± 0.0030	0.21	563 ± 105	626 ± 18	609 ± 21	103
Spot 215	0.66	44.0 ± 1.0	53.6 ± 1.0	13.5 ± 0.8	1.22	2847	0.0628 ± 0.0037	0.862 ± 0.049	0.0999 ± 0.0036	0.21	664 ± 129	614 ± 21	623 ± 27	99
Spot 216	0.14	248.2 ± 7.4	80.1 ± 2.0	17.7 ± 0.9	0.32	13531	0.0600 ± 0.0018	0.756 ± 0.021	0.0904 ± 0.0022	0.37	581 ± 68	558 ± 13	569 ± 12	98
Spot 217	0.50	65.7 ± 1.8	92.2 ± 1.8	22.7 ± 1.0	1.40	3774	0.0621 ± 0.0033	0.823 ± 0.037	0.1016 ± 0.0033	0.20	545 ± 114	622 ± 19	610 ± 21	102
Spot 218	0.52	66.0 ± 1.9	90.6 ± 2.2	22.0 ± 1.1	1.37	3578	0.0622 ± 0.0034	0.815 ± 0.038	0.0995 ± 0.0032	0.05	590 ± 119	611 ± 18	595 ± 21	103
Spot 219	0.53	62.7 ± 1.4	86.5 ± 1.7	20.2 ± 0.8	1.38	3499	0.0633 ± 0.0031	0.860 ± 0.037	0.1044 ± 0.0030	0.15	679 ± 103	640 ± 18	626 ± 21	102
Spot 220	0.30	113.0 ± 3.9	117.3 ± 2.3	29.1 ± 1.2	1.04	6324	0.0614 ± 0.0028	0.843 ± 0.037	0.1009 ± 0.0029	0.40	515 ± 98	618 ± 17	612 ± 20	101
Spot 221	0.50	59.8 ± 2.8	76.2 ± 3.9	20.1 ± 1.4	1.27	3709	0.0629 ± 0.0040	0.899 ± 0.051	0.1077 ± 0.0045	0.23	573 ± 143	657 ± 26	647 ± 27	101
Spot 222	0.35	158.6 ± 9.1	125.4 ± 6.3	18.6 ± 1.4	0.79	5388	0.0564 ± 0.0028	0.367 ± 0.016	0.0491 ± 0.0016	0.25	396 ± 115	309 ± 10	316 ± 12	98
Spot 223	0.47	69.2 ± 4.2	128.6 ± 7.0	21.6 ± 1.4	1.86	3946	0.0534 ± 0.0035	0.415 ± 0.025	0.0565 ± 0.0020	0.23	307 ± 144	354 ± 12	349 ± 17	101
Spot 224	0.08	209.3 ± 6.8	88.5 ± 2.2	28.7 ± 1.1	0.42	23588	0.0580 ± 0.0014	0.846 ± 0.022	0.1045 ± 0.0027	0.51	505 ± 53	642 ± 16	621 ± 12	103
Spot 225	0.14	121.6 ± 1.8	41.2 ± 1.2	12.4 ± 0.6	0.34	13739	0.0609 ± 0.0018	0.859 ± 0.022	0.1018 ± 0.0025	0.42	602 ± 66	623 ± 14	626 ± 12	100
Spot 226	0.53	30.0 ± 1.0	34.0 ± 0.9	10.4 ± 0.5	1.13	3499	0.0608 ± 0.0031	0.877 ± 0.038	0.1059 ± 0.0034	0.19	487 ± 116	650 ± 20	628 ± 21	103
Spot 227	0.46	79.2 ± 1.9	101.4 ± 3.0	13.7 ± 0.6	1.28	4076	0.0527 ± 0.0026	0.336 ± 0.015	0.0473 ± 0.0014	0.21	255 ± 116	298 ± 9	291 ± 12	102
Spot 228	0.08	281.8 ± 11.5	54.8 ± 1.9	8.4 ± 0.6	0.19	24774	0.0553 ± 0.0014	0.677 ± 0.016	0.0866 ± 0.0018	0.30	421 ± 62	535 ± 11	524 ± 10	102
Spot 229	0.13	189.4 ± 8.3	18.8 ± 0.9	3.6 ± 0.3	0.10	14720	0.0578 ± 0.0019	0.626 ± 0.022	0.0790 ± 0.0019	0.41	483 ± 67	490 ± 11	489 ± 13	100
Spot 230	0.52	102.1 ± 3.9	90.4 ± 2.9	12.6 ± 0.8	0.88	3566	0.0545 ± 0.0034	0.338 ± 0.019	0.0467 ± 0.0014	0.07	305 ± 139	294 ± 9	296 ± 14	99
RFH-41														
Spot 57	6.88	185.7 ± 8.5	90.0 ± 3.1	26.9 ± 1.6	0.48	272	0.0609 ± 0.0019	0.729 ± 0.021	0.0892 ± 0.0023	0.39	617 ± 66	551 ± 14	556 ± 13	99
Spot 58	0.07	173.9 ± 4.1	87.6 ± 1.9	33.2 ± 0.9	0.50	28660	0.0664 ± 0.0015	1.175 ± 0.026	0.1313 ± 0.0025	0.41	784 ± 46	794 ± 14	787 ± 12	101
Spot 59	0.05	343.0 ± 10.7	337.2 ± 8.5	89.6 ± 2.6	0.98	40294	0.0577 ± 0.0013	0.757 ± 0.014	0.0961 ± 0.0017	0.49	519 ± 40	592 ± 10	572 ± 8	104
Spot 60	0.09	241.2 ± 7.9	50.5 ± 1.4	11.1 ± 0.5	0.21	21411	0.0577 ± 0.0013	0.614 ± 0.015	0.0781 ± 0.0016	0.50	503 ± 52	484 ± 9	488 ± 10	99
Spot 61	0.03	379.7 ± 15.5	159.4 ± 6.7	64.0 ± 3.5	0.42	57283	0.0653 ± 0.0015	1.210 ± 0.033	0.1353 ± 0.0036	0.62	756 ± 50	817 ± 20	800 ± 15	102
Spot 62	14.80	99.8 ± 2.3	95.6 ± 2.2	19.9 ± 0.8	0.96	126	0.0617 ± 0.0018	0.879 ± 0.025	0.1061 ± 0.0020	0.32	642 ± 63	649 ± 11	638 ± 13	102
Spot 63	0.02	271.0 ± 6.3	92.2 ± 2.3	93.5 ± 3.1	0.34	114044	0.1097 ± 0.0020	5.677 ± 0.113	0.3710 ± 0.0082	0.67	1783 ± 31	2032 ± 38	1924 ± 17	114
Spot 64	0.02	464.7 ± 15.2	145.4 ± 3.0	66.4 ± 2.2	0.31	93366	0.0717 ± 0.0012	1.641 ± 0.031	0.1684 ± 0.0033	0.62	976 ± 33	994 ± 19	987 ± 12	101
Spot 65	2.41	209.3 ± 6.7	84.2 ± 1.6	38.7 ± 1.3	0.40	775	0.0769 ± 0.0013	1.937 ± 0.034	0.1811 ± 0.0030	0.50	1110 ± 33	1073 ± 17	1093 ± 11	98

- **Tabela 5-3:** Dados numéricos para todos os grãos de zircão obtidos a partir das amostras RFH-40 e RFH-41, as quais foram coletadas juntos aos níveis de base e topo da Formação Tatuf (continuação).

Spot	U ₀₃	100.0 ± 2.0	02.0 ± 2.0	93.0 ± 2.0	U ₁₀	002.42	U ₁₃₁₉ ± U ₀₀₂₃	0.139 ± 0.140	U ₃₁₂₉ ± U ₀₀₉₂	U ₁₁	2120 ± 31	2040 ± 42	2001 ± 10	90
Spot 72	0.09	131.8 ± 5.6	165.1 ± 8.2	43.9 ± 2.0	1.25	20415	0.0614 ± 0.0015	0.776 ± 0.018	0.0935 ± 0.0018	0.32	618 ± 54	575 ± 11	580 ± 10	99
Spot 73	0.07	164.2 ± 4.4	161.4 ± 2.9	54.4 ± 1.4	0.98	28647	0.0597 ± 0.0011	0.884 ± 0.018	0.1076 ± 0.0019	0.50	589 ± 40	658 ± 11	640 ± 9	103
Spot 74	0.03	600.1 ± 22.1	451.7 ± 12.0	106.6 ± 3.5	0.75	67314	0.0569 ± 0.0011	0.560 ± 0.011	0.0719 ± 0.0014	0.56	475 ± 43	447 ± 9	450 ± 7	99
Spot 75	0.06	197.0 ± 5.5	269.0 ± 9.9	82.2 ± 3.4	1.37	30534	0.0597 ± 0.0013	0.820 ± 0.016	0.0986 ± 0.0018	0.37	575 ± 46	605 ± 11	605 ± 9	100
Spot 76	0.04	383.4 ± 17.7	262.8 ± 14.2	68.6 ± 3.9	0.69	49784	0.0585 ± 0.0011	0.706 ± 0.015	0.0872 ± 0.0016	0.50	540 ± 41	539 ± 10	541 ± 9	100
Spot 77	0.11	125.3 ± 2.7	109.4 ± 2.5	32.4 ± 1.0	0.87	17696	0.0595 ± 0.0017	0.819 ± 0.027	0.0992 ± 0.0027	0.53	574 ± 62	610 ± 16	600 ± 15	102
Spot 78	24.53	35.6 ± 1.4	53.6 ± 1.7	11.0 ± 0.6	1.51	76	0.0648 ± 0.0033	0.999 ± 0.045	0.1140 ± 0.0036	0.16	672 ± 113	696 ± 21	694 ± 22	100
Spot 79	0.08	339.0 ± 10.6	157.0 ± 6.2	22.5 ± 1.0	0.46	24343	0.0557 ± 0.0015	0.419 ± 0.011	0.0544 ± 0.0012	0.36	413 ± 62	342 ± 7	357 ± 8	96
Spot 82	0.40	31.9 ± 0.9	38.1 ± 1.0	10.6 ± 0.5	1.19	4658	0.0601 ± 0.0026	0.876 ± 0.037	0.1083 ± 0.0030	0.28	599 ± 93	663 ± 18	640 ± 20	104
Spot 83	0.06	309.2 ± 11.1	184.3 ± 6.0	42.3 ± 1.8	0.60	32604	0.0594 ± 0.0013	0.683 ± 0.016	0.0833 ± 0.0018	0.55	577 ± 47	516 ± 11	528 ± 9	98
Spot 84	0.03	323.8 ± 10.2	108.6 ± 2.3	47.6 ± 1.6	0.34	68571	0.0736 ± 0.0015	1.699 ± 0.035	0.1653 ± 0.0035	0.57	1029 ± 40	986 ± 19	1007 ± 13	98
Spot 85	0.03	275.4 ± 14.2	176.1 ± 6.9	87.8 ± 3.8	0.64	66914	0.0787 ± 0.0012	2.065 ± 0.033	0.1894 ± 0.0030	0.58	1156 ± 29	1115 ± 16	1137 ± 11	98
Spot 87	0.09	152.8 ± 4.2	261.9 ± 4.6	74.4 ± 1.8	1.71	21312	0.0600 ± 0.0012	0.799 ± 0.015	0.0959 ± 0.0016	0.43	587 ± 41	591 ± 10	595 ± 8	99
Spot 88	0.06	469.2 ± 15.5	416.9 ± 9.8	62.7 ± 2.0	0.89	32095	0.0527 ± 0.0011	0.342 ± 0.007	0.0474 ± 0.0009	0.45	295 ± 47	298 ± 5	298 ± 5	100
Spot 90	0.26	47.2 ± 1.4	53.5 ± 1.2	16.2 ± 0.7	1.13	7145	0.0606 ± 0.0024	0.843 ± 0.033	0.1023 ± 0.0026	0.28	573 ± 90	629 ± 15	621 ± 18	101
Spot 91	0.29	43.1 ± 1.4	48.2 ± 1.1	14.5 ± 0.5	1.12	6386	0.0618 ± 0.0020	0.867 ± 0.026	0.1015 ± 0.0023	0.24	643 ± 73	622 ± 13	629 ± 15	99
Spot 92	0.06	145.6 ± 4.2	65.9 ± 1.5	28.7 ± 1.1	0.45	31169	0.0683 ± 0.0013	1.362 ± 0.027	0.1434 ± 0.0027	0.51	857 ± 40	863 ± 15	871 ± 12	99
Spot 93	0.10	141.2 ± 2.8	113.6 ± 1.6	32.1 ± 0.9	0.80	19174	0.0606 ± 0.0015	0.757 ± 0.018	0.0902 ± 0.0019	0.44	611 ± 53	557 ± 11	570 ± 11	98
Spot 94	0.12	56.0 ± 2.6	24.6 ± 0.9	14.2 ± 0.8	0.44	16050	0.0747 ± 0.0019	1.994 ± 0.052	0.1936 ± 0.0043	0.52	1056 ± 52	1136 ± 23	1107 ± 18	103
Spot 95	0.08	30.1 ± 0.7	64.9 ± 1.1	78.0 ± 1.6	2.16	22028	0.1851 ± 0.0033	12.997 ± 0.235	0.5080 ± 0.0098	0.53	2693 ± 29	2646 ± 42	2674 ± 17	98
Spot 96	0.09	163.9 ± 5.9	121.1 ± 5.0	30.4 ± 1.3	0.74	21240	0.0598 ± 0.0015	0.765 ± 0.018	0.0924 ± 0.0018	0.41	566 ± 56	569 ± 11	577 ± 11	99
Spot 97	0.11	43.9 ± 1.4	43.2 ± 1.3	34.8 ± 1.3	0.98	16760	0.1074 ± 0.0021	4.586 ± 0.091	0.3074 ± 0.0056	0.49	1746 ± 37	1729 ± 28	1745 ± 16	99
Spot 98	0.10	47.4 ± 2.3	20.0 ± 1.1	20.3 ± 1.5	0.42	18761	0.1276 ± 0.0033	5.669 ± 0.153	0.3189 ± 0.0084	0.53	2055 ± 46	1780 ± 41	1920 ± 23	87
Spot 99	0.07	64.3 ± 3.2	39.6 ± 1.9	43.5 ± 2.3	0.62	27907	0.1261 ± 0.0023	6.526 ± 0.129	0.3714 ± 0.0081	0.60	2025 ± 33	2028 ± 37	2048 ± 18	100
Spot 101	0.04	387.2 ± 17.4	116.4 ± 4.4	29.7 ± 1.3	0.30	46452	0.0586 ± 0.0012	0.805 ± 0.016	0.1003 ± 0.0019	0.51	527 ± 42	617 ± 11	597 ± 9	103
Spot 102	0.01	349.4 ± 8.3	147.5 ± 2.4	137.3 ± 3.3	0.42	141523	0.1318 ± 0.0024	6.315 ± 0.130	0.3479 ± 0.0086	0.66	2110 ± 31	1920 ± 41	2018 ± 17	91
Spot 103	0.07	413.7 ± 32.0	219.4 ± 6.4	34.0 ± 1.3	0.53	25670	0.0541 ± 0.0015	0.370 ± 0.010	0.0502 ± 0.0012	0.42	326 ± 61	316 ± 7	319 ± 7	99
Spot 104	0.06	457.5 ± 20.2	437.4 ± 19.8	70.5 ± 3.6	0.96	31938	0.0549 ± 0.0014	0.439 ± 0.011	0.0575 ± 0.0013	0.41	402 ± 57	360 ± 8	368 ± 8	98
Spot 107	0.48	27.6 ± 1.2	28.4 ± 1.0	10.8 ± 0.7	1.03	3922	0.0655 ± 0.0037	1.014 ± 0.050	0.1140 ± 0.0039	0.17	812 ± 118	696 ± 22	701 ± 25	99
Spot 108	0.34	40.6 ± 1.7	43.8 ± 1.7	14.7 ± 0.8	1.08	5526	0.0619 ± 0.0029	0.922 ± 0.040	0.1106 ± 0.0034	0.31	557 ± 101	677 ± 20	652 ± 21	104
Spot 109	0.27	56.1 ± 1.6	60.0 ± 1.3	18.0 ± 0.7	1.07	6943	0.0614 ± 0.0024	0.839 ± 0.029	0.0997 ± 0.0027	0.28	630 ± 87	612 ± 16	614 ± 16	100
Spot 110	0.24	54.1 ± 1.0	67.8 ± 1.3	19.7 ± 0.6	1.25	7677	0.0618 ± 0.0023	0.940 ± 0.034	0.1105 ± 0.0030	0.31	654 ± 81	674 ± 17	668 ± 17	101
Spot 111	0.16	93.9 ± 2.7	90.6 ± 1.9	31.7 ± 1.1	0.96	11622	0.0634 ± 0.0022	0.914 ± 0.030	0.1044 ± 0.0026	0.26	680 ± 76	640 ± 15	654 ± 16	98
Spot 112	0.33	46.3 ± 1.4	48.8 ± 1.0	15.2 ± 0.6	1.05	5694	0.0634 ± 0.0026	0.889 ± 0.031	0.1016 ± 0.0027	0.15	725 ± 86	624 ± 16	650 ± 16	96
Spot 113	0.20	77.7 ± 2.4	81.5 ± 1.8	25.2 ± 0.9	1.05	9392	0.0616 ± 0.0022	0.824 ± 0.024	0.0992 ± 0.0024	0.20	606 ± 75	610 ± 14	608 ± 13	101
Spot 114	0.27	56.3 ± 1.6	56.9 ± 1.2	17.9 ± 0.7	1.01	7012	0.0613 ± 0.0023	0.867 ± 0.030	0.1041 ± 0.0027	0.22	604 ± 83	637 ± 16	629 ± 16	101

¹Dados não corrigidos para Pb comum.

²Concordância calculada como $(^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}) \text{ idade} / (^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}) \text{ idade} \times 100$ para idades iguais ou superiores a 1200 Ma e $(^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}) \text{ idade} / (^{206}\text{Pb}/^{235}\text{U}) \text{ idade} \times 100$ para idades inferiores a ela.

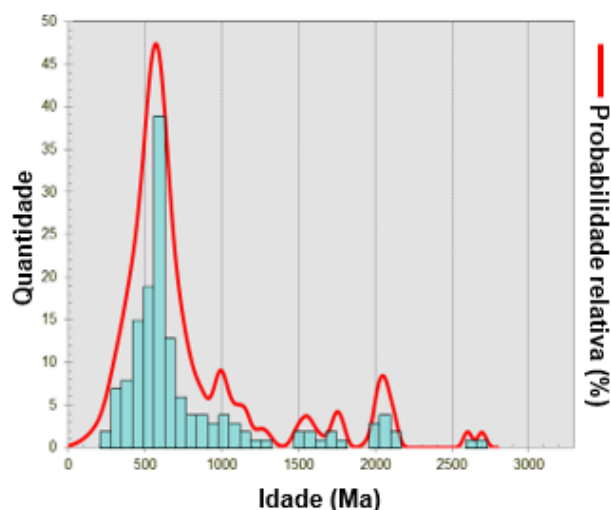


Figura 5-4: Histograma mostrando a distribuição dos valores de idades U-Pb obtidos a partir das análises pontuais realizadas e a indicação da probabilidade relativa, cujos valores encontram-se representados graficamente através da linha vermelha.

Os procedimentos adotados visando à obtenção das idades U-Pb, incluindo o número total de análises pontuais feitas, bem como os respectivos critérios de seleção dos mesmos para a interpretação das idades de cristalização estão especificados no capítulo anterior. A clara preferência pela obtenção de leitura na região de núcleo dos cristais de zircão analisados pode ser verificada com base no conjunto de fotos delineados na Fig. 5-5.

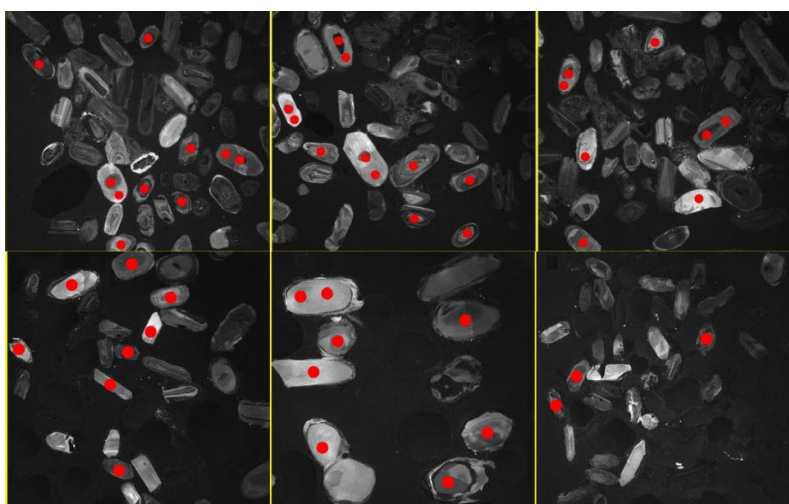


Figura 5-5: Seleção de fotografias retratando conjuntos de cristais de zircão datados, sendo as três superiores obtidas a partir da amostra RFH-41, enquanto que os demais foram extraídos do exemplar RFH-40 e que correspondem, respectivamente, ao topo e base da Formação Tatuí. Nas imagens acima, é possível constatar, com clareza, a preferência pela realização das análises pontuais (destacados pelos pontos vermelhos) no núcleo de seus referidos cristais.

5.3 Sistema fonte-sumidouro

As concentrações de TiO_2 , Al_2O_3 e Zr podem ser utilizadas em estudos de proveniência sedimentar para a obtenção de respostas acerca da composição do protólito original. Os seus cátions são particularmente importantes em decorrência de suas naturezas conservativas, além de mobilidade restrita, contribuindo com que as suas proporções relativas sejam preservadas a processos de modificações posteriores (Taylor & McLennan, 1985; Cullers, 1995; Hayashi *et al.*, 1997). Com base na observação da Figura 5-1, constatou-se que as rochas fontes seriam de rochas ígneas proeminentemente félsicas.

Especificamente no diagrama TiO_2 versus Zr (Fig. 5-1B), 9 amostras situam-se nesse campo, enquanto que 2 delas encontram-se plotadas no campo intermediário, sendo uma delas muito próxima ao limite com o anterior. Não há lâminas dessas duas amostras. Todavia, diante da observância de minerais portadores de titânio, como anatásio e ilmenita como minerais acessórios em lâminas descritas para esta unidade, as referidas concentrações podem ser decorrentes de eventuais contribuições de fontes secundárias mais enriquecidas em minerais portadores de titânio, ou ainda, ou ainda, imprecisões analíticas inerentes ao próprio diagrama. Assim, de maneira geral, a composição dos protólitos intrínsecos à área-fonte estariam associadas proeminentemente a ígneas félsicas ao longo de todo o tempo de deposição da Formação Tatuí. Em termos de composição do protólito original, este fato também é constatado para as rochas pertencentes à Formação Corumbataí (Zanardo *et al.*, 2017; Montibeller *et al.*, 2020).

Com base em seus valores de CIA, com média de $56,9 \pm 3,3$, verifica-se que as rochas na área-fonte foram submetidas a condições de intemperismo físico. Ainda, os sedimentos originais da área-fonte são caracterizados por uma baixa maturidade química, conforme pode ser verificado no diagrama de Suttner & Dutta (1986), expresso na Figura 5-3. Todavia o diagrama mencionado anteriormente apresenta destacada limitação, uma vez que o mesmo não contempla a complexidade de climas existentes, a exemplo daqueles verificados Köppen & Geiger (1936) e Strahler (1951). O referido diagrama não leva em consideração o fator temperatura para a determinação dos tipos paleoclimáticas constatados junto à área-fonte, sendo o mesmo segmentado apenas em dois grandes domínios (árido / semiárido e úmido / semiúmido).

Os baixos valores de CIA (entre 51,9 a 60,8) servem como indicativo de uma prevalência de processos de intemperismo físico junto à área-fonte em relação ao químico. Assim, diante das constatações elencadas, é possível delinear as seguintes restrições geoquímicas: os sedimentos dos quais as rochas da Formação Tatuí são provenientes possuem composição caracteristicamente de natureza félsica, além da predominância, junto à sua área-fonte, de processos de intemperismo físico.

Em relação à datação geocronológica U-Pb em cristais de zircão detríticos, apesar de haver registros de idades desde o Neoarquano ($2,646 \pm 42$ Ma) até o início do Permiano (294 ± 9 Ma), denota-se uma pronunciada contribuição compatível ao Ciclo Brasileiro-Pan-Africano. Segundo a abordagem de Neves *et al.* (2014), desde cerca 850 Ma, já se verificava um prematuro de fechamento de oceanos e subduções associadas a esse contexto de consumo de placas litosféricas, com épico no Ediacarano, culminando na colagem final dos principais orógenos neoproterozoicos presentes no centro-sul do Brasil, incluindo, nesse contexto, o Orógeno Brasileiro, com essa amalgamação final da porção ocidental do supercontinente Gondwana, por volta de 560 Ma. No total, foram obtidas 79 idades, perfazendo cerca de 54,11% encontram-se dispostas neste intervalo temporal compatível a este evento geodinâmico responsável por originar a Faixa Brasília.

Com relação aos eventos de ativação especificados por Montibeller *et al.* (2022) para a Formação Corumbataí, o único que não possui relação temporal com sedimentos da Formação Tatuí foi aquele relativo à Orogenia San Rafael. Considerando a idade mais nova dos zircões detríticos de 294 ± 9 Ma, pode-se sugerir o começo da deposição da Formação Tatuí em cerca de 300 Ma atrás. Segundo Milani e Ramos (1998), a BSP foi fortemente influenciada pela Orogenia São Rafael durante o Permiano, que está correlacionada ao evento magmático Choiyoi no oeste da Argentina. Este evento vulcanogênico de natureza piroclástica corresponde a um vasto arco magmático cálcio-alcalino (Kay *et al.*, 1989; Rocher *et al.*, 2015). A província ígnea de Choiyoi teve uma atividade vulcânica de aproximadamente 30 Ma, ou seja, $281,4 \pm 2,5$ - $251,9 \pm 2,0$ Ma - Cisuraliana a Lopingiana (Rocha-Campos *et al.*, 2011). Como não foram obtidas idades U-Pb em zircões detríticos da Formação Tatuí associadas ao evento ígneo evento magmático correlato, pode-se inserir que o tempo de sua deposição foi em cerca de 10 Ma, entre aproximadamente 300 e 290 Ma atrás.

Os eventos mencionados por Montibeller *et al.* (2022) que possuem compatibilidade com as idades obtidas foram os seguintes: i) eventos neoproterozoicos, com 88 idades (~60,27%), dentro dos quais se inserem a Tafragênese toniana e o desenvolvimento da Orogenia Brasileira (Campos Neto, 2000; Alkmim, 2004); ii) eventos cambrianos a ordovicianos, com 18 idades (~11,92%), que incluem as Orogenias Pampeana e Famatiana (Rapela *et al.*, 1998; Schwartz *et al.*, 2008); iii) eventos silurianos a carboníferos, com 19 idades (~13,01%), com a quiescência siluriana, seguida de rasamento da BSP e reciclagem sedimentar e, por fim, a Orogenia Precordillerana (Ramos *et al.*, 1984).

No tocante aos eventos mais antigos, não abordados por Montibeller *et al.* (2022), há uma maior clareza quanto à possível proveniência daqueles com idades anteriores a 1,8 Ga como sendo atribuídos ao Cráton São-Francisco, cuja estruturação encontra-se vinculada ao Ciclo Transamazônico (~ 2,2 a 1,8 Ga). Complementarmente, as duas idades mais antigas (~2,5 Ga) podem estar associadas a núcleos neoarqueanos nele constatados (Cordani *et al.*, 2003; Hasui, 2010; Neves *et al.*, 2014). Ressalta-se as maiores incertezas quanto às idades mesoproterozoicas. Na referida Era, há o registro de uma significativa quiescência tectônica no local em que a área-fonte encontra-se localizada, bem como seus setores adjacentes, sendo comumente associada à formação de importantes bacias sedimentares. Deste modo, ao menos parte dos cristais de zircão de zircão que apresentam essas idades podem estar vinculados, por exemplo, a magmatismo em bacias do tipo “*rift-sag*” (Martins Neto, 1998; Uhlein *et al.*, 2015).

Visando à delimitação do sentido inerente à área-fonte, Assine *et al.* (2003) realiza trinta e três medições de sentidos de paleocorrentes em afloramentos de arenitos referentes à porção superior da Formação Tatuí, incluindo afloramentos situados na área de estudo. Esse importante trabalho conclui que a área-fonte verificada para os seus sedimentos encontram-se situadas com rumo para norte a, no máximo, nordeste. Ao analisar de modo integrado os dados geocronológicos e os sentidos das paleocorrentes, permite-se interpretar que a proveniência dos sedimentos responsáveis pelas rochas da Formação Tatuí apresentou contribuição das rochas da Faixa Brasília, com o Ciclo Brasileiro-Pan-Africano apresentando importante papel no que tange à evolução dos mesmos até o completo fechamento do Oceano Goianides (Valeriano *et al.*, 2004; Uhlein *et al.*, 2012). O intervalo temporal compreendido entre Toniano a Ediacarano envolveu intensos episódios de

subducção, atividade ígnea e acreção de terrenos que marcaram o processo de amalgamação do Supercontinente Gondwana, que se completou em cerca de 500 Ma (Neves *et al.*, 1996, 1999, 2014; Neves, 2004; Chemale Junior *et al.*, 1995; Cordani *et al.*, 2003; Hasui, 2010; Pimentel, 2016).

Em âmbito complementar, ao analisar os dados de maneira integrada com o mapa de reconstituição paleogeográfica proposto por Scotese (2000a,b) entre o Carbonífero Superior e Permiano Inferior (Fig. 5-6), verifica-se que a área-fonte dos sedimentos pertencentes às rochas da Formação Tatuí estava em latitude próxima aos 45° S, em condições de clima temperado, confirmando a atuação dos processos de intemperismo físico das rochas na área-fonte da Formação Tatuí durante a sua deposição entre cerca de 300 a 290 Ma. As publicações supramencionadas destacam, para as regiões em que há atuação desse tipo de clima, a presença de carvão e tilito.

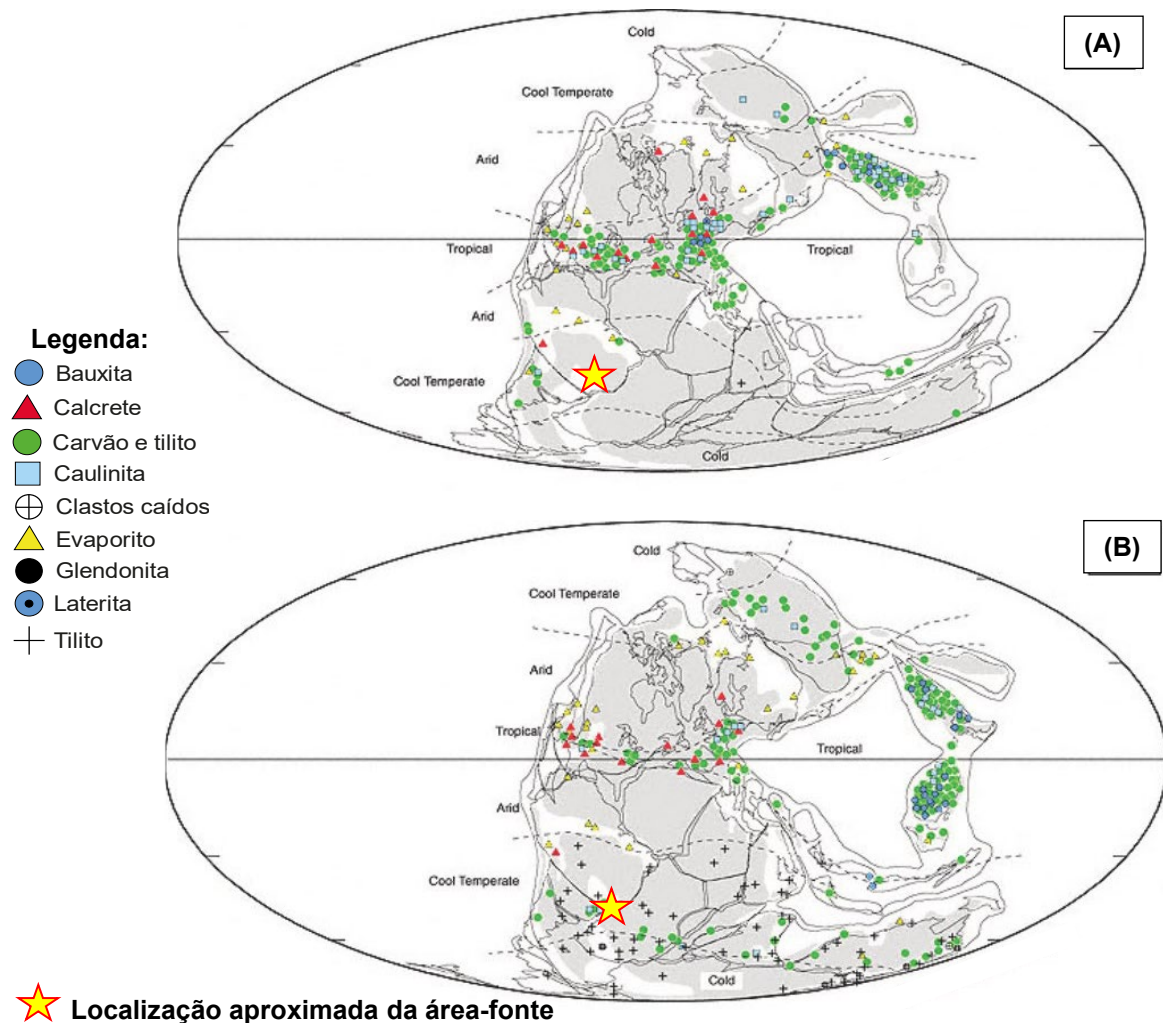


Figura 5-6: Mapa de reconstituição paleogeográfica dos continentes e climatológica entre o Carbonífero Superior (A) (Scotese, 2000a) e Permiano Inferior (B) (Scotese, 2000b).

Detalhamentos faciológicos presentes na literatura, e que incluem a análise dos aspectos litológicos, de cor e textura, estruturas primárias e/ou conteúdo fossilífero da referida unidade permitem considerar o seu paleoambiente deposicional como marinho raso plataformar e transicional, apresentando a contribuição de sistemas flúvio-deltaicos, barras de maré e, localmente, nota-se o registro de cunhas clásticas e leques aluviais (Soares, 1972; Assine *et al.*, 2003; Chahud & Petri, 2018).

6 ENTENDENDO A INTERAÇÃO ÁGUA-ROCHA NA FORMAÇÃO TATUI

Os processos de interação água-rocha são fundamentais para a compreensão de como as rochas frescas são atacadas física ou quimicamente, gerando um material residual, denominados solos, com as mais variadas composições, texturas e coloração. Com isso, o presente capítulo visa o entendimento dos processos de intemperismo químico atuantes em rochas siliciclásticas da Formação Tatuí, as quais podem ser utilizadas como matérias-primas complementares àquelas já explotadas por mineradoras do PCSG.

6.1 Análises geoquímicas

Análise geoquímicas foram feitas para os elementos maiores (Tabela 6-1), traços (Tabela 6-2) e terras-raras (Tabela 6-3) com base em 28 amostras de litotipos da Formação Tatuí submetidos a diferentes intensidades de intemperismo. Para os principais óxidos, os teores médios de SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , Na_2O , K_2O , MgO , CaO , TiO_2 , MnO e P_2O_5 foram $71,59 \pm 1,77$, $15,59 \pm 1,25$, $3,07 \pm 1,05$, $0,49 \pm 0,51$, $2,29 \pm 0,48$, $1,57 \pm 0,41$, $0,22 \pm 0,16$, $0,51 \pm 0,18$, $0,05 \pm 0,07$ e $0,02 \pm 0,02$ %, respectivamente. Os valores de LOI variaram entre 2,61 e 7,25%, com média de $5,02 \pm 1,33$ %.

As maiores concentrações médias de elementos traços foram de $397,8 \pm 230,0$, $271,0 \pm 105,2$, $96,7 \pm 28,6$ e $48,9 \pm 33,4$ ppm para Ba, Zr, Rb e Sr, respectivamente. As concentrações médias de U e Th foram de $11,1 \pm 4,7$ e $3,7 \pm 0,9$ ppm, respectivamente, com a razão Th/U de $2,8 \pm 0,6$. Em relação aos elementos terras raras, a concentração média da somatória foi de $186,2 \pm 79,0$ ppm, com enriquecimento dos elementos terras raras leves ($161,7 \pm 35,2$ ppm) em relação as pesadas ($24,6 \pm 4,3$ ppm), com média da razão La/Lu de $76,1 \pm 29,4$.

Com a finalidade de verificar a intensidade dos atuais processos de intemperismo químico sobre as amostras de rochas da Formação Tatuí, o parâmetro quantitativo utilizado foi o CIA (Tab. 6-1; Fig. 6-1). Os valores obtidos para as amostras analisadas encontram-se entre 70,11 e 89,12, com valor médio de $80,56 \pm 4,98$. Ao analisar o conjunto total, verifica-se que 4 delas possuem valores de CIA compreendidos entre 70 e 75 (14,3%), outros 6 exemplares reportam valores situados entre 75 e 80 (21,4 %), 13 exibem valores elencados entre 80 e 85 (46,4%) e, por fim, as 5 remanescentes (17,9%) apresentam valores dispostos entre 85 a 90.

Tabela 6-1: Valores de concentração dos elementos maiores (expressos em percentuais de peso de seus respectivos óxidos) e CIA para as amostras de rochas sedimentares da Formação Tatui.

Amostras	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	P ₂ O ₅	LOI	Somatório	CIA
RFH-1	71,65	14,97	4,18	0,84	0,23	1,54	0,02	2,00	0,08	0,02	4,54	100,24	84,29
RFH-2	71,34	14,10	2,83	0,38	0,22	1,09	0,02	2,09	0,01	0,02	6,79	98,95	84,81
RFH-3	70,06	14,99	2,07	0,36	0,10	1,12	0,02	2,83	0,02	0,02	5,32	96,98	81,69
RFH-4	70,73	15,17	2,54	0,47	0,10	1,18	0,03	1,65	0,01	0,03	7,07	98,97	89,12
RFH-9	72,17	12,90	2,57	0,38	0,15	1,48	0,01	1,73	0,02	0,01	7,25	99,89	75,68
RFH-10	72,78	13,39	3,38	0,60	0,23	1,15	0,01	2,21	0,09	0,01	5,24	99,23	82,27
RFH-11	69,07	14,83	3,91	0,59	0,32	1,67	0,01	2,05	0,40	0,01	6,13	99,36	81,34
RFH-13	70,40	14,19	4,26	0,42	0,10	2,21	0,01	1,65	0,05	0,01	7,09	100,43	87,92
RFH-15	70,99	14,69	4,53	0,55	0,77	1,29	0,01	2,16	0,05	0,01	3,92	100,47	70,33
RFH-16	72,46	14,38	3,35	0,58	0,21	1,15	0,02	2,25	0,09	0,02	4,22	98,86	83,08
RFH-17	71,60	15,89	4,91	0,81	0,23	1,62	0,02	2,92	0,07	0,02	4,63	102,82	81,72
RFH-18	67,66	16,03	2,48	0,41	0,31	1,25	0,01	2,55	0,09	0,01	5,68	96,82	80,43
RFH-19	75,38	14,84	2,24	0,49	0,38	1,26	0,01	2,51	0,07	0,01	2,61	100,54	76,27
RFH-20	72,85	15,74	2,08	0,35	0,07	1,31	0,02	2,65	0,03	0,02	5,29	100,89	80,48
RFH-21	71,77	16,60	1,63	0,26	0,32	1,42	0,02	2,46	0,04	0,02	5,06	100,31	80,45
RFH-22	75,23	13,11	1,75	0,35	0,26	1,86	0,02	1,32	0,04	0,02	4,33	99,67	75,93
RFH-23	69,53	14,56	5,53	0,77	0,20	1,60	0,03	2,89	0,02	0,03	2,73	98,16	78,82
RFH-24	72,54	13,12	3,46	0,56	0,28	1,32	0,02	2,60	0,02	0,02	4,92	99,63	74,15
RFH-25	72,24	15,09	2,13	0,42	0,48	2,09	0,01	2,04	0,01	0,01	3,42	99,24	74,33
RFH-26	72,03	13,06	1,76	0,24	0,22	2,08	0,02	3,36	0,01	0,02	5,69	98,63	75,83
RFH-27	73,96	15,13	1,82	0,27	0,09	0,80	0,01	2,15	0,03	0,01	4,41	98,76	85,26
RFH-29	70,55	13,25	4,39	0,49	0,11	2,15	0,06	2,31	0,10	0,06	5,01	98,69	81,53
RFH-31	70,87	15,53	3,41	0,32	0,37	0,86	0,01	1,57	0,01	0,01	3,71	98,27	75,66
RFH-32	73,01	13,36	3,91	0,35	0,15	0,51	0,04	1,85	0,01	0,04	6,62	99,92	84,99
RFH-34	70,39	15,27	3,14	0,72	0,23	1,29	0,06	3,07	0,02	0,06	3,51	99,06	72,35
RFH-35	71,66	15,21	2,86	0,73	0,03	1,37	0,05	2,52	0,01	0,05	4,81	99,35	84,33
RFH-36	70,94	16,50	3,97	0,76	0,04	1,44	0,09	2,50	0,06	0,09	4,21	100,60	85,89
RFH-37	68,74	17,93	1,81	0,73	0,04	1,33	0,03	2,34	0,01	0,03	6,88	99,92	87,06

Tabela 6-2: Valores de concentração dos elementos traços (expressos em ppm) e de razão Th/U registrados para as amostras rochas sedimentares da Formação Tatuí.

Amostra	V	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Sn	Cs	Ba	Hf	Ta	Th	U	Th/U
RFH-1	93,0	6,6	19,0	9,0	17,0	14,5	119,3	31,0	22,4	247,0	14,0	2,7	7,2	318,0	7,5	1,3	14,3	4,8	3,0
RFH-2	29,0	9,8	15,0	15,0	40,0	25,3	104,9	29,0	26,1	309,0	19,6	6,1	5,8	220,0	10,2	1,6	13,3	4,6	2,9
RFH-3	11,0	8,3	15,0	11,0	51,0	18,4	92,1	28,0	32,9	264,0	14,0	3,7	4,4	247,0	8,3	1,1	13,8	4,3	3,2
RFH-4	45,0	4,1	16,0	22,0	36,0	21,5	87,4	10,0	37,0	415,0	16,0	4,3	5,9	83,0	12,0	1,4	21,7	5,2	4,1
RFH-9	17,0	4,3	16,0	14,0	33,0	15,9	114,6	73,0	56,7	123,0	17,9	3,4	7,9	416,0	7,3	1,0	5,8	2,9	2,0
RFH-10	68,0	10,6	16,0	13,0	6,0	13,1	94,1	23,0	21,0	348,0	11,6	2,3	4,6	250,0	11,6	0,9	14,5	4,8	3,0
RFH-11	90,0	23,4	18,0	29,0	19,0	17,6	95,1	39,0	51,4	396,0	14,1	2,9	6,0	403,0	11,4	1,2	14,5	4,6	3,2
RFH-13	21,0	2,0	19,0	14,0	19,0	16,7	30,6	15,0	33,1	341,0	14,1	3,5	1,6	146,0	9,6	1,3	19,9	4,9	4,1
RFH-15	46,0	16,7	36,0	27,0	47,0	17,3	94,3	144,0	28,8	101,0	14,4	2,9	5,6	284,0	9,2	1,2	4,3	2,3	1,9
RFH-16	84,0	10,0	16,0	14,0	7,0	13,1	92,8	24,0	19,8	329,0	11,8	2,2	4,5	258,0	11,4	0,9	11,7	3,9	3,0
RFH-17	80,0	8,0	24,0	14,0	47,0	18,7	130,1	27,0	26,0	342,0	15,3	3,0	9,6	319,0	11,3	1,1	9,4	3,7	2,5
RFH-18	35,0	3,3	13,0	11,0	22,0	20,3	95,8	50,0	38,3	398,0	19,0	5,3	4,4	447,0	11,6	1,6	8,6	3,5	2,5
RFH-19	40,0	5,0	8,0	26,0	16,0	16,1	76,5	65,0	24,6	190,0	18,2	3,0	3,0	458,0	12,3	1,0	5,5	2,4	2,3
RFH-20	0,0	2,3	9,0	9,0	12,0	21,8	82,3	34,0	44,2	223,0	20,9	5,0	4,0	319,0	7,9	1,6	9,6	3,8	2,5
RFH-21	11,0	2,8	10,0	12,0	34,0	23,3	76,7	31,0	52,0	290,0	20,7	6,0	3,8	421,0	7,2	1,5	8,7	3,9	2,2
RFH-22	6,0	1,7	9,0	9,0	25,0	16,7	59,5	63,0	34,2	212,0	16,6	4,6	3,6	410,0	9,6	1,4	6,7	2,7	2,5
RFH-23	57,0	9,8	24,0	13,0	49,0	16,3	158,8	41,0	27,0	250,0	16,4	1,0	8,9	372,0	8,3	1,0	7,7	2,6	2,9
RFH-24	40,0	4,7	16,0	24,0	41,0	12,7	98,4	60,0	21,4	138,0	11,0	0,3	4,8	364,0	10,0	0,5	6,8	2,9	2,3
RFH-25	47,0	4,4	14,0	31,0	67,0	16,6	79,1	119,0	54,6	127,0	14,3	0,9	3,4	533,0	9,6	0,8	5,8	2,5	2,3
RFH-26	57,0	1,1	13,0	19,0	41,0	25,1	107,7	44,0	57,7	114,0	22,4	4,0	3,0	408,0	7,0	1,5	7,4	3,1	2,4
RFH-27	8,0	11,0	14,0	40,0	42,0	11,7	52,0	25,0	21,5	394,0	8,2	1,2	3,2	115,0	4,8	0,4	13,1	3,9	3,3
RFH-29	40,0	6,5	23,0	29,0	87,0	17,5	92,0	41,0	41,0	161,0	15,4	2,8	4,3	1209,0	6,5	0,7	12,7	3,8	3,4
RFH-31	14,0	1,5	8,0	14,0	13,0	12,0	67,1	102,0	21,3	232,0	13,3	0,5	3,6	985,0	8,2	0,6	7,5	2,9	2,6
RFH-32	13,0	3,6	20,0	10,0	35,0	9,5	73,7	49,0	19,1	318,0	10,0	0,3	3,0	409,0	7,6	0,3	12,1	3,7	3,3
RFH-34	42,0	8,9	13,0	19,0	85,0	15,6	125,6	106,0	21,9	134,0	16,6	1,4	5,2	546,0	5,6	0,8	4,6	2,5	1,8
RFH-35	74,0	9,9	24,0	11,0	57,0	15,2	134,0	27,0	66,9	396,0	18,2	2,0	4,2	423,0	9,5	1,1	17,7	4,9	3,6
RFH-36	34,0	23,4	18,0	14,0	68,0	16,8	140,3	24,0	64,4	412,0	16,6	1,4	5,5	437,0	7,8	1,1	14,3	4,5	3,2
RFH-37	52,0	14,5	17,0	14,0	56,0	16,9	133,0	19,0	82,9	385,0	18,8	1,8	5,6	337,0	7,8	1,1	17,4	4,8	3,6

Tabela 6-3: Valores de concentração dos elementos terras raras (ppm), somatório dos elementos terras raras (Σ REE em ppm) e de razão La/U para as amostras de rochas sedimentares da Formação Tatuí.

Amostra	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Σ REE	La/Lu
RFH-1	26,2	69,2	6,3	24,3	4,8	1,0	4,3	0,9	4,1	1,1	2,8	0,7	3,0	0,7	149,2	40,3
RFH-2	21,9	31,8	4,8	18,8	3,9	0,7	4,2	0,7	4,5	0,9	2,5	0,4	2,4	0,4	97,7	57,6
RFH-3	46,0	55,6	8,6	32,8	6,3	1,0	6,0	0,9	5,3	1,1	3,1	0,4	2,5	0,4	169,9	127,8
RFH-4	32,1	32,1	6,5	27,2	5,2	1,0	5,7	0,9	5,5	1,2	3,3	0,5	2,9	0,5	124,5	68,3
RFH-9	51,7	68,5	11,7	45,9	9,3	1,6	9,9	1,6	9,3	1,8	5,7	0,9	5,5	0,9	224,2	57,4
RFH-10	22,6	102,0	4,5	17,5	3,1	0,6	2,5	0,5	3,3	0,8	2,2	0,4	2,9	0,5	163,4	47,1
RFH-11	33,7	63,9	9,2	36,7	7,6	1,7	7,8	1,3	8,5	1,8	5,4	0,8	5,9	0,9	185,0	37,0
RFH-13	20,2	26,8	5,0	20,2	3,8	0,8	4,7	0,8	5,5	1,2	4,1	0,6	3,9	0,6	98,0	36,1
RFH-15	43,1	71,5	8,3	31,3	5,9	1,0	5,1	0,8	5,1	1,1	3,7	0,5	3,8	0,5	181,7	81,3
RFH-16	24,3	108,7	4,7	18,1	3,3	0,5	2,9	0,5	3,1	0,7	2,3	0,4	2,7	0,5	172,5	54,0
RFH-17	27,6	40,6	5,3	19,5	3,7	0,6	3,6	0,7	4,3	0,9	2,9	0,5	3,1	0,5	113,6	56,3
RFH-18	39,2	58,5	8,6	32,7	6,4	0,9	6,1	1,0	6,8	1,4	4,4	0,7	4,9	0,8	172,2	51,6
RFH-19	38,4	55,9	8,9	33,6	6,7	0,9	5,7	0,8	4,8	1,0	2,7	0,4	3,3	0,5	163,6	72,5
RFH-20	48,8	83,1	12,2	47,1	9,5	1,3	8,5	1,4	8,3	1,6	4,8	0,7	4,4	0,7	232,3	75,1
RFH-21	54,0	130,3	13,3	50,2	10,9	1,2	8,7	1,4	8,8	1,9	5,9	0,8	5,4	0,8	293,5	71,1
RFH-22	33,5	50,0	8,4	32,3	7,1	0,9	6,2	1,1	6,1	1,2	3,5	0,6	3,9	0,6	155,2	58,8
RFH-23	46,1	92,7	10,3	38,2	6,0	1,0	6,1	0,7	4,9	0,9	3,0	0,4	3,3	0,3	213,9	135,6
RFH-24	38,1	61,5	8,6	31,7	5,5	1,0	4,8	0,6	4,0	0,7	2,4	0,2	2,4	0,3	161,8	131,4
RFH-25	55,8	62,1	13,2	53,2	10,6	1,7	11,8	1,5	9,4	1,8	5,3	0,7	5,1	0,7	232,8	77,5
RFH-26	57,2	141,7	14,2	51,6	9,9	1,1	9,4	1,4	9,4	2,0	7,0	1,0	6,9	0,9	313,6	66,5
RFH-27	18,0	26,1	3,8	15,8	2,3	0,5	3,6	0,5	3,4	0,7	1,9	0,2	1,7	0,2	78,6	100,0
RFH-29	42,8	43,6	10,3	39,6	7,2	1,4	7,8	1,1	7,0	1,4	4,4	0,6	4,1	0,5	171,7	87,3
RFH-31	13,8	26,2	3,8	14,0	2,2	0,4	2,5	0,4	3,5	0,7	2,5	0,3	2,6	0,3	73,0	53,1
RFH-32	25,6	46,5	5,0	18,1	2,5	0,4	2,4	0,3	2,6	0,5	1,7	0,2	1,8	0,2	107,6	128,0
RFH-34	47,1	92,4	10,0	35,5	5,6	0,8	4,5	0,5	3,9	0,7	2,5	0,3	2,5	0,5	206,7	94,2
RFH-35	87,2	150,4	21,0	83,7	15,3	2,9	15,5	2,0	11,8	2,1	6,4	0,8	5,5	0,8	405,5	110,4
RFH-36	71,5	121,5	18,4	71,5	14,2	2,8	14,6	2,0	11,9	2,2	6,9	0,8	5,6	0,8	344,5	95,3
RFH-37	35,0	71,3	7,3	30,1	7,5	3,5	17,9	2,4	13,9	2,8	7,8	1,0	6,6	0,6	207,6	58,3

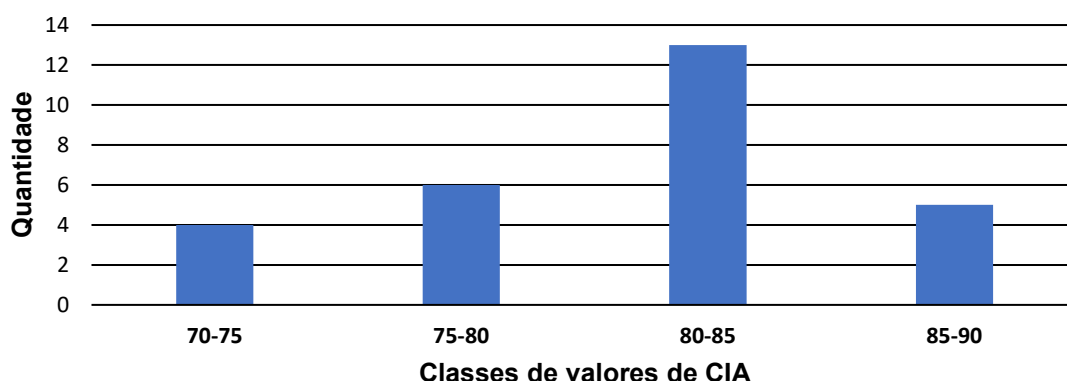


Figura 6-1: Agrupamento das amostras analisadas em diferentes quatro classes baseadas nos valores de CIA.

A influência de processos de intemperismo químico sobre as rochas da Formação Tatuí pode ser observada em lâminas petrográficas (Fig. 6-2), a partir do aumento gradual da fração de argilominerais neoformados. Nestas lâminas, bem como nos trabalhos de campo, não foi possível distinção dos argilominerais presentes.

Ressalta-se que a presença de argilominerais com cor natural amarelo-creme a amarronzada, relevo e birrefringência baixos, distribuídos preferencialmente ao redor de grãos de feldspato, o que sugere formação secundária por intemperismo. Com base em suas características ópticas, sugere-se que a referida fração pode corresponder à caulinita neoformada. Há ainda um segundo conjunto de argilominerais caracteristicamente preservados, sem evidência, portanto, de atuação intempérica posterior. Sob a microscopia óptica, verificou-se que ao menos parte deles apresenta propriedades compatíveis com a illita, a exemplo da cor branca, além de relevo e birrefringência moderados. As dimensões reduzidas tipicamente constatadas para os argilominerais representou um limitante para a determinação precisa de um deles através do emprego da microscopia convencional (Deer *et al.*, 2013; Nesse, 2013; Navarro *et al.*, 2017).

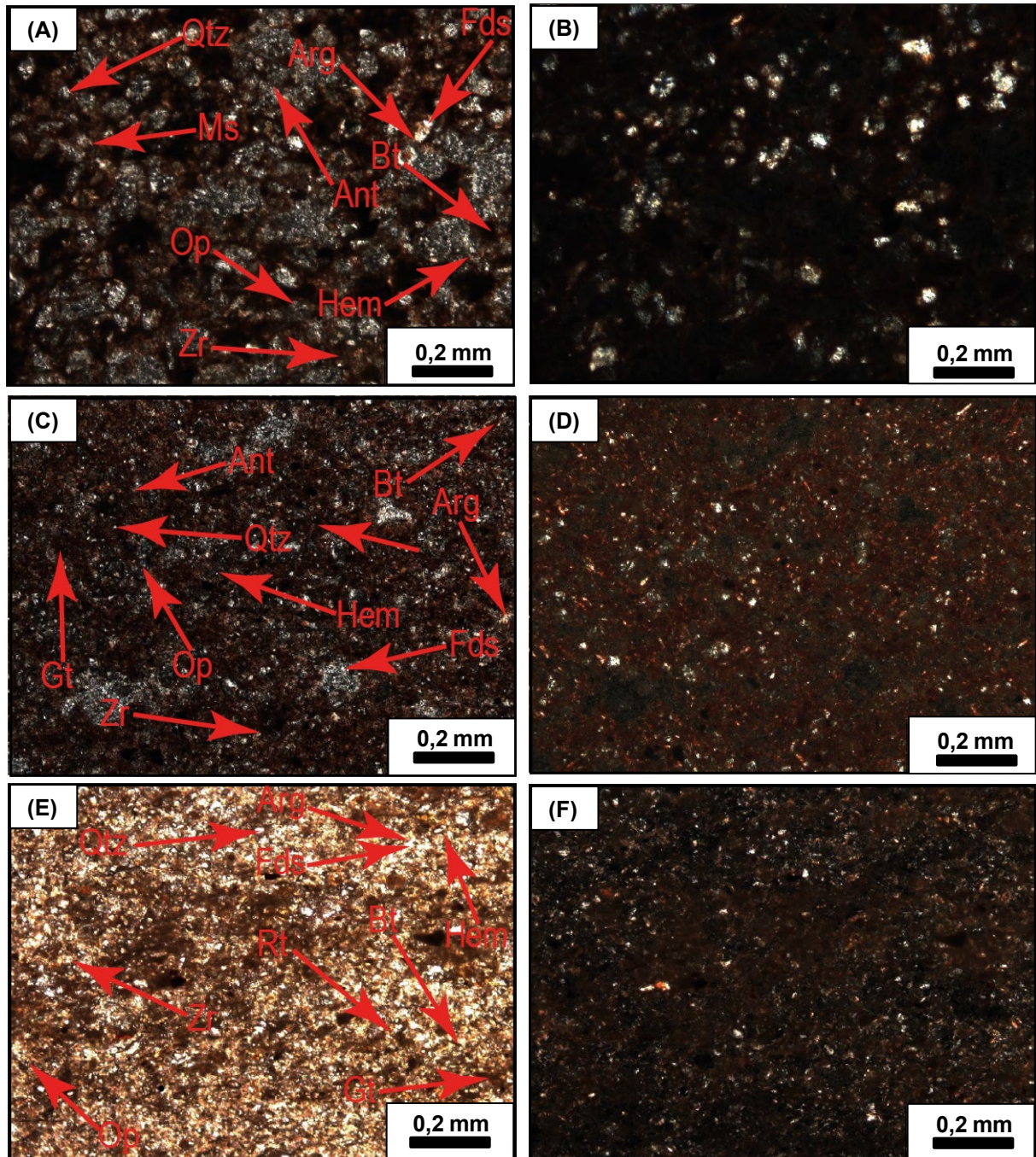


Figura 6-2: Fotomicrografia das lâminas RFH-24 (A e B), RFH-23 (C e D) e RFH-37 (E e F), visando destacar o crescimento progressivo de argilominerais neoformados (Siglas: Ant – anatásio, Arg – argilominerais, Bt - biotita, Fds – feldspatos, Gt – goethita, Hem – hematita, Ms – muscovita, Op – opacos, Qtz – quartzo e Zr – zircão).

De modo a verificar se há alguma relação entre as concentrações Th, U e da razão Th/U em função do aumento dos processos de intemperismo químico, houve a plotagem desses dados em diagramas binários específicos (Fig. 6-3). Conforme pode ser observado, há correlação positiva significativa entre Th, U e da razão Th/U com o aumento nos valores CIA. Ao analisar o somatório dos elementos terras raras (ΣETR),

bem como da razão La/Lu em função do CIA (Fig. 6-4), percebe-se a inexistência de correlação significativa entre ambos com o aumento dos mesmos. Esses comportamentos são demonstrados estatisticamente através de seus coeficientes de correlação (" r "), cujos valores estão indicados acima dos respectivos diagramas.

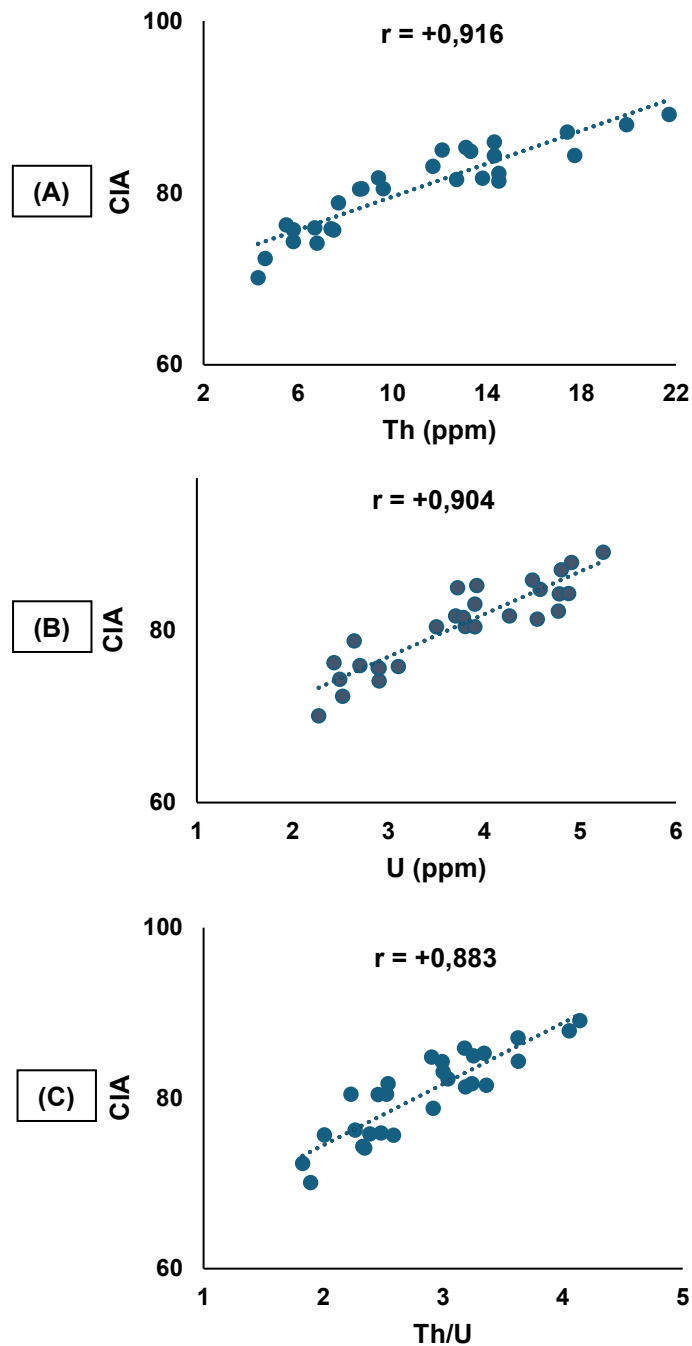


Figura 6-3: Diagramas binários mostrando a variação de Th (A), U (B) e da razão Th/U (C) em função de CIA.

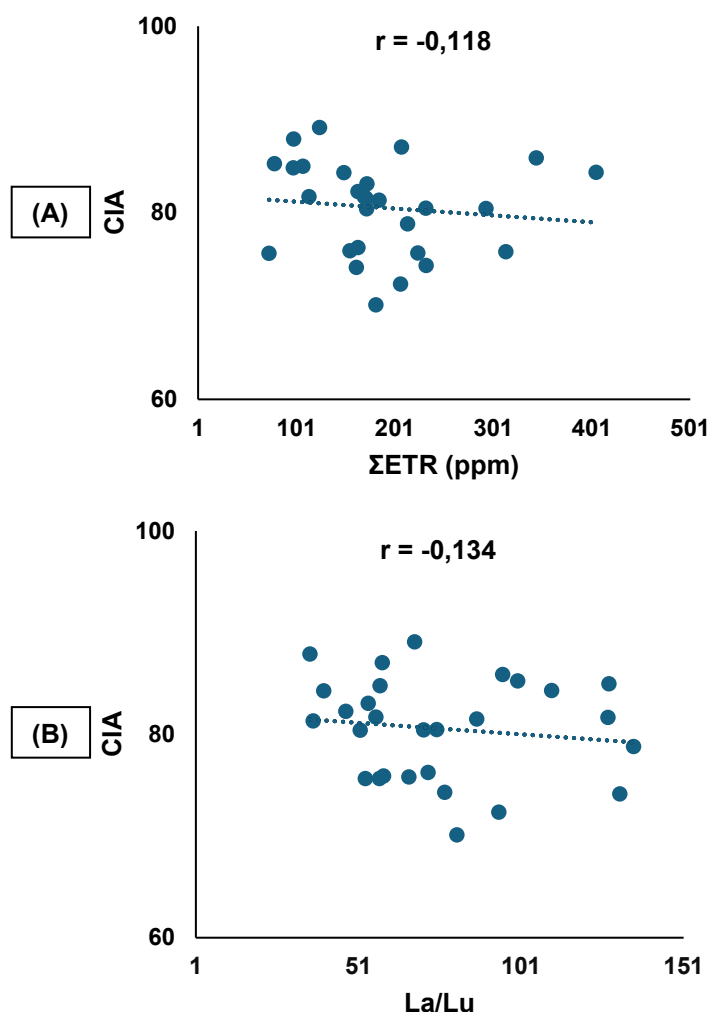


Figura 6-4: Diagramas binários mostrando a variação da somatória dos elementos terras raras (ΣETR) (A) e da razão La/Lu (B) em função de CIA.

No que concerne ao FE, os valores relativos a este parâmetro quantitativo para cada uma das quatro classes de amostras, compartmentadas com base em seus respectivos valores de CIA, podem ser consultados na Tab. 6-4. Os valores limítrofes dos intervalos dessas classes estão delineados no quarto capítulo da presente Tese.

Em relação ao enriquecimento ou empobrecimento dos elementos analisados, para os elementos maiores, na classe contendo amostras submetidas a uma menor intensidade de intemperismo químico (70-75), existe um enriquecimento de Al_2O_3 (1,04), Fe_2O_3 (2,00), K_2O (1,22), MgO (1,79) e TiO_2 (2,02). Já na classe contendo os exemplares mais intemperizados (85-90), denota-se que todos eles se encontram no campo intrínseco à depleção em relação ao elemento balizador, com os valores extremos sendo reportados para o TiO_2 (0,005).

Tabela 6-4: Valores relativos ao Fator de Enriquecimento (FE) obtidos para cada uma das quatro classes de amostras compartimentadas com base em seus respectivos valores de CIA.

Óxidos dos elementos maiores					Elementos terras raras				
CIA	70-75	75-80	80-85	85-90	CIA	70-75	75-80	80-85	85-90
SiO₂	0,79	0,80	0,32	0,25	La	0,73	0,64	0,25	0,18
Al₂O₃	1,04	1,02	0,44	0,37	Ce	1,60	1,61	0,68	0,40
Fe₂O₃	2,00	1,88	0,85	0,60	Pr	1,74	1,66	0,62	0,46
K₂O	1,22	1,10	0,47	0,33	Nd	1,65	1,57	0,60	0,46
MgO	1,79	1,82	0,64	0,53	Sm	1,35	1,35	0,52	0,42
TiO₂	2,02	1,52	0,75	0,61	Eu	1,80	1,53	0,69	0,87
CaO	0,67	0,40	0,12	0,04	Gd	1,37	1,40	0,52	0,63
MnO	0,52	0,58	0,67	0,21	Tb	1,09	1,24	0,49	0,53
Na₂O	0,27	0,21	0,02	0,00	Dy	1,10	1,24	0,48	0,51
P₂O₅	0,41	0,27	0,16	0,18	Ho	1,00	1,21	0,47	0,49
Elementos traços					Er	1,08	1,26	0,47	0,48
V	3,61	2,62	1,61	0,85	Tm	0,96	1,34	0,51	0,43
Co	3,57	1,61	1,35	1,45	Yb	1,14	1,40	0,50	0,44
Ni	1,36	0,89	0,47	0,37	Lu	0,84	0,95	0,38	0,27
Cu	3,47	2,17	0,80	0,92					
Zn	4,94	2,43	1,11	1,17					
Ga	1,19	1,30	0,54	0,41					
Rb	1,23	1,21	0,49	0,35					
Sr	1,18	0,71	0,15	0,07					
Y	1,14	1,32	0,51	0,55					
Zr	1,00	1,00	1,00	1,00					
Nb	1,15	0,96	0,52	0,39					
Sn	0,33	0,67	0,33	0,19					
Cs	1,43	1,50	0,62	0,42					
Ba	0,75	0,88	0,28	0,12					
Hf	1,01	1,03	0,45	0,32					
Ta	0,77	0,98	0,42	0,31					
Th	1,93	2,42	1,79	1,99					
U	1,75	1,91	1,16	1,03					

Ao se analisar os elementos traços, para a classe contendo as amostras menos intemperizadas, observa-se enriquecimento em V (3,61), Co (3,57), Ni (1,36), Cu (3,47), Zn (4,94), Ga (1,19), Sr (1,23), Y (1,14), Nb (1,15), Cs (1,43), Hf (1,01), Th (1,93) e U (1,75). Para as concentrações destes elementos para a classe de amostras mais intemperizadas, foi verificado o enriquecimento para Co (1,45), Zn (1,17), Th (1,99) e U (1,03). Especificamente às concentrações de Zr claramente aumentam em função dos processos de intemperismo (Fig. 6-5), fato este que pode ser verificado, em termos estatísticos, pelo pronunciado valor positivo apresentado pelo coeficiente de correlação (+0,839). A amostra contendo o menor valor de CIA (70,3) possui concentração de 101 ppm, enquanto a que exibe o maior valor de CIA (89,1) apresenta valor de concentração (415 ppm). Todos os elementos terras raras demais apresentaram enriquecimento, excetuando-se o La (0,73), Tm (0,96) e Lu (0,84) e Ho (1,00) para as amostras com menor grau de alteração intempérica. Em relação as amostras com maior atuação dos processos de intemperismo químico, nenhum elemento terra rara sofreu enriquecimento.

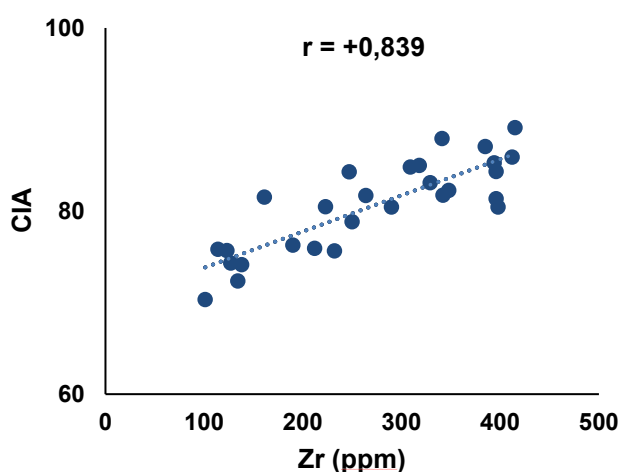


Figura 6-5: Diagrama binário mostrando a variação das concentrações de Zr para as amostras analisadas em função dos valores de CIA.

Os padrões de enriquecimento e depleção constatados para os óxidos dos elementos maiores, elementos traços e terras raras refletem a mobilidade geoquímica diferencial em função do grau de intemperismo. De um modo geral, o enriquecimento de óxidos como Al_2O_3 , Fe_2O_3 e TiO_2 , assim como de elementos traços como Zr, Th e U, é comumente associado à baixa mobilidade e concentração dos mesmos em fases residuais resistentes e óxidos secundários. Em contrapartida, a depleção progressiva

verificada para os demais óxidos de elementos maiores, bem como para a maioria dos elementos traços e terras raras presentes nas amostras, servem como indicativos da maior mobilidade apresentada por eles, com a posterior lixiviação dos mesmos conforme os processos intempéricos se intensificam (Fleet, 1982; Mason & Moore, 1982; Krauskopf & Bird, 1995; Albarède, 2009).

6.2 Processos de interação rocha-água-rocha

Houve a utilização de diagrama ternário ACNK para verificar a tendência do intemperismo químico nas rochas da Formação Tatuí (Nesbitt & Young, 1984). Com o objetivo de facilitar a visualização dos valores de CIA contidos em cada uma das quatro classes elencadas anteriormente, houve a inserção de um eixo de ordenadas à esquerda deste diagrama (McLennan *et al.*, 1993 e Fedo *et al.*, 1995). A maioria das amostras coletadas em afloramentos da Formação Tatuí encontram-se submetidas à um intemperismo químico forte (CIA acima de 80), com as demais podendo ser classificadas como intemperismo químico moderado (CIA de 60 a 80) (Nesbitt & Young, 1984) (Fig. 6-6).

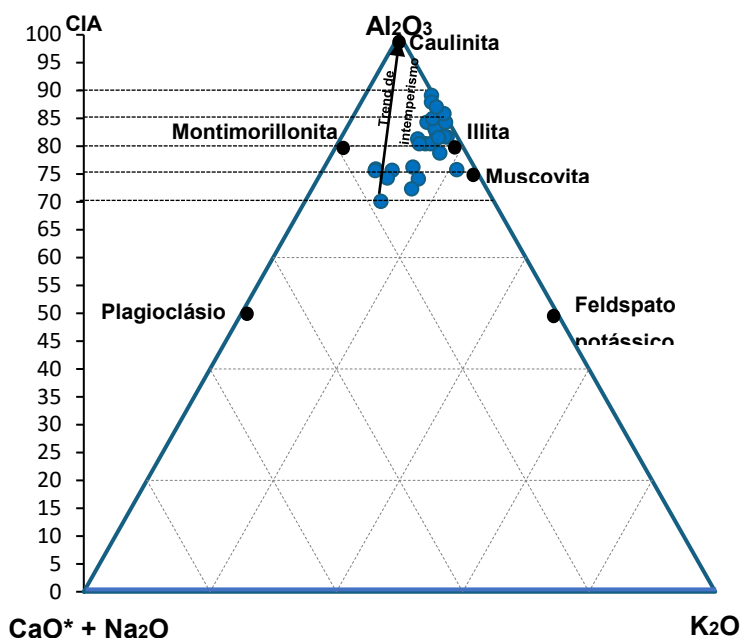
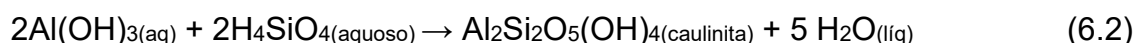
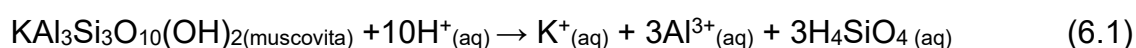


Figura 6-6: Diagrama ternário ACNK ilustrando a intensidade dos processos de intemperismo químico para as rochas da Formação Tatuí (Nesbitt & Young, 1984).

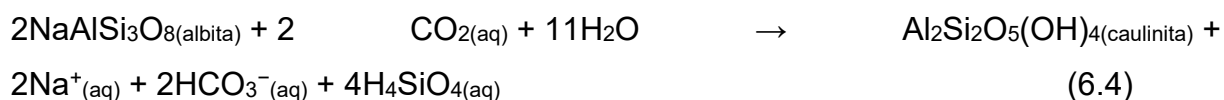
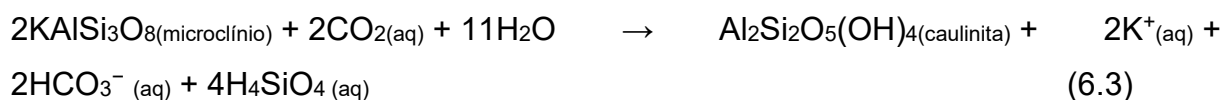
Ao analisar de maneira integrada, o “*trend*” de intemperismo constatado junto ao diagrama ACNK (Fig. 6-2) associado a presença de argilominerais neoformados

em função do incremento nos valores de CIA, sugere-se um processo de intemperismo químico referente a hidrólise parcial (ou monossilificação) nas rochas da Formação Tatuí. Neste processo, o dióxido de carbono presente na atmosfera e, principalmente, gerado como consequência de atividade biológica (respiração de raízes e decomposição de matéria orgânica) presente no solo reage com as gotas de chuva formando ácido carbônico ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$). Posteriormente, há ionização de uma pequena parcela das moléculas do ácido, gerando íons H^+ e bicarbonatos ($\text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$), tornando as gotas de chuva levemente ácidas HCO_3^- . Além disso, quando as águas pluviais percolam os solos, havendo oxidação da matéria orgânica, com geração de H^+ e HCO_3^- ($\text{HCOOH} + 1/2 \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$). As águas enriquecidas em H^+ reagem com os minerais primários, com os elementos mais solúveis lixiviados dos perfis de intemperismo, tais como Na^+ , K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} , acompanhadas com parte da SiO_2 , que apresenta menor solubilidade em relação aos anteriores, e que, ao final, são transportados pelos rios até os oceanos. Os elementos menos solúveis concentram-se no perfil de intemperismo devido à formação de minerais secundários, tais como caulinita, goethita, gibbsita, anatásio, óxidos de Mg, entre outros (Pedro, 1964, 1966; Tardy, 1971, 1986; Teixeira *et al.*, 2009). As principais equações associadas à hidrólise parcial encontram-se delineadas abaixo:

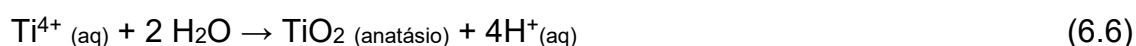
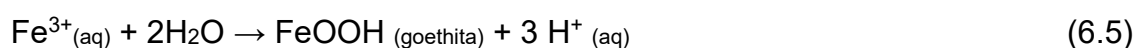
Dissolução incongruente da muscovita, gerando caulinita:



Hidrólise parcial do microclínio e albita, gerando caulinita:



Precipitação de goethita e anatásio:



A existência de uma correlação positiva verificada entre os elementos Th e U (Fig. 6-3A e 6-3B, respectivamente), bem como na razão Th/U com o incremento nos valores de CIA (Fig. 6-3C), devem-se devido à baixa solubilidade apresentada por estes elementos durante o processo de interação água-rocha. Como são instáveis em condições oxidantes, eles se precipitam como óxidos e/ou hidróxidos de ferro, sendo a solubilidade do U relativamente superior ao Th em condições oxidantes, permanecendo em solução sob forma de íons bivalentes de uranilo (UO_2^{2+}) e lixiviado do sistema (Langmuir, 1978; Langmuir & Herman, 1980). Esse resultado pode ser observado com clareza na Fig. 6-3C, no qual as razões Th/U crescem com o aumento dos valores de CIA, de aproximadamente 1,8 para 4,1.

Ao analisar o somatório dos elementos terras raras (ΣETR), bem como da razão La/Lu em função do CIA (Fig. 6-4A e 6-4B, respectivamente), percebe-se a inexistência de correlação significativa entre ambos com o aumento dos processos de intemperismo químico. Este fato indica que não houve uma remobilização efetiva dos elementos terras raras e nem mesmo o fracionamento dos mesmos em decorrência dos processos de intemperismo, diferentemente do que é verificado para as rochas da faixa de afloramentos da unidade analisada em áreas rurais do município de Tatuí, no interior paulista (Meneghel *et al.*, 2022).

Ao realizar uma análise global, considera-se que a diferença nos padrões de enriquecimento (Fig. 6-5) das amostras reflete a complexidade dos processos de intemperismo químico, os quais são influenciados por fatores adicionais em relação à intensidade dos processos intempéricos, a exemplo dos minerais reagentes, assim como das condições geoquímicas locais. Ademais, o aumento verificado na concentração de Zr com o avanço do intemperismo químico (Fig. 6-6) serve como indicativo de que a utilização do referido elemento como referencial balizador do EF cumpriu o seu propósito (Nesbitt & Young, 1982; Taylor & McLennan, 1985; McLennan, 1989).

7 CONCLUSÕES

Ainda existem várias lacunas a serem preenchidas em relação aos sistemas fonte-sumidouro em todas unidades estratigráficas da BSP, bem como um estudo sobre os processos de intemperismo atuantes sobre suas rochas quando expostas na superfície da Terra. Neste trabalho, as rochas da Formação Tatuí na região centro-leste do estado de São Paulo foram estudadas, com as seguintes conclusões podendo ser inferidas:

- i) De maneira geral, a composição das rochas da área-fonte estaria associada à litotipos ígneos félsicos ao longo de todo o tempo de deposição da Formação Tatuí;
- ii) As condições paleoclimáticas atuantes nas rochas da área fonte eram associadas a um clima temperatura frio, com seus sedimentos apresentando maturidade química considerada incipiente;
- iii) Os baixos valores de CIA constatados para as amostras de rochas frescas analisadas reforçam a prevalência de atuação dos processos de intemperismo físico atuante junto à área-fonte;
- iv) Os cristais de zircão datados apresentam idades entre $2,646 \pm 42$ e 294 ± 9 Ma, com aproximadamente 60,27% dos resultados concentrados no intervalo Toniano-Ediacarano. O período com maior incidência de idades foi o Ediacarano, considerado o auge do Ciclo Brasileiro, com cerca de 33,56% do total;
- v) A deposição da Formação Tatuí iniciou-se por volta de 300 Ma, com base na idade apresentada pelo cristal de zircão mais novo e se estendeu por volta de 10 Ma, haja vista a ausência do registro de zircão cuja cristalização encontra-se associada ao evento vulcanogênico Choiyoi;
- vi) As medições de paleocorrentes para esta unidade possuem sentidos de área-fonte para NNE, colaborando com a consideração de a Faixa Brasília ser a área fonte para os sedimentos constituintes das rochas siliciclásticas da Formação Tatuí;
- vii) Após o transporte, a partir das considerações detalhadas de elementos faciológicos em rochas siliciclásticas da Formação Tatuí, considera-se que os paleoambientes deposicionais foram o marinho raso plataformar, além do transicional, com a contribuição de sistemas flúvio-deltaicos, barras de maré e, em âmbito local, cunhas clásticas e leques aluviais;

viii) Os valores de CIA referentes às amostras intemperizadas encontram-se entre 70,11 e 89,12, sendo que maioria delas (~64,3%) foram submetidas à forte intensidade de intemperismo químico, exibindo valores de CIA superiores a 80;

ix) A hidrólise parcial, mais especificamente a monossilicização, foi o processo de intemperismo químico atuante nas amostras intemperizadas, com a destacada transformação de feldspato em caulinita, dissolução incongruentes de moscovita formando o mesmo argilomineral secundário anteriormente delineado, além da precipitação de goethita e anatásio;

x) Observa-se uma correlação positiva entre Th, U e a razão Th/U com o aumento nos valores de CIA, devido à baixa solubilidade destes elementos durante a interação água-rocha. Ainda, ao examinar a soma total dos elementos terras raras (Σ ETR) e a relação La/Lu em função de CIA, não se observou uma clara correlação entre esses fatores à medida que os processos de intemperismo químico se intensificam;

xi) Como sugestões de pesquisas futuras que aprofundem o entendimento acerca da área-fonte desta unidade, destaca-se o desenvolvimento de estudos pautados especificamente no entendimento de seus minerais pesados através de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), bem como a realização de análise granulométrica detalhada após a desintegração das amostras.

xii) Por fim, sugere-se a condução de futuras investigações voltadas às demais unidades litoestratigráficas da Supersequência Gondwana I, na região centro-leste do Estado de São Paulo (Grupo Itararé e Formação Irati, associadas ao conhecimento já adquirido sobre a Formação Corumbataí), fornecendo, assim, um conjunto de informações mais robustas sobre os sistemas fonte-sumidouro atuantes durante a deposição desta supersequência da BSP.

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. N. Geografia e Planejamento. **Revista de História**, v. 39, n. 80, p. 257-271, 1969. DOI 10.11606/issn.2316-9141.rh.1969.128903. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9141.rh.1969.128903>. Acesso em: 15 dez. 2024.
- ALBARÈDE, F. **Geochemistry: an introduction**. Cambridge: Cambridge University Press, 2009.
- ALEGRI, V. **Léxico Estratigráfico do Brasil: Formação Tatuí. Serviço Geológico do Brasil**, 1984. Brasília: Disponível em: <https://www.sgb.gov.br/lexico/pesqnome.php?passvar=TATU%CD,%20Forma%E7%E3o::Permiano&aplicacao=>. Acesso em: 14 jun. 2025.
- ALKMIM, F. O que faz de um cráton um cráton? O Cráton do São Francisco e as revelações Almeidianas ao delimitá-lo. *In*: MANTESSO NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. D. R.; NEVES, B. B. de B. (eds.). **Geologia do Continente Sul-americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo: Editora Becca, 2004. p. 17-35.
- ALMEIDA, F. F. M. de. Fundamentos geológicos do relevo paulista. **Boletim do Instituto Geográfico e Geológico**, v. 41, p. 169-263, 1964.
- ALMEIDA, F. F. M. de. Fundamentos geológicos do relevo paulista. **Revista do Instituto Geológico**, v. 39, n. 3, p. 9-75, 2018. DOI 10.33958/revig.v39i3.600. Disponível em: <https://doi.org/10.33958/revig.v39i3.600>. Acesso em: 15 dez. 2024 (Republicação da obra original com a editoração eletrônica do texto e das ilustrações).
- ALMEIDA, F. F. M.; BARBOSA, O. Geologia das quadriculas de Piracicaba e Rio Claro, Estado de São Paulo. **Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia**, Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), v. 143, p. 1-96, 1953.
- ALMEIDA, F. F. M.; MELO, M. S. A Bacia do Paraná e o vulcanismo mesozóico. *In*: BISTRICHI, C. A.; CARNEIRO, C. D. R.; DANTAS, A. S. L.; PONÇANO, W. L.; CAMPANHA, G. A. C.; NAGATA, N.; ALMEIDA, M. A.; STEIN, D. P.; MELO, M. S.; CREMONINI, O. A. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo**. Escala 1:500.000. Relatório pertencente ao Programa de Desenvolvimento de Recursos Minerais (Pró-Minério), da Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia (SICCP), do Governo do Estado de São Paulo. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1981. p. 46-81.
- ANFACER – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE CERÂMICA PARA REVESTIMENTOS, LOUÇAS SANITÁRIAS E CONGÊNERES. **Panorama 2025: Overview**. São Paulo: ANFACER, 2025. Projeto Ceramics of Brazil. Disponível em: https://cdn.prod.website-files.com/60c391baead50a6c731a3193/67ebfed1c5f1b59ff2bd3b51_Panorama%20Anfacer%202025%20Bx.pdf. Acesso em: 14 jun. 2025.
- ASPACER – ASSOCIAÇÃO PAULISTA DAS CERÂMICAS DE REVESTIMENTO. Estatísticas. Dados estatísticos de 2020: setor de revestimento cerâmico paulista.

Associação Paulista das Cerâmicas de Revestimento, 2021. Disponível em: <https://www.aspacer.com.br/estatisticas/>. Acesso em: 15 dez. 2024.

ASPACER – ASSOCIAÇÃO PAULISTA DAS CERÂMICAS DE REVESTIMENTO. Quem Somos. **Associação Paulista das Cerâmicas de Revestimento**, 2021. Disponível em: <https://www.aspacer.com.br/conheca/quem-somos/>. Acesso em: 15 dez. 2024.

ASSINE, M. L.; ZACHARIAS, A. A.; PERINOTTO, J. A. J. O trato deposicional Tatuí e a transgressão Taquaral no centro-leste do Estado de São Paulo. *In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE*, 6., São Pedro (SP). **Anais...** Itatiaia (SP): Sociedade Brasileira de Geologia, 1999. p. 53. Disponível em: http://sbg.sitepessoal.com/anais_digitalizados/simposiodosudeste/1999.zip. Acesso em: 28 dez. 2024.

ASSINE, M. L.; ZACHARIAS, A. A.; PERINOTTO, J. A. J. Paleocorrentes, paleogeografia e seqüências deposicionais da Formação Tatuí, centro-leste do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 33, n. 1, p. 33-40, 2003. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.25249/0375-7536.20033313340>. Acesso em: 28 dez. 2024.

AZEVEDO, M. C. de. **Caracterização Cristalográfica e Isotópica do Mineral Zircão Através do Método de Traços De Fissão, U-Pb e U-Th/He**: Geocronologia da Província Borborema, RN, Brasil. 2021. 123 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Materiais) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2021. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/11449/214381/3/azevedo_mc_me_bauru.pdf. Acesso em 05 dez. 2024.

BARBOSA, O.; ALMEIDA, F. F. M. de. Nota sobre a estratigrafia da Série Tubarão em São Paulo. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 21, p. 65-68, 1949.

BARBOSA, O.; GOMES, F. A. Pesquisa de petróleo na Bacia do rio Corumbataí. **Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia**, Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), v. 171, p. 1-40, 1958.

BEURLIN, K. Estratigrafia e paleogeografia das formações Gondawanicas no sul do Brasil. **Notas Preliminares e Estudos**, Divisão de Geologia e Mineralogia do Departamento Nacional de Pesquisa Mineral, v. 59, p. 1-10, 1953.

BHATIA, M. R. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones. **The Journal of geology**, v. 91, n. 6, p. 611-627, 1983. DOI 10.1086/628815. Disponível em: <https://doi.org/10.1086/628815>. Acesso em: 06 dez. 2024.

BHATIA, M. R.; CROOK, K. A. W. Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins. **Contributions to mineralogy and petrology**, v. 92, n. 2, p. 181-193, 1986. DOI 10.1007/BF00375292. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/BF00375292>. Acesso em: 30 abr. 2024.

BLATT, H.; MIDDLETON, G. V.; MURRAY, R. C. **Origin of Sedimentary Rocks**. 2ª Edição. Inglewood Cliffs: Prentice-Hall, 1980.

BOGGS JUNIOR, S. **Principles of Sedimentology and Stratigraphy**. 4ª Edição. Upper Saddle River: Pearson Education, 2006.

BRISTRICHI, C. A. **Mapa geológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1981. 1 mapa, color. Escala 1:500.000.

CAMPOS NETO, M. C. Orogenic Systems from Southwestern Gondwana: an approach to Brasiliano-Pan African Cycle and orogenic collage in Southeastern Brazil. *In*: CORDANI, U. G.; MILANI, E. J.; THOMAZ FILHO, A.; THOMAZ FILHO, D. A. (eds.) **Tectonic Evolution of South America**. Rio de Janeiro: In-Fólio, Produção Editorial, Gráfica e Programação Visual, 2000. p. 335-365.

CARBONARO, F. A.; GHILARDI, R. P. Fósseis do Devoniano de Goiás, Brasil (Sub-bacia Alto Garças, Bacia do Paraná). **Papéis Avulsos de Zoologia**, v. 56, p. 135-149, 2016. DOI 10.11606/0031-1049.2016.56. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/0031-1049.2016.56>. 11. Acesso em: 14 nov. 2024.

CASTRO, J. C.; MICHEL U.; ALVES C. F. C.; GRECCHI R. C. O Subgrupo Guatá na margem nordeste da Bacia do Paraná: uma revisão. *In*: SIMPÓSIO DE CRONOESTRATIGRAFIA DA BACIA DO PARANÁ, 1., Rio Claro. **Boletim de Resumos...** Rio Claro: Fundação para o Desenvolvimento da UNESP (Fundunesp), 1993. p. 55-56.

CAWOOD, P. A.; HAWKESWORTH, C. J.; DHUIME, B. Detrital zircon record and tectonic setting. **Geology**, v. 40, n. 10, p. 875-878, 2012. DOI 10.1130/G32945. Disponível em: <https://doi.org/10.1130/G32945.1>. Acesso em: 06 dez. 2024.

CHAHUD, A. **Paleontologia de vertebrados da transição entre os grupos Tubarão e Passa Dois (Neopaleozóico) no centro-leste do Estado de São Paulo**. 2007. 172 f. Dissertação (Mestrado em Geologia Sedimentar) – Instituto de Geociências (IGC), Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2007. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44139/tde-31072007-111405/pt-br.php>. Acesso em: 28 dez. 2024.

CHAHUD, A. **Geologia e paleontologia das formações Tatuí e Irati no centro-leste do Estado de São Paulo**. 2011. 299 f. Tese (Doutorado em Geoquímica e Geotectônica) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/dispo_niveis/44/44141/tde-29102012-120319/pt-br.php. Acesso em: 28 dez. 2024.

CHAHUD, A.; PACHECO, M. L. A. F.; MEIRA, F. V. E.; ROMERO, G. R.; PETRI, S. Paleontology and depositional environments of the Tatuí and Irati formations (Permian) in the Ponte Nova Farm, Ipeúna, state of São Paulo. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 42, n. 1, p. 198-212, 2012. DOI 10.25249/0375-7536.2012421198212. Disponível em: <https://doi.org/10.25249/0375-7536.2012421198212>. Acesso em: 28 dez. 2024.

CHAHUD, A.; PETRI, S. Levantamento inicial dos fósseis vegetais da Fácies Ibicatu, Formação Tatuí (Permiano) do Estado De São Paulo. *In*: PALEO SP, 25., 2009, Guarulhos. **Resumos...** Guarulhos (SP): Sociedade Brasileira de Paleontologia –

Núcleo São Paulo / Universidade Guarulhos, 2009. p. 43. Disponível em: <https://sbpbrasil.org/?mdocs-file=351>. Acesso em: 28 dez. 2024.

CHAHUD, A.; PETRI, S. Sarcopterygii do Topo da Formação Tatuí e Base da Formação Irati, Permiano, São Paulo, Brasil. **Revista Geociências**, v. 8, n. 1, p. 39-46, 2009. Disponível em: <http://revistas.ung.br/index.php/geociencias/article/download/797/841>. Acesso em: 28 dez. 2024.

CHAHUD, A.; PETRI, S. The Tatuí Formation (Early Permian, Paraná Basin), Brazil: Paleontology and Paleoenvironmental Considerations. **Earth Sciences Research Journal**, v. 19, n. 2, p. 153-158, 2015. DOI 10.15446/esrj.v19n2.50245. Disponível em: <https://doi.org/10.15446/esrj.v19n2.50245> e <http://dx.doi.org/10.15446/esrj.v19n2.50245>. Acesso em: 28 dez. 2024.

CHAHUD, A.; PETRI, S. Novos Dados Paleontológicos da Formação Tatuí (Eopermiano, Bacia do Paraná) no Centro-Leste do Estado de São Paulo. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 18, n. 1, p. 70-77, 2018.

CHEMALE JUNIOR, F.; HARTMANN, L. A.; SILVA, L. C. da. Stratigraphy and tectonism of the Brasiliano Cycle in southern Brazil. **Communications of the Geological Survey of Namibia**, v. 10, p. 151-166, 1995. Disponível em: http://www.mme.gov.na/files/publications/68a_Chemale%20Hartmann%20and%20da%20Silva_Brasiliano%20Cycle_Southern%20Brazil.pdf. Acesso em: 20 jan. 2024.

CHRISTOFOLETTI, S. R.; BATEZELLI, A.; MORENO, M. M. T. Caracterização geológica, mineralógica, química e cerâmica da Formação Corumbataí nos municípios de Tambaú, Porto Ferreira e Santa Rosa do Viterbo-SP, visando aplicação e diversificação de produtos no polo cerâmico de Santa Gertrudes. **Geociências**, v. 34, n. 4, p. 768-783, 2015. Disponível em: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/geociencias/article/view/10577/6969>. Acesso em: 14 nov. 2024.

CHRISTOFOLETTI, S. R.; MOTTA, J. F. M.; MENEGHEL, E. C.; MELCHIADES, F. G. Prospecting and characterization of plastic clays from the state of São Paulo, Brazil, as raw materials for porcelain stoneware tile production. **Clay Minerals**, p. 1-14, 2023. DOI 10.1180/clm.2023.22. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1180/clm.2023.22>. Acesso em: 28 dez. 2024.

COHEN, K.M.; FINNEY, S.C.; GIBBARD, P.L.; FAN, J. X. **The ICS International Chronostratigraphic Chart**, episodes, v. 36, p. 199-204, 2013 (Atualizado, versão 2024/12). Disponível em: <https://stratigraphy.org/ICSchart/ChronostratChart2024-12.pdf>. Acesso em: 05 jun. 2025.

COMISSÃO GEOGRÁFICA E GEOLÓGICA DE SÃO PAULO (CGG). **Relatório da Comissão Geográfica e Geológica de São Paulo**. [s.l.]: [s.n.], 1917.

COMISSÃO GEOGRÁFICA E GEOLÓGICA DE SÃO PAULO (CGG). **Relatório da Comissão Geográfica e Geológica de São Paulo**. [s.l.]: [s.n.], 1918.

CONCEIÇÃO, F. T.; BONOTTO, D. M. Distribuição de radionuclídeos, metais pesados e flúor em perfis de alteração nos complexos de Catalão (GO) e Tapira

(MG). **Geochimica Brasiliensis**, v. 20, n. 2, p. 175-190, 2006. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21715/gb.v20i2.243>. Acesso em: 05 dez. 2024.

CONCEIÇÃO, F. T. da; SANTOS, C. M. dos; SARDINHA, D. de S.; NAVARRO, G. R. B.; GODOY, L. H. Chemical weathering rate, denudation rate, and atmospheric and soil CO₂ consumption of Paraná flood basalts in São Paulo State, Brazil. **Geomorphology**, v. 233, p. 41-51, 2015. DOI 10.1016/j.geomorph.2014.10.040. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.10.040>. Acesso em: 06 dez. 2024.

CONCEIÇÃO, F. T. da; VASCONCELOS, P. M.; GODOY, L. H.; NAVARRO, G. R.; MONTIBELLER, C. C.; SARDINHA, D. S. Water/rock interactions, chemical weathering and erosion, and supergene enrichment in the Tapira and Catalão I alkaline-carbonatite complexes, Brazil. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 237, p. 106999, 2022. DOI 10.1016/j.gexplo.2022.106999. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2022.106999>. Acesso em: 06 dez. 2024.

COPELAND, P. On the use of geochronology of detrital grains in determining the time of deposition of clastic sedimentary strata. **Basin Research**, v. 32, n. 6, p. 1532-1546, 2020. DOI 10.1111/bre.12441. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/bre.12441>. Acesso em: 06 dez. 2024.

CORDANI, U. G.; D'AGRELLA FILHO, M. S.; NEVES, B. B. de B.; TRINDADE, R. I. F. Tearing up Rodinia: the Neoproterozoic palaeogeography of South American cratonic fragments. **Terra Nova**, v. 15, n. 5, p. 350-359, 2003. DOI 10.1046/j.1365-3121.2003.00506.x. Disponível em: <https://doi.org/10.1046/j.1365-3121.2003.00506.x>. Acesso em: 20 jan. 2025.

CULLERS, R. L. The controls on the major-and trace-element evolution of shales, siltstones and sandstones of Ordovician to Tertiary age in the Wet Mountains region, Colorado, USA. **Chemical Geology**, v. 123, n. 1-4, p. 107-131, 1995. DOI 10.1016/0009-2541(95)00050-V. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(95\)00050-V](https://doi.org/10.1016/0009-2541(95)00050-V). Acesso em: 15 jan. 2025.

CURTOLO, M. Z.; MONTIBELLER, C. C.; NAVARRO, G. R. B. The Tatuí Formation as a source of raw material in the ceramic pole of Santa Gertrudes (SP). **REM - International Engineering Journal**, v. 73, n. 1, p. 69-75, 2020. DOI doi.org/10.1590/0370-44672019730100. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0370-44672019730100>. Acesso em: 28 dez. 2024.

DAEE – DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Hidrologia**: Banco de Dados Hidrológicos. DAAE, 2023. Disponível em: <http://www.hidrologia.daee.sp.gov.br/>. Acesso em 15 dez. 2024.

DAEMON, R. F.; QUADROS, L. P. Bioestratigrafia do Neopaleozóico da bacia do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 24., 1970, Brasília (DF). **Anais...** Brasília (DF): Sociedade Brasileira de Geologia, 1970, p. 359-412. Disponível em: http://sbg.sitepessoal.com/anais_digitalizados/1970-BRASILIA/CBG1970.pdf. Acesso em: 06 dez. 2024.

DAL POZZO, H. A. P.; ROSS, J. L. S. Geomorfologia da Depressão do Médio Tietê na região de Tietê e Cerquilha – SP. *In*: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 4., 2002, São Luís. **Anais...** São Luís, União da Geomorfologia Brasileira, 2002. v. 1, n. 45, p. 1-9. Disponível em: <http://lsie.unb.br/ugb/sinageo/4/1/45.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2024.

DAVIS, D. W. Optimum linear regression and error estimation applied to U–Pb data. **Canadian Journal of Earth Sciences**, v. 19, n. 11, p. 2141-2149, 1982. DOI 10.1139/e82-188. Disponível em: <https://doi.org/10.1139/e82-188>. Acesso em: 05 dez. 2024.

DEER, W. A.; HOWIE, R. A.; ZUSSMAN, J. **An Introduction to the Rock-Forming Minerals**. 3ª edição. Londres: Mineralogical Society, London, 2013. DOI 10.1180/DHZ. Disponível em: <https://doi.org/10.1180/DHZ>. Acesso em 22 jun. 2025.

DESSERT, C.; DUPRÉ, B.; GAILLARDET, J.; FRANÇOIS, L. M.; ALLÈGRE, C. J. Basalt weathering laws and the impact of basalt weathering on the global carbon cycle. **Chemical Geology**, v. 202, n. 3-4, p. 257-273, 2003. DOI 10.1016/j.chemgeo.2002.10.001. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2002.10.001>. Acesso em: 06 dez. 2024.

DICKINSON, W. R. Provenance and sediment dispersal in relation to paleotectonics and paleogeography of sedimentary basins. *In*: KLEINSPEHN, Karen L.; PAOLA, Chris (eds.). **New perspectives in basin analysis**. Berlim: Springer-Verlag, 1988. p. 3-25. DOI 10.1007/978-1-4612-3788-4. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-1-4612-3788-4>. Acesso em: 06 dez. 2024. (Frontiers in Sedimentary Geology).

DUBREUIL, V.; FANTE, K. P.; PLANCHON, O.; SANT'ANNA NETO, J. L. Os tipos de climas anuais no Brasil: uma aplicação da classificação de Köppen de 1961 a 2015. *Confins. Revue franco-brésilienne de géographie/Revista franco-brasileira de geografia*, n. 37, 2018. DOI 10.4000/confins.15738. Disponível em: <https://doi.org/10.4000/confins.15738>. Acesso em 15 dez. 2024.

DUPRÉ, B.; DESSERT, C.; OLIVA, P.; GODDÉERIS, Y.; VIERS, J.; FRANÇOIS, L.; MILLOT, R. Rivers, chemical weathering and Earth's climate. **Comptes Rendus Geoscience**, v. 335, n. 16, p. 1141-1160, 2003. DOI 10.1016/j.crte.2003.09.015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.crte.2003.09.015>.

EINSELE, G. **Sedimentary Basins: Evolution, Facies, and Sediment Budget**. Berlim: Springer-Verlag, 2000. DOI 10.1007/978-3-662-04029-4. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-662-04029-4>. Acesso em: 06 dez. 2024.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Clima. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**, 2011. Disponível em: [https://www.cnpf.embrapa.br/pesquisa/efb/clima.htm#:~:text=Cwa%20%E2%80%93%20Clima%20subtropical%20de%20inverno,oeste%20\(Ventura%2C%201964\).&text=%C3%89%20uma%20transi%C3%A7%C3%A3o%20entre%20o%20tipo%20clim%C3%A1tico%20Af%20e%20Aw](https://www.cnpf.embrapa.br/pesquisa/efb/clima.htm#:~:text=Cwa%20%E2%80%93%20Clima%20subtropical%20de%20inverno,oeste%20(Ventura%2C%201964).&text=%C3%89%20uma%20transi%C3%A7%C3%A3o%20entre%20o%20tipo%20clim%C3%A1tico%20Af%20e%20Aw). Acesso em 14 nov. 2024.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Solos Tropicais. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**, 2021. Disponível em:

<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibc> s/. Acesso em 15 dez. 2024.

FEDO, C. M.; NESBITT, H. W.; YOUNG, G. M. Unraveling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications for paleoweathering conditions and provenance. **Geology**, v. 23, n. 10, p. 921-924, 1995. Disponível em: [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1995\)023<0921:UTEOPM>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1995)023<0921:UTEOPM>2.3.CO;2). Acesso em: 05 dez. 2024.

FEDO, C. M.; SIRCOMBE, K. N.; RAINBIRD, R. H. Detrital zircon analysis of the sedimentary record. **Reviews in mineralogy and geochemistry**, v. 53, n. 1, p. 277-303, 2003. DOI 10.2113/0530277. Disponível em: <https://doi.org/10.2113/0530277>. Acesso em: 06 dez. 2024.

FERNANDES, A. M.; CONCEIÇÃO, F. T. da; SPATTI JUNIOR, E. P.; SARDINHA, D. de S.; MORTATTI, J. Chemical weathering rates and atmospheric/soil CO₂ consumption of igneous and metamorphic rocks under tropical climate in southeastern Brazil. **Chemical Geology**, v. 443, p. 54-66, 2016. DOI 10.1016/j.chemgeo.2016.09.008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2016.09.008>. Acesso em: 06 dez. 2024.

FIPE – FUNDAÇÃO INSTITUTO DE PESQUISAS ECONÔMICAS. Plano de Desenvolvimento Urbano Integrado: Região Metropolitana de Piracicaba. **Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas**, 2023. Disponível em: https://rmp.pdui.sp.gov.br/?page_id=127. Acesso em 14 nov. 2024.

FLEET, A. J. Aqueous and Sedimentary Geochemistry of the Rare Earth Elements. In: HENDERSON, P. (ed.). **Rare Earth Element Geochemistry**. Amsterdã: Elsevier Science Publishers B.V., 1984. p. 343-374. (Developments in Geochemistry, v. 2).

FLORENCE, G.; PACHECO, J. **Carta geológica do Estado de São Paulo, Brasil**. São Paulo: Comissão Geográfica e Geológica, 1929. Escala 1:2.000.000.

FÚLFARO, V. J.; STEVAUX, J. C.; SOUZA-FILHO, E. E.; BARCELOS, J. H. A Formação Tatuí (P) no Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33., 1984, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geologia, 1984. v. 11, p. 711-723. Disponível em: http://sbg.sitepessoal.com/anais_digitalizados/1984-RIO%20DE%20JANEIRO/CBG.1984.vol.11.pdf. Acesso em: 28 dez. 2024.

FUNDAÇÃO SEADE – FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS. SEADE PIB. **Fundação SEADE**, 2020. Disponível em: <https://pib.seade.gov.br/municipal/>. Acesso em: 14 nov. 2024.

GASPAR JUNIOR, L. A. **Adição experimental de novos materiais às argilas da região do polo cerâmico de Santa Gertrudes (SP)**. 2003. xii, 170 f. Tese (Doutorado em Geologia Regional) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 2003. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/103020>. Acesso em: 28 dez. 2024.

GAILLARDET, J.; DUPRE, B.; ALLÈGRE, C. J.; NÉGREL, P. Chemical and physical denudation in the Amazon River Basin. **Chemical Geology**, v. 142, n. 3-4, p. 141-

173, 1997. DOI 10.1016/S0009-2541(97)00074-0. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0009-2541\(97\)00074-0](https://doi.org/10.1016/S0009-2541(97)00074-0). Acesso em: 08 dez. 2024.

GARZANTI, E. From static to dynamic provenance analysis—Sedimentary petrology upgraded. **Sedimentary Geology**, v. 336, p. 3-13, 2016. DOI 10.1016/j.sedgeo.2015.07.010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2015.07.010>. Acesso em: 06 dez. 2024.

GEHRELS, G. Detrital zircon U-Pb geochronology: Current methods and new opportunities. In: BUSBY, C.; AZOR, A. (eds.). **Tectonics of sedimentary basins: Recent advances**. 3. ed. Oxford: Blackwell Publishing, 2012. p. 45-62. DOI 10.1002/9781444347166.fmatter. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/9781444347166.fmatter>. Acesso em: 06 dez. 2024.

GEHRELS, G. Detrital zircon U-Pb geochronology applied to tectonics. **Annual Review of Earth and Planetary Sciences**, v. 42, p. 127-149, 2014. DOI 10.1146/annurev-earth-050212-124012. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev-earth-050212-124012>. Acesso em: 06 dez. 2024.

GIBBS, R. J. Mechanisms controlling world water chemistry. **Science**, v. 170, n. 3962, p. 1088-1090, 1970. DOI 10.1126/science.170.3962.1088. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.170.3962.1088>. Acesso em: 06 dez. 2024.

GIMENEZ, N. L.; CHANG, M. R. C. Diagênese de arenitos da Formação Tatuí no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 40, n. 1, p. 68-79, 2010. DOI 10.25249/0375-7536. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.25249/0375-7536.20104016879>. Acesso em: 28 dez. 2024.

GOMES, A. S.; VASCONCELOS, P. M. Geochronology of the Paraná-Etendeka large igneous province. **Earth-Science Reviews**, v. 220, p. 103716, 2021. DOI 10.1016/j.earscirev.2021.103716. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2021.103716>. Acesso em 06 dez. 2024.

GROTZINGER, J.; JORDAN, T. **Para Entender a Terra**. Porto Alegre: Bookman Editora, 2013.

HASUI, Y. A grande colisão pré-cambriana do sudeste brasileiro e a estruturação regional. **Geociências**, p. 141-169, 2010. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/71882>. Acesso em: 20 jan. 2024.

HAUGHTON, P. D. W.; TODD, S. P.; MORTON, A. C. Sedimentary provenance studies. In: MORTON, A. C.; TODD, S. P.; HAUGHTON, P. D. W. (eds.). **Developments in Sedimentary Provenance Studies**. Bath: The Geological Society Publishing House, 1991. p. 1-12. DOI 10.1144/gsl.sp.1991.057.01.01. Disponível em: <https://doi.org/10.1144/gsl.sp.1991.057.01.01>. Acesso em: 06 dez. 2024. (Geological Society Special Publication, n. 57).

HAYASHI, K. I.; FUJISAWA, H.; HOLLAND, H. D.; OHMOTO, H. Geochemistry of ~ 1.9 Ga sedimentary rocks from northeastern Labrador, Canada. **Geochimica et cosmochimica acta**, v. 61, n. 19, p. 4115-4137, 1997. DOI 10.1016/S0016-

7037(97)00214-7. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0016-7037\(97\)00214-7](https://doi.org/10.1016/S0016-7037(97)00214-7). Acesso em: 12 jan. 2024.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2022**. Resultados do Universo: população por idade e sexo. IBGE, 2022. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-demografico/demografico-2022/universo-populacao-por-idade-e-sexo>. Acesso em 14 nov. 2024.

KAY, S. M.; RAMOS, V. A., MPODOZIS, C.; SRUOGA, P. Late Paleozoic to Jurassic silicic magmatism at the Gondwana margin: Analogy to the Middle Proterozoic in North America?. **Geology**, v. 17, n. 4, p. 324-328, 1989. DOI 10.1130/0091-7613(1989)017%3C0324:LPTJSM%3E2.3.CO;2. Disponível em: [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1989\)017%3C0324:LPTJSM%3E2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1989)017%3C0324:LPTJSM%3E2.3.CO;2). Acesso em: 30 jan. 2024.

KRAUSKOPF, K. B.; BIRD, D. K. **Introduction to geochemistry**. 2ª Edição. Nova York: McGraw-Hill, 1995.

KEAREY, P.; KLEPEIS, K. A.; VINE, F. J. **Global tectonics**. 3ª Edição Chichester: Wiley-Blackwell, 2009.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Handbuch der klimatologie**. Berlin: Gebrüder Borntraeger, 1936.

KRETZ, R. Symbols for rock-forming minerals. **American Mineralogist**, v. 68, p. 277-279, 1983. Disponível em: http://www.minsocam.org/ammin/AM68/AM68_277.pdf. Acesso em: 10 dez. 2023.

LANGMUIR, D. Uranium solution-mineral equilibria at low temperatures with applications to sedimentary ore deposits. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 42, n. 6, p. 547-569, 1978. DOI 10.1016/0016-7037(78)90001-7. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(78\)90001-7](https://doi.org/10.1016/0016-7037(78)90001-7). Acesso em: 04 jan. 2024.

LANGMUIR, D.; HERMAN, J. S. The mobility of thorium in natural waters at low temperatures. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 44, n. 11, p. 1753-1766, 1980. DOI 10.1016/0016-7037(80)90226-4. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(80\)90226-4](https://doi.org/10.1016/0016-7037(80)90226-4). Acesso em 04 jan. 2024.

LERMAN, A.; WU, L.; MACKENZIE, F. T. CO₂ and H₂SO₄ consumption in weathering and material transport to the ocean, and their role in the global carbon balance. **Marine Chemistry**, v. 106, n. 1-2, p. 326-350, 2007. DOI 10.1016/j.marchem.2006.04.004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marchem.2006.04.004>

LETKEMAN, L. P.; TIESSEN, H.; CAMPBELL, C. A. Phosphorus transformations and redistribution during pedogenesis of western Canadian soils. **Geoderma**, v. 71, n. 3-4, p. 201-218, 1996. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0016-7061\(96\)00006-7](https://doi.org/10.1016/0016-7061(96)00006-7). Acesso em 05 dez. 2024.

LORETI JUNIOR, R.; SARDOU FILHO, R.; CALTABELOTTI, F. P. **Polo cerâmico de Santa Gertrudes**. São Paulo: CPRM, 2014. Disponível em:

<https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/17799>. Acesso em: 14 dez. 2024. (Informe de Recursos Minerais, Série Rochas e Minerais, n. 11).

LOUVAT, P.; GISLASON, S. R.; ALLÈGRE, C. J. Chemical and mechanical erosion rates in Iceland as deduced from river dissolved and solid material. **American Journal of Science**, v. 308, n. 5, p. 679-726, 2008. DOI 10.2475/05.2008.02. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2475/05.2008.02>. Acesso em: 06 dez. 2024.

MASON, B. H.; MOORE, C. B. **Principles of Geochemistry**. Hoboken: John Wiley & Sons, 1982.

MASSOLI, M. Geologia da folha de Santa Rita do Passa Quatro. **Revista do Instituto Geológico**, v. 1, n. 1, p. 7-13, 1980. DOI 10.5935/0100-929X.19800002. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/0100-929X.19800002>. Acesso em: 20 jun. 2025.

MASSOLI, M. Geologia da folha de Piraçununga, SP. **Revista do Instituto Geológico**, v. 4, n. 1-2, p. 25-51, 1983. DOI 10.5935/0100-929X.19830002. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/0100-929X.19830002>. Acesso em: 20 jun. 2025.

MANZATTO, C. V.; FREITAS JUNIOR, E. de; PERES, J. R. R. **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPS-2009-09/11063/1/uso_agricola_solos_brasileiros.pdf. Acesso em: 14 nov. 2024.

MARQUES-TOIGO, M. Palynobiostratigraphy of the Southern Brazilian Neopaleozoic Gondwana sequence. *In*: INTERNATIONAL GONDWANA SYMPOSIUM, 7., 1991, São Paulo. **Proceedings...** São Paulo: Instituto de Geociências da USP, 1991, p. 503-515.

MARTINI, I. P.; CHESWORTH, W. **Weathering, Soils and Paleosols**. Amsterdã: Elsevier Science Publishers B.V., 1992. (Developments in Earth Surface Processes, v. 2).

MARTINS NETO, M. A. O Supergrupo Espinhaço em Minas Gerais: registro de uma bacia rifte-sag do Paleó/Mesoproterozóico. **Brazilian Journal of Geology**, v. 28, n. 2, p. 151-168, 1998. Disponível em: <http://bjg.siteoficial.ws/1998/n.2/4.pdf>. Acesso em 03 mai. 2025.

MATHIEU, D.; BERNAT, M.; NAHON, D. Short-lived U and Th isotope distribution in a tropical laterite derived from granite (Pitinga river basin, Amazonia, Brazil): application to assessment of weathering rate. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 136, n. 3-4, p. 703-714, 1995. DOI 10.1016/0012-821X(95)00199-M. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(95\)00199-M](https://doi.org/10.1016/0012-821X(95)00199-M). Acesso em: 06 dez. 2024.

MCLENNAN, S. M. Rare earth elements in sedimentary rocks: influence of provenance and sedimentary processes. *In*: (Eds.). LIPIN, B. R.; MCKAY, G. A. **Geochemistry and Mineralogy of Rare Earth Elements** (Reviews in Mineralogy & Geochemistry, v. 21). Boston: Mineralogical Society of America, 1989. DOI 10.1515/9781501509032-010. Disponível em: <https://doi.org/10.1515/9781501509032-010>. Acesso em: 04 jan. 2024.

MCLENNAN, S. M.; TAYLOR, S. R.; MCGREGOR, V. R. Geochemistry of Archean metasedimentary rocks from West Greenland. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 48, n. 1, p. 1-13, 1984. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(84\)90345-4](https://doi.org/10.1016/0016-7037(84)90345-4). Acesso em: 06 dez. 2024.

MCLENNAN, S. M.; HEMMING, S. R.; MCDANIEL, D. K.; HANSON, G. N. Geochemical approaches to sedimentation, provenance, and tectonics. In: JOHNSSON, Mark J.; BASU, Abhijit (eds.). **Processes Controlling the Composition of Clastic Sediments** (GSA Special Paper, n. 284). Boulder: The Geological Society of America, 1993. p. 21-40. DOI 10.1130/SPE284-p21. Disponível em: <https://doi.org/10.1130/SPE284-p21>. Acesso em: 05 dez. 2024.

MEYBECK, M. Global chemical weathering of surficial rocks estimated from river dissolved loads. **American journal of science**, v. 287, n. 5, p. 401-428, 1987. DOI 10.2475/ajs.287.5.401. Disponível em: <https://doi.org/10.2475/ajs.287.5.401>. Acesso em: 06 dez. 2024.

MENEGHEL, E. C.; CONCEIÇÃO, F. T. da; NAVARRO, G. R. B.; CHRISTOFOLETTI, S. R.; MOTTA, J. F. M. Chemical weathering processes generating the raw material used in porcelain stoneware industry in the São Paulo State, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 118, p. 103926, 2022. DOI 10.1016/j.jsames.2022.103926. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2022.103926>. Acesso em: 28 dez. 2024.

MEZZALIRA S.; AZEVEDO A. A. B.; TOMINAGA L. K.; PRESSINOTTI M. M. N.; MASSOLI, M. **Léxico estratigráfico do Estado de São Paulo** (Boletim, v. 5). São Paulo: Instituto Geológico do Estado de São Paulo, 1981. Disponível em: https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/233/2019/02/Boletim_IG_05_Lexico_Estratigrafico_do_Estado_de_Sao_Paulo-198_1.pdf. Acesso em: 28 dez. 2024.

MIALL, A. D. **The geology of fluvial deposits**: sedimentary facies, basin analysis, and petroleum geology. 4ª Impressão Corrigida. Berlim: Springer-Verlag, 2006. DOI 10.1007/978-3-662-03237-4. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-662-03237-4>. Acesso em: 06 dez. 2024.

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

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

MILANI, E. J.; MELO, J. H. G.; SOUZA, P. A. de; FERNANDES, L. A.; FRANÇA, A. B. Bacia do Paraná. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 265-287, 2007. Disponível em: <https://bgp.petrobras.com.br/bgp/article/view/310/232>. Acesso em: 16 dez. 2024.

MILANI, E. J.; RAMOS, V. A. Orogenias paleozóicas no domínio sul-ocidental do Gondwana e os ciclos de subsidência da Bacia do Paraná. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 28, n. 4, p. 473-484, 1998. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.25249/0375-7536.1998473484>. Acesso em: 12 jan. 2024.

MONTANHEIRO, T. J.; YAMAMOTO, J. K.; KIHARA, Y. Serra geral formation—são paulo state, Brazil: a potential source for natural pozzolans. **Materials Letters**, v. 58, n. 6, p. 876-881, 2004. DOI 10.1016/j.matlet.2003.06.015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2003.06.015>. Acesso em: 14 nov. 2024.

MONTIBELLER, C. C.; NAVARRO, G. R. B.; ZANARDO, A.; ROHN, R.; ROVERI, C. D.; ROCHA, R. R. da; CONCEIÇÃO, F. T. da. Geochemistry of siltstones from the Permian Corumbataí Formation from the Paraná Basin (State of São Paulo, Brazil): Insights of provenance, tectonic and climatic settings. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 102, art. n. 102582, p. 1-10, 2020. DOI 10.1016/j.jsames.2020.102582. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.102582>. Acesso em: 14 nov. 2024.

MONTIBELLER, C. C.; NAVARRO, G. R. B.; ZANARDO, A.; CONCEIÇÃO, F. T. da. Paleogeography and tectonics events of South America registered in detrital zircons: case of the Corumbataí Formation (Paraná Basin, São Paulo State, Brazil). **SSRN Electronic Journal**, 2022. DOI 10.2139/ssrn.4272460. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4272460>. Acesso em: 12 jan. 2025. (Versão preliminar).

MORAES REGO, L. F. de. **A geologia do petróleo no Estado de São Paulo. Boletim do Serviço Geológico e Mineral Brasileiro**. 46 v. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), 1930.

MORENO, M. M. T.; ZANARDO, A.; ROVERI, C. D. Mineralogia de argilas da Formação Tatuí na região de Cesário Lange e Laranjal Paulista (SP). In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 11., 2009, São Pedro. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 2009.

MORENO, M. M. T.; ROVERI, C. D.; GODOY, L. H.; ZANARDO, A. Caracterização de argilas e composição de massas cerâmicas preparadas com base na análise de curvas de consistência de misturas argila-água. **Cerâmica**, v. 62, p. 21-31, 2016. DOI 10.1590/0366-69132016623611954. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0366-69132016623611954>. Acesso em 28 dez. 2024.

NAVARRO, G. R. B.; ZANARDO, A.; MONTIBELLER, C. C.; LEME, T. G. **Livro de Referência de Minerais Comum e Economicamente Relevantes: Filossilicatos**. Rio Claro: [s.n.], 2017.

NÉGREL, P.; LADENBERGER, A.; REIMANN, C.; DEMETRIADES, A.; BIRKE, M.; SADEGHI, M. GEMAS: adaptation of weathering indices for European agricultural soil derived from carbonate parent materials. **Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis**, v. 22, n. 1, p. 1-12, 2022. DOI 10.1144/geochem2021-059. Disponível em: <https://doi.org/10.1144/geochem2021-059>. Acesso em: 24 jun. 2025.

NESBITT, H. W.; YOUNG, G. M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. **Nature**, v. 299, n. 5885, p. 715-717, 1982. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/299715a0>. Acesso em: 05 dez. 2024.

NESBITT, H. W.; YOUNG, G. M. Prediction of some weathering trends of plutonic and volcanic rocks based on thermodynamic and kinetic considerations. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 48, n. 7, p. 1523-1534, 1984. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(84\)90408-3](https://doi.org/10.1016/0016-7037(84)90408-3). Acesso em: 05 dez. 2024.

NESSE, W. D. **Introduction to Optical Mineralogy**. 4ª edição revisada. New York: Oxford University Press, 2013.

NEVES, B. B. de B. A história dos continentes: trajetórias e tramas tectônicas. In: MANTESSO NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. D. R.; BRITO NEVES, B. B. (orgs.). **Geologia do Continente Sul-americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo: Editora Beca, 2004. p. 123-149.

NEVES, B. B. de B.; WINGE, M.; CARNEIRO, M. A. Orogêneses precedendo e tafrogêneses sucedendo Rodinia na América do Sul. Boletim IG-USP. **Série Científica**, v. 27, p. 1-40, 1996. DOI 10.11606/issn.2316-8986.v27i0p1-40. Disponível em: 10.11606/issn.2316-8986.v27i0p1-40. Acesso em: 15 jan. 2025.

NEVES, B. B. de B.; CAMPOS NETO, M. da C.; FUCK, R. A. From Rodinia to Western Gondwana: an approach to the Brasiliano-Pan African Cycle and orogenic collage. **Episodes Journal of International Geoscience**, v. 22, n. 3, p. 155-166, 1999. DOI 10.18814/epiiugs/1999/v22i3/002. Disponível em: <https://doi.org/10.18814/epiiugs/1999/v22i3/002>. Acesso em: 16 jan. 2025.

NEVES, B. B. de B.; FUCK, R. A.; PIMENTEL, M. M. The Brasiliano collage in South America: a review. Brazilian Journal of Geology, v. 44, n. 3, p. 493-518, 2014. DOI 10.5327/Z2317-4889201400030010. Disponível em: <https://doi.org/10.5327/Z2317-4889201400030010>. Acesso em 16 jan. 2025.

OLIVA, P.; VIERS, J.; DUPRÉ, B. Chemical weathering in granitic environments. **Chemical geology**, v. 202, n. 3-4, p. 225-256, 2003. DOI 10.1016/j.chemgeo.2002.08.001. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2002.08.001>. Acesso em: 06 dez. 2024.

OLIVEIRA, D. de; GUERRA, M. D. F. Compartimentos geomorfológicos do Estado de São Paulo e alguns solos representativos. **Boletim Paulista de Geografia**, n. 91, p. 89-98, 2011. Disponível em: <https://publicacoes.agb.org.br/boletim-paulista/article/download/707/589>. Acesso em: 09 nov. 2023.

OLIVEIRA FILHO, A. T.; FONTES, M. A. L. Patterns of floristic differentiation among Atlantic Forests in Southeastern Brazil and the influence of climate 1. **Biotropica**, v. 32, n. 4b, p. 793-810, 2000. DOI 10.1111/j.1744-7429.2000.tb00619.x. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2000.tb00619.x>. Acesso em: 12 dez. 2024.

PACHECO, J. Relatório elucidativo do esboço geológico da região compreendida entre o meridiano 40 , Rio Itararé e os paralelos 23°34' e 24°38'. In: **Exploração da região compreendida pelas folhas topográficas Sorocaba, Itapetininga, Bury,**

Faxina, Itaporanga, Sete Barras, Capão Bonito, Ribeirão Branco e Itararé. São Paulo: Comissão Geográfica e Geológica do Estado de São Paulo, 1927. p. 9-12. Disponível em: <https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/institutodebotanica/1927/01/exploracao-da-regiao-compreendida-pelas-folhas-topograficas-sorocaba-itapetininga-bury-faxina-itaporanga-sete-barras-capao-bonito-ribeirao-branco-e-itarare/>. Acesso em: 10 jun. 2025.

PATON, C.; WOODHEAD, J. D.; HELLSTROM, J. C.; HERGT, J. M.; GREIG, A.; MAAS, R. Improved laser ablation U-Pb zircon geochronology through robust downhole fractionation correction. **Geochemistry, Geophysics, Geosystems**, v. 11, n. 3, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2009GC002618>. Acesso em 05 dez. 2024.

PEDRO, G. **Contribution a l'etude expérimentale de l'altération géochimique des roches cristallines.** 1964. Tese (Doutorado em Ciências Naturais) – Institut national de la recherche agronomique, Université de Paris, Paris, 1964.

PEDRO, G. Essai sur la caractérisation géochimique des différents processus zonaux résultant de l'altération des roches superficielles (cycle alumino-silicique). **CR Acad. Sci**, v. 262, p. 1828-1831, 1966.

PENTEADO, M. M. **Geomorfologia do setor centro-ocidental da Depressão Periférica Paulista.** 1976. 86 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Rio Claro, Rio Claro, 1976. Acesso em: 15 dez. 2024.

PERINOTTO, J. A. LINO, I. C. Geologia, recursos minerais e passivos ambientais. **Atlas Ambiental da Bacia do Rio Corumbataí**, 2011. Disponível em: <http://www.rc.unesp.br/igce/ceapla/atlas/index.html>. Acesso em: 14 nov. 2024.

PERINOTTO, J. A. J.; ZAINE, M. F. **Patrimônios Naturais e História Geológica da Região de Rio Claro-SP.** Rio Claro: Arquivo Público e Histórico do Município de Rio Claro, 2008. v. 1.

PERROTTA, M. M.; SALVADOR, E. D.; LOPES, R. C.; D'AGOSTINO, L. Z.; CHIEREGATI, L. A.; PERUFFO, N.; GOMES, S. D.; SACHS, L. L. B.; MEIRA, V. T.; GARCIA, M. G. M.; LACERDA FILHO, J. V. **Geologia e recursos minerais do Estado de São Paulo.** São Paulo: Serviço Geológico do Brasil (CPRM), 2006. Relatório, dados vetoriais (SIG) e 2 mapas. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/2966>. Acesso em: 28 dez. 2024.

PETRI, S. Grupo Tubarão. **Boletim do Instituto Geográfico e Geológico**, v. 41, p. 56-63, 1964.

PETRI, S.; FÚLFARO, V. J. **Geologia do Brasil (Fanerozóico).** São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo (Edusp), 1983.

PIMENTEL, M. M. The tectonic evolution of the Neoproterozoic Brasília Belt, central Brazil: a geochronological and isotopic approach. **Brazilian Journal of Geology**, v. 46, p. 67-82, 2016. DOI 10.1590/2317-4889201620150004. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2317-4889201620150004>. Acesso em: 20 jan. 2024.

PIRES, F. A.; PETRI, S. Estratigrafia da Bacia do Paraná (Carbonífero Superior - Triássico Inferior) no Estado de São Paulo. *In*: SIMPÓSIO DE CRONOESTRATIGRAFIA DA BACIA DO PARANÁ, 1., Rio Claro (SP). **Boletim de Resumos...** Rio Claro: Fundação para o Desenvolvimento da UNESP, 1993. p. 60-61.

PNUD – PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO. **Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil**. Perfil. PNUD, 2013. Disponível em: <http://www.atlasbrasil.org.br/perfil>. Acesso em 14 nov. 2024.

PNUD – PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO. **O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal Brasileiro**. Brasília: PNUD, 2013. Disponível em: https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/2023-07/indice_de_desenvolvimento_humano_municipal_brasileiro_-_2013.pdf. Acesso em 14 nov. 2024.

PONCANO, W. L. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: IPT, 1981. 1 mapa, color. Escala 1:500.000.

POTTS, P. J. **A handbook of silicate rock analysis**. Nova York: Springer Science+Business Media, 1992. DOI 10.1007/978-1-4615-3270-5. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-3270-5>. Acesso em 05 dez. 2024.

RAMOS, V.; JORDAN, T. E.; ALLMENDINGER, R.; KAY, S.; CORTÉS, J.; PALMA, M. A. Chilenia: Un terreno alóctono en la evolución paleozoica de los Andes Centrales. *In*: CONGRESO GEOLÓGICO ARGENTINO, 9., Bariloche. **Actas...** Buenos Aires: Asociación Geológica Argentina, 1984. v. 2, p. 84-106.

RAPELA, C. W.; PANKHURST, R. J.; CASQUET, C.; BALDO, E.; SAAVEDRA, J.; GALINDO, C. Early evolution of the Proto-Andean margin of South America. **Geology**, v. 26, n. 8, p. 707-710, 1998. DOI 10.1130/0091-7613(1998)026<0707:EEOTPA>2.3.CO;2. Disponível em: [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1998\)026<0707:EEOTPA>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1998)026<0707:EEOTPA>2.3.CO;2). Acesso em: 16 jan. 2025.

RICCOMINI, C.; SANT'ANNA, L. G.; COIMBRA, A. M. Sílica microcristalina (trípoli) em rochas sedimentares premianas do flanco leste da Bacia do Paraná, Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 27, n. 4, p. 395-402, 1997. DOI 10.25249/0375-7536.1997395402. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/directbitstream/87916dfd-da3c-47df-bdbf-e61f3f211ebd/0986602.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2025.

ROCHA-CAMPOS, A. C. The Tubarao Group in the Brazilian portion of the Parana basin. *In*: BIGARELLA, J. J. DECKER, R. D.; PINTO, I. D. (eds.). **Problems in Brazilian Gondwana Geology**. Curitiba: Instituto de Geologia, Universidade Federal do Paraná, 1967. p. 27-102.

ROCHA-CAMPOS, A. C.; BASEI, M. A.; NUTMAN, A. P.; KLEIMAN, L. E.; VARELA, R.; LLAMBIAS, E.; Canile, F. M.; ROSA, O. D. C. da. 30 million years of Permian volcanism recorded in the Choiyoi igneous province (W Argentina) and their source for younger ash fall deposits in the Paraná Basin: SHRIMP U–Pb zircon

geochronology evidence. **Gondwana Research**, v. 19, n. 2, p. 509-523, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.gr.2010.07.003>. Acesso em: 12 jan. 2025.

ROCHER, S.; VALLECILLO, G.; CASTRO, B. C. de; ALASINO, P. El Grupo Choiyoi (Pérmico temprano-medio) en la Cordillera Frontal de Calingasta, San Juan, Argentina: volcanismo de arco asociado a extensión. **Revista Mexicana de Ciencias Geológicas**, v. 32, n. 3, p. 415-432, 2015. Disponível em: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1026-87742015000300415. Acesso em: 30 jan. 2024.

ROSER, B. P.; KORSCH, R. J. Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data. **Chemical Geology**, v. 67, n. 1-2, p. 119-139, 1988. DOI 10.1016/0009-2541(88)90010-1. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(88\)90010-1](https://doi.org/10.1016/0009-2541(88)90010-1). Acesso em: 30 abr. 2024.

ROSSI, M. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo**: revisado e ampliado. 1ª Edição. São Paulo: Instituto Florestal, 2017. 118 p. Disponível em: <https://smastr16.blob.core.windows.net/iflorestal/2017/11/LivroSolos1.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2024.

SAAD, A. **Estratigrafia do Subgrupo Itararé no centro-leste do Estado de São Paulo**. 107 f. 1977. Dissertação (Mestrado em Paleontologia e Estratigrafia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1976. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44132/tde-12082015-153523/publico/Saad_Mestrado.pdf. Acesso em 20 jun. 2025.

SANTOS, S. C.; GARCIA, G. J. DESENVOLVIMENTO INTEGRADO E GESTÃO PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CORUMBATAÍ. **Estudos Geográficos: Revista Eletrônica de Geografia**, v. 4, n. 1, p. 89-106, 2006. Disponível em: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/estgeo/article/view/211/181>. Acesso em: 12 dez. 2024.

SCHNEIDER, R.L.; MUHLMANN, H.; TOMMASI, E.; MEDEIROS, R. A.; DAEMON, R. F.; NOGUEIRA, A. A. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28., Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Geologia, 1974. v. 1, p. 41-65. Disponível em: http://sbg.sitepessoal.com/anais_digitalizados/1974-PORTO%20ALEGRE/1974PORTOALEGRE.zip. Acesso em: 28 dez. 2024.

SCHWARTZ, J. J.; GROMET, L. P.; MIRO, R. Timing and duration of the calc-alkaline arc of the Pampean Orogeny: implications for the Late Neoproterozoic to Cambrian evolution of Western Gondwana. **The Journal of Geology**, v. 116, n. 1, p. 39-61, 2008. DOI 10.1086/524122. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1086/524122>. Acesso em: 16 jan. 2025.

SCOTese, C. R. Latest Carboniferous Climate (Gzelian) Climate. **PALEOMAP Project**, 2000. Disponível em: <http://scotese.com/gzelclim.htm>. Acesso em: 17 jan. 2025.

SCOTESE, C. R. Early Permian Climate (280 million years ago). **PALEOMAP Project**, 2000. Disponível em: <http://scotese.com/epermcli.htm>. Acesso em: 17 jan. 2025.

SELVARAJ, K.; CHEN, C. T. A. Moderate chemical weathering of subtropical Taiwan: constraints from solid-phase geochemistry of sediments and sedimentary rocks. **The Journal of Geology**, v. 114, n. 1, p. 101-116, 2006. DOI 10.1086/498102. Disponível em: <https://doi.org/10.1086/498102>. Acesso em: 24 jun. 2025.

SGS – SOCIÉTÉ GÉNÉRALE DE SURVEILLANCE. Elementos maiores. Elementos maiores. **SGS**, 2023. Disponível em: <https://www.sgs.com/pt-br/services/elementos-maiores>. Acesso em: 05 dez. 2024.

SGS – SOCIÉTÉ GÉNÉRALE DE SURVEILLANCE. Análises de elementos de terras raras e radioativos. **SGS**, 2023. Disponível em: <https://www.sgs.com/pt-br/services/analises-de-elementos-de-terras-raras-e-radioativos>. Acesso em: 05 dez. 2024.

SGS – SOCIÉTÉ GÉNÉRALE DE SURVEILLANCE. Umidade, LOI e água. **SGS**, 2023. Disponível em: <https://www.sgs.com/pt-br/services/umidade-loi-e-agua>. Acesso em: 05 dez. 2024.

SIQUEIRA, Leonardo Ferreira da Silva de. **Tectônica deformadora em sinéclises intracratônicas**: a origem do Alto Estrutural de Pitanga, Bacia do Paraná, SP. 62 f. 2011. Dissertação (Mestrado em Geotectônica) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44141/tde-27072011-164342/publico/LFSS.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2011.

STEIGER, R. H.; JÄGER, E. Subcommittee on geochronology: convention on the use of decay constants in geo-and cosmochronology. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 36, n. 3, p. 359-362, 1977. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(77\)90060-7](https://doi.org/10.1016/0012-821X(77)90060-7). Acesso em 05 dez. 2024.

SOARES, P. C. O limite glacial/pós-glacial do Grupo Tubarão no Estado de São Paulo. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 44, suplemento, p. 333-342, 1972.

SOARES, P. C.; SINELLI, O.; PENALVA, F.; WERNICK, E.; SOUZA, A.; CASTRO, R. M. C. Geologia do Nordeste do Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 27., Aracaju. **Anais...** Aracaju: Sociedade Brasileira de Geologia, 1973. v. 1, p. 209-228. Disponível em: http://sbg.sitepessoal.com/anais_digitalizados/1973ARACAJU/1973ARACAJU.zip. Acesso em: 19 jun. 2024.

SOARES, P. C.; LANDIM, P. M. B. Aspectos regionais da estratigrafia da bacia do Paraná no seu flanco nordeste. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 27., Aracaju. **Anais...** Aracaju: Sociedade Brasileira de Geologia, 1973. v. 1, p. 243-256. Disponível em: http://sbg.sitepessoal.com/anais_digitalizados/1973ARACAJU/1973ARACAJU.zip. Acesso em: 28 dez. 2024.

SOUSA, M. O. L. **Evolução tectônica dos altos estruturais de Pitanga, Artemis, Pau D'Alho e Jibóia - Centro do Estado de São Paulo**. 206 f. 2002. Tese (Doutorado em Geologia Regional) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2002. Disponível em: <http://acervodigital.unesp.br/handle/11449/103027>. Acesso em: 12 dez. 2024.

SOUZA, P. A.; MARQUES-TOIGO, M. An overview on the palynostratigraphy of the Upper Paleozoic strata of the Brazilian Paraná Basin. **Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales**, Buenos Aires (Argentina), v. 5, p. 205-214, 2003. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.22179/REVMACN.5.49>. Acesso em: 08 jan. 2024.

SPENCER, C. J.; KIRKLAND, C. L.; TAYLOR, R. J. M. Strategies towards statistically robust interpretations of in situ U–Pb zircon geochronology. **Geoscience Frontiers**, v. 7, n. 4, p. 581-589, 2016. DOI 10.1016/j.gsf.2015.11.006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2015.11.006>. Acesso em 06 dez. 2024.

STEVAUX, J. C.; SOUZA-FILHO, E. E.; FÚLFARO, V. J. Trato deposicional da Formação Tatuí (P) na área aflorante do NE da Bacia do Paraná, Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34., Goiânia. **Anais...** Goiânia: Sociedade Brasileira de Geologia, 1986. v. 1, p. 219-229. Disponível em: http://sbg.sitepessoal.com/anais_digitalizados/1986-GOIANIA/1986-GOIANIA.rar. Acesso em: 13 set. 2023.

STRAHLER, A. N. **Physical Geography**. Nova York: Wiley, 1951.

STRONG, T. R.; DRISCOLL, R. L. A process for reducing rocks and concentrating heavy minerals. **U.S. Geological Survey Open-File Report**, v. 1022, 2016. DOI 10.3133/ofr20161022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3133/ofr20161022>. Acesso em 05 dez. 2024.

SUTTNER, L. J.; DUTTA, P. K. Alluvial sandstone composition and paleoclimate; I, Framework mineralogy. **Journal of Sedimentary Research**, v. 56, n. 3, p. 329-345, 1986. Disponível em: <https://doi.org/10.1306/212F8909-2B24-11D7-8648000102C1865D>. Acesso em: 29 jan. 2024.

TANNO, L. C.; JUNIOR, M. C.; ALBARELLI, D. S. N. A.; CRUZ, T. T. da. Bases para Modernização e Aprimoramento do Sistema de Suprimento de Matérias-primas no Polo de Cerâmica Vermelha de Tatuí–SP. **Cerâmica Industrial**, v. 20, n. 1, p. 16-23, 2015. DOI 10.4322/cerind.2015.034. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4322/cerind.2015.034>. Acesso em: 28 dez. 2024.

TARDY, Y. Characterization of the principal weathering types by the geochemistry of waters from some European and African crystalline massifs. **Chemical Geology**, v. 7, n. 4, p. 253-271, 1971. DOI 10.1016/0009-2541(71)90011-8. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(71\)90011-8](https://doi.org/10.1016/0009-2541(71)90011-8). Acesso em: 04 jan. 2024.

TARDY, Y. **Le cycle de l'eau: climats, paléoclimats et géochimie globale**. Paris: Masson, 1986.

TAYLOR, S. R.; MCLENNAN, S. M. **The continental crust: its composition and evolution**. Oxford: Blackwell Scientific, 1985.

TEIXEIRA, W.; FAIRCHILD, T. R.; TOLEDO, M. C. M. de; TAIOLI, F. **Decifrando a Terra**. 2ª edição. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

TOLE, M. P. The kinetics of dissolution of zircon (ZrSiO₄). **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 49, n. 2, p. 453-458, 1985. DOI 10.1016/0016-7037(85)90036-5. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(85\)90036-5](https://doi.org/10.1016/0016-7037(85)90036-5). Acesso em 05 dez. 2024.

UHLEIN, A.; FONSECA, M. A.; SEER, H. J.; DARDENNE, M. A. Tectônica da Faixa de Dobramentos Brasília – setores setentrional e meridional. **Geonomos**, v. 20, n. 2, p. 1-14, 2012. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/revistageonomos/article/view/11714/845>. Acesso em: 20 jan. 2024.

UHLEIN, A.; PAIM, P. S. G.; TASSINARI, C. C. G.; PEDREIRA, A. J.. Análise estratigráfica de bacias rifte paleo-mesoproterozoicas dos crátons Amazônico e São Francisco, Brasil. **Geonomos**, 2015. DOI 10.18285/geonomos.v23i2.707. Disponível em: <https://doi.org/10.18285/geonomos.v23i2.707>. Acesso em: 27 jun. 2025.

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 Onlap. In: PAYTON, C. E. (coord.). **Seismic Stratigraphy: Applications to Hydrocarbon Exploration**. 7. ed. Tulsa: American Association of Petroleum Geologists (Memoir 26), 1977. p. 63-81. DOI 10.1306 /M26490C5. Disponível em: <https://doi.org/10.1306 /M26490C5>. Acesso em: 14 nov. 2024.

VALERIANO, C. M.; DARDENNE, M. A.; FONSECA, M. A.; SIMÕES, L. S. A.; SEER, H. J. A evolução tectônica da faixa Brasília. In: MANTESSO NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. D. R.; BRITO NEVES, B. B. (orgs.). **Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo: Editora Beca, 2004. p. 575-592.

VELOSO, H. P.; GÓES FILHO, L. **Fitogeografia brasileira: classificação fisionômico-ecológica da vegetação neotropical** (Boletim técnico do Projeto RADAMBrasil. Série Vegetação, n. 1). Salvador: IBGE, 1982. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv92051.pdf>. Acesso em: 14 dez. 2024

VENTURA, A. Problemas técnicos da silvicultura paulista. **Silvicultura em São Paulo**, v. 3, n. 3, p. 61-80, 1964.

VERMA, S. P.; ARMSTRONG-ALTRIN, J. S. New Multi-Dimensional Diagrams for Tectonic Discrimination of Siliciclastic Sediments and Their Application to Precambrian Basins. **Chemical Geology**, v. 355, p. 117-133, 2013. DOI 10.1016/j.chemgeo.2013.07.014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2013.07.014>. Acesso em: 06 dez. 2024.

VERMEESCH, P. Maximum depositional age estimation revisited. **Geoscience Frontiers**, v. 12, n. 2, p. 843-850, 2021. DOI 10.1016/j.gsf.2020.08.008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2020.08.008>. Acesso em: 06 dez. 2024.

WASHBURN, C. W. Petroleum geology of the State of São Paulo—Brazil. São Paulo: Comissão Geográfica e Geológica do Estado de São Paulo. **Boletim da Comissão Geográfica e Geológica do Estado de São Paulo**, v. 22, p. 282, 1930.

WELTJE, G. J.; EYNATTEN, H. V. Quantitative provenance analysis of sediments: review and outlook. **Sedimentary Geology**, v. 171, n. 1-4, p. 1-11, 2004. DOI 10.1016/j.sedgeo.2004.05.007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2004.05.007>. Acesso em: 06 dez. 2024.

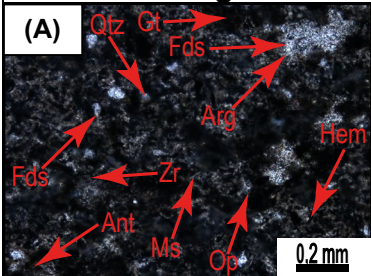
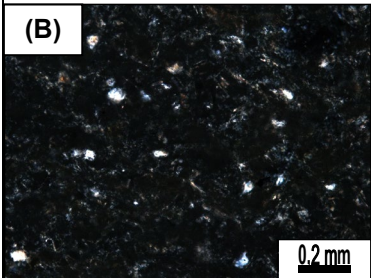
WETHERILL, G. W. Discordant uranium-lead ages, I. **Eos, Transactions American Geophysical Union**, v. 37, n. 3, p. 320-326, 1956. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/TR037i003p00320>. Acesso em: 05 dez. 2024.

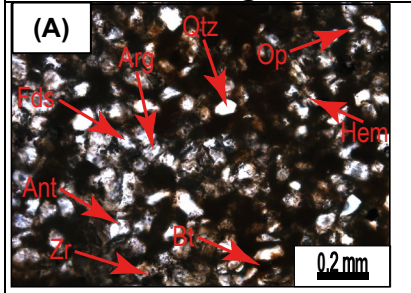
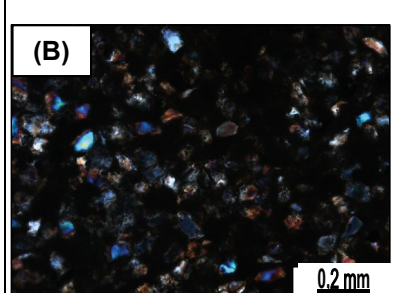
WEST, A. J.; GALY, a.; BICKLE, M. Tectonic and climatic controls on silicate weathering. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 235, p. 211-228, 2005. DOI 10.1016/j.epsl.2005.03.020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.epsl.2005.03.020>. Acesso em: 06 dez. 2024.

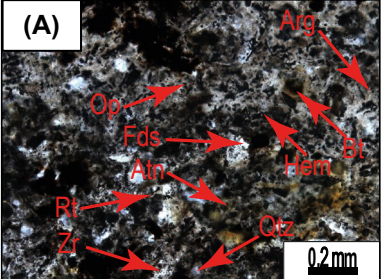
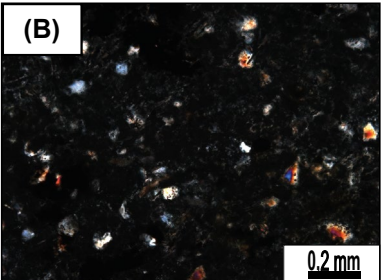
WHITE, A. F.; BLUM, A. E. Effects of climate on chemical_ weathering in watersheds. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 59, n. 9, p. 1729-1747, 1995. DOI 10.1016/0016-7037(95)00078-E. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(95\)00078-E](https://doi.org/10.1016/0016-7037(95)00078-E). Acesso em 06. dez. 2024.

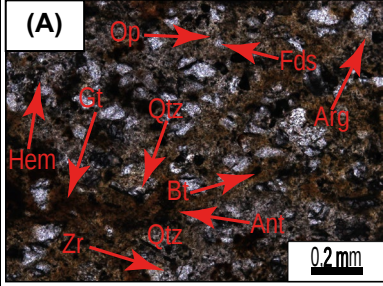
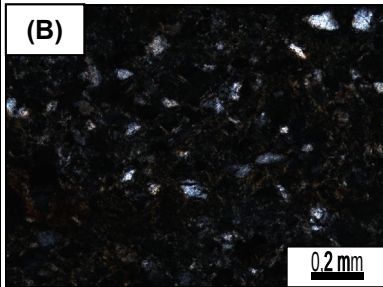
ZANARDO, A.; NAVARRO, G. R. B.; MONTIBELLER, C. C.; ROCHA, R. R.; MORENO, M. M. T.; DEL ROVERI, C.; ALMEIDA, A. Z. Z. I. A. Geoquímica e proveniência dos sedimentos da Formação Corumbataí na região de Rio Claro/SP. **Geociências**, v. 36, n. 1, p. 30-47, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.5016/geociencias.v36i1.12291>. Acesso em: 15 dez. 2022.

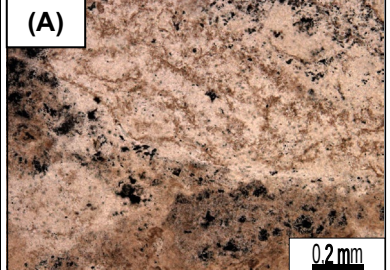
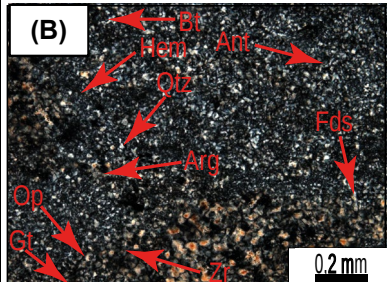
APÊNDICE – DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA

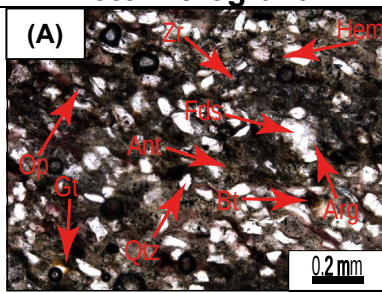
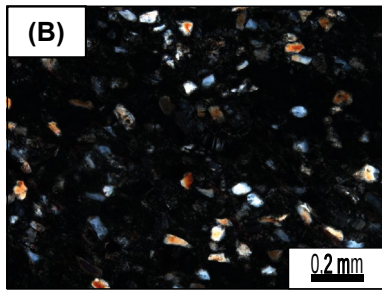
 Desvendando o sistema fonte-sumidouro e a interação água-rocha em afloramentos da Formação Tatuí, Bacia Sedimentar do Paraná, Centro-Leste do Estado de São Paulo, Brasil 	
FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA	
Lâmina analisada: RFH-4	Nome da rocha: siltito
DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA	
Rocha sedimentar siliciclástica levemente orientada. Registra-se a presença grãos de quartzo e feldspatos detríticos, ambos isotrópicos e imersos em uma matriz filossilicática com minerais de cores branco-acinzentada e branco-amarelada, indistinguíveis macroscopicamente.	
DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA	
Composição mineralógica	
Minerais observados	Percentuais estimados
argilominerais primários e neoformados	~ 45 %
quartzo	~ 40 %
feldspatos	~ 6 %
hematita	~ 4 %
goethita	~ 3 %
muscovita	~ 1 %
opacos	~ 1 %
anatásio e zircão	traços
Fotomicrografias	Detalhamento descritivo
(A)  Rocha pelítica maciça, com textura lutítica. No arcabouço, é verificada a presença de grãos de quartzo e de feldspatos dos tipos sódico e potássicos. As dimensões dos grãos supramencionados encontram-se majoritariamente na faixa entre 0,004 e 0,0625 mm, mas raramente ultrapassam o limite superior anteriormente mencionado. Muitos desses feldspatos constatados no arcabouço já se encontram significativamente alterados para argilominerais neoformados, possivelmente caulinita. Em âmbito geral, os minerais granulares detríticos são anisotrópicos, com baixo grau de esfericidade e arredondamento e exibindo formas subangulares e, por fim, apresentando boa seleção. Mais especificamente na matriz a rocha, denota-se a presença de argilominerais primários. No que concerne aos minerais acessórios, há o registro de hematita, goethita, micas do tipo muscovita, opacos, além de traços de anatásio e zircão.	
(B)  (A) – nicóis paralelos; (B) – nicóis cruzados; Aumento da lente objetiva: 10X.	

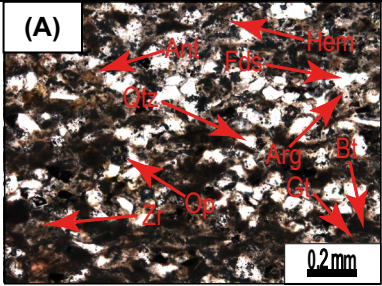
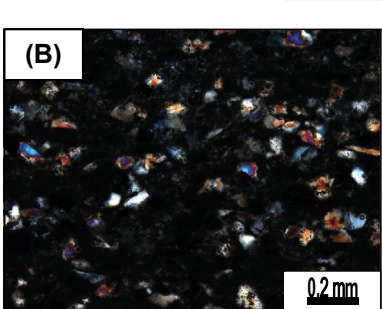
	Desvendando o sistema fonte-sumidouro e a interação água-rocha em afloramentos da Formação Tatui, Bacia Sedimentar do Paraná, Centro-Leste do Estado de São Paulo, Brasil		
FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA			
Lâmina analisada: RFH-5		Nome da rocha: arenito	
DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA			
Rocha sedimentar siliciclástica orientada. Presença de quartzo e feldspatos detríticos, sendo ambos visualmente classificados como anisotrópicos, juntamente com grãos menores de cor preta e com orientação similar, além de pequena quantidade de filossilicatos verde-escuros a amarronzados, indistinguíveis macroscopicamente, com hábito micáceo. Há ainda o registro minoritário, nas extremidades da lâmina, de feições venulares.			
DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA			
Composição mineralógica			
Minerais observados quartzo feldspatos argilominerais primários e neoformados biotita hematita minerais opacos anatásio zircão		Percentuais estimados ~ 60 % ~ 25 % ~ 5 % ~ 4 % ~ 2 % ~ 2 % ~ 1 % ~ 1 %	
Fotomicrografia		Detalhamento descritivo	
(A)  (B)  (A) – nicois paralelos; (B) – nicois cruzados; Aumento da lente objetiva: 10X.		Rocha siliciclástica laminada e com textura psamítica. Ela possui arcabouço constituído por quartzo e feldspatos sódico e potássico majoritariamente situados na faixa entre 0,0625 a 0,125 mm, embora também sejam reconhecidos grãos situados acima do limite superior supramencionado. Os minerais detríticos analisados são anisotrópicos e, de um modo geral, apresentaram baixo a médio grau de arredondamento e esfericidade, além de boa seleção dos grãos. Na matriz, também são verificados alguns grãos de quartzo e de feldspatos com dimensões inferiores a 0,0625 mm, além de argilominerais predominantemente primários, bem como biotita, óxido de ferro, e, de modo bem restrito, constata-se ainda a presença de hematita, minerais opacos, anatásio e zircão.	

	Desvendando o sistema fonte-sumidouro e a interação água-rocha em afloramentos da Formação Tatui, Bacia Sedimentar do Paraná, Centro-Leste do Estado de São Paulo, Brasil		
FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA			
Lâmina analisada: RFH-6		Nome da rocha: siltito	
DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA			
Rocha sedimentar siliciclástica com leve bandamento composicional marcado por camadas mais claras exibindo coloração branco-amarelada ou transparente, algumas delas contendo significativas concentrações de minerais filossilicáticos, de hábito micáceo, indistinguíveis com visão desarmada, contrastando com camadas mais escuras de cores verde-amarronzada a preta, formado também por minerais filossilicáticos, juntamente com minerais vermelho-escuros e pretos de hábito granular.			
DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA			
Composição mineralógica			
Minerais observados argilominerais primários e neoformados quartzo feldspatos hematita biotita minerais opacos anatásio e zircão		Percentuais estimados ~ 40 % ~ 40 % ~ 10 % ~ 5 % ~ 3 % ~ 1 % traços	
Fotomicrografia		Detalhamento descritivo	
(A)  (B)  (A) – nicóis paralelos; (B) – nicóis cruzados; Aumento da lente objetiva: 10X.		Rocha exibindo estrutura laminada e textura psamítica a lutítica. Trata-se de um arenito muito fino. Os grãos detríticos que se encontram preservados, sendo que os mesmos incluem quartzo e feldspatos os tipos sódico e potássico com boa seleção, majoritariamente na fração de areia silte (entre 0,004 e 0,0625 mm), embora também haja contribuição significativa de grãos cujas dimensões inserem-se na fração de areia muito fina. Eles se apresentam anisotrópicos, imaturos, com baixo grau de esfericidade e arredondamento e formas subangulares. Os feldspatos encontram-se parcialmente alterados para argilominerais secundários, possivelmente caulinita, destacadamente presente na matriz da rocha, juntamente com óxido de ferro decorrente da alteração de biotita. A presença de argilominerais primários também é observada. Denota-se ainda, na condição de minerais acessórios, a presença de hematita, minerais opacos, bem como traços de anatásio e zircão.	

	D Desvendando o sistema fonte-sumidouro e a interação água-rocha em afloramentos da Formação Tatui, Bacia Sedimentar do Paraná, Centro-Leste do Estado de São Paulo, Brasil		
FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA			
Lâmina analisada: RFH-7		Nome da rocha: arenito	
DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA			
Rocha sedimentar siliciclástica orientada. Há o registro de grãos de quartzo e feldspatos detríticos, moderadamente selecionados, além de minerais pretos exibindo hábito granular. Na matriz, constata-se a presença de minerais filossilicáticos apresentando coloração amarelo-esbranquiçada			
DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA			
Composição mineralógica			
Minerais observados quartzo argilominerais primários e neoformados feldspatos hematita biotita goethita minerais opacos zircão anatásio		Percentuais estimados ~ 50 % ~ 24 % ~ 15 % ~ 4 % ~ 2 % ~ 2 % ~ 1 % ~ 1 % traços	
Fotomicrografia		Detalhamento descritivo	
(A)  (B)  (A) – nicois paralelos; (B) – nicois cruzados; Aumento da lente objetiva: 10X.		Rocha exibindo estrutura laminada e textura psamítica. Em termos litológicos, trata-se de um arenito muito fino, tendo em vista a presença de grãos de quartzo e feldspatos preservados juntos ao arcabouço, com dimensões majoritárias situadas entre 0,0625 e 1,25 mm. Eles são anisotrópicos, imaturos, com baixo grau de esfericidade e arredondamento, além de formas angulares a subangulares. Os feldspatos se apresentam parcialmente alterados para argilominerais neoformados, possivelmente caulinita, bem como a hematita e biotita para óxidos de ferro. Há ainda o registro de argilominerais primários. Na matriz, ressalta-se também o registro de grãos de quartzo e feldspatos e demais minerais supramencionados contendo dimensões inferiores a 0,0625 mm, mas com características similares àquelas anteriormente elencadas. Verifica-se ainda uma ocorrência restrita de minerais opacos e zircão, bem como traços de anatásio.	

	Desvendando o sistema fonte-sumidouro e a interação água-rocha em afloramentos da Formação Tatui, Bacia Sedimentar do Paraná, Centro-Leste do Estado de São Paulo, Brasil		
FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA			
Lâmina analisada: RFH-12		Nome da rocha: siltito	
DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA			
Rocha sedimentar siliciclástica levemente orientada. Em seu arcabouço, constata-se a presença de grãos visíveis de quartzo e feldspatos anisotrópicos e, em sua matriz, é possível constatar a presença dos mesmos grãos em frações mais diminutas, sobretudo quartzo e, em âmbito secundário, pequenos minerais de colorações vermelho-amarronzadas a pretas apresentando hábitos granular e micáceo, além de filossilicatos. A diferença entre as bandas é tênue, com uma delas exibindo grãos quartzo-feldspáticos maiores, além de uma contribuição mais significativa no que tange aos minerais de hábitos granular e micáceo supracitados quando comparada à outra banda.			
DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA			
Composição mineralógica			
Minerais observados quartzo feldspatos argilominerais primários e neoformados hematita biotita goethita opacos anatásio e zircão		Percentuais estimados ~ 50% ~ 30% ~ 15% ~ 4% ~ 2% ~ 2% ~ 1% traços	
Fotomicrografia		Detalhamento descritivo	
(A)  (B)  (A) – nicóis paralelos; (B) – nicóis cruzados; Aumento da lente objetiva: 10X.		Rocha exibindo estrutura laminada e textura lutítica. Seu arcabouço é constituído por quartzo e feldspatos sódico e potássico. Os grãos apresentaram formas predominantemente angulares, com baixo grau de arredondamento e esfericidade, além de seleção moderada a boa seleção. A maioria dos grãos detríticos situaram-se na fração correspondente ao silte, com dimensões preponderantemente oscilando entre 0,004 a 0,0625 mm, dentro, portanto, da fração silte. Diante do exposto, classificou-se esta rocha como siltito. Ressalta-se, porém, em âmbito minoritário, presença de superiores a essas dimensões pertencentes a uma das bandas descritas. A matriz da rocha analisada é constituída principalmente por argilominerais e, em âmbito complementar, torna-se importante destacar a presença de hematita, biotita, goethita e opacos na condição de minerais acessórios, além de traços de anatásio e zircão.	

 Desvendando o sistema fonte-sumidouro e a interação água-rocha em afloramentos da Formação Tatuí, Bacia Sedimentar do Paraná, Centro-Leste do Estado de São Paulo, Brasil 	
FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA	
Lâmina analisada: RFH-13	Nome da rocha: siltito
DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA	
Rocha sedimentar siliciclástica orientada. Arcabouço constituído por quartzo e feldspatos, além restritos minerais filossilicáticos pretos e uma matriz constituída por argilominerais e, secundariamente, por minerais avermelhados a pretos de hábitos granular.	
DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA	
Composição mineralógica	
Percentual estimado: quartzo argilominerais primários e neoformados feldspatos biotita hematita goethita minerais opacos anatásio e zircão	Percentual estimado: ~ 45% ~ 30% ~ 15% ~ 4% ~ 2% ~ 2% ~ 1% traços
Fotomicrografia:	Detalhamento descritivo:
(A)  (B)  (A) – nicois paralelos; (B) – nicois cruzados; Aumento da lente objetiva: 10X.	Rocha contendo estrutura laminada e textura psamítica a lutítica. Em seu arcabouço, são constatados grãos detríticos de quartzo, juntamente com feldspatos sódico e potássico, com último apresentando menor abundância em relação ao anterior. Os minerais feldspáticos estão, em grande parte, alterados para argilominerais. Os grãos detríticos do arcabouço exibiram dimensões situadas majoritariamente na faixa entre 0,004 a 0,0625 mm, razão pela qual foi possível classificar a rocha como siltito. Eles apresentam formas angulares a subangulares, baixo a médio grau de esfericidade e arredondamento, além de apresentarem boa seleção. A matriz é constituída por argilominerais, sendo parte deles oriundos da alteração dos feldspatos. Em âmbito mais restrito, denota-se ainda a presença de biotita, hematita, goethita decorrente da alteração dos dois minerais citados anteriormente, bem como minerais opacos e, por fim, traços de anatásio e zircão.

	Desvendando o sistema fonte-sumidouro e a interação água-rocha em afloramentos da Formação Tatuí, Bacia Sedimentar do Paraná, Centro-Leste do Estado de São Paulo, Brasil		
FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA			
Lâmina analisada: RFH-15		Nome da rocha: arenito	
DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA			
Rocha sedimentar siliciclástica orientada, sendo ela composta principalmente por grãos de quartzo e feldspatos anisotrópicos, juntamente com uma matriz constituída por argilominerais não-indistinguíveis, além de minerais de cor preta apresentando hábitos lamelar e micáceo.			
DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA			
Composição mineralógica			
Percentual estimado: quartzo argilominerais primários e neoformados feldspatos biotita goethita hematita opacos muscovita anatásio e zircão		Percentual estimado: ~ 57% ~ 15% ~ 15% ~ 4% ~ 3% ~ 2% ~ 2% ~ 1% traços	
Fotomicrografia:		Detalhamento descritivo:	
(A) 		Rocha exibindo estrutura maciça e textura psamítica. No arcabouço, é verificado a presença de quartzo e feldspatos sódico e potássico, sendo que estes se encontram parcialmente alterados para argilominerais secundários. Os grãos detríticos presentes nessa fração da rocha situaram-se majoritariamente na faixa entre 0,0625 a 0,125 mm. Trata-se de um arenito muito fino. Todavia, registra-se também grãos detríticos minoritários de quartzo que ultrapassaram o limite superior anteriormente mencionados e que se encontram-se, portanto, inseridos já dentro da categoria relativa aos finos. Eles são anisotrópicos, com formas angulares a subangulares, baixo a médio grau de esfericidade e arredondamento, além de uma boa a moderada seleção granulométrica. Constata-se também a presença de hematita e mica do tipo biotita, sendo que esta última, ao menos em parte, encontra-se alterando para goethita. Esses mesmos minerais, também são verificados na matriz da rocha, em dimensões frequentemente inferiores a 0,1 mm, juntamente com os argilominerais primários e neoformados. Reporta-se ainda a presença de minerais opacos e muscovita, além de traços de anatásio e zircão.	
(B)  (A) – nicois paralelos; (B) – nicois cruzados; Aumento da lente objetiva: 10X.			

**Desvendando o sistema fonte-sumidouro e a interação
água-rocha em afloramentos da Formação Tatuí,
Bacia Sedimentar do Paraná, Centro-Leste do
Estado de São Paulo, Brasil**



FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA

Lâmina analisada: RFH-17

Nome da rocha: siltito

DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA

Rocha sedimentar siliciclástica orientada. Em seu arcabouço, é constatada a presença majoritária de grãos detríticos anisotrópicos de quartzo, juntamente com feldspatos. Na matriz, há o registro de argilominerais, além de mineral vermelho-escuro a preto contendo hábito granular.

DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA

Composição mineralógica

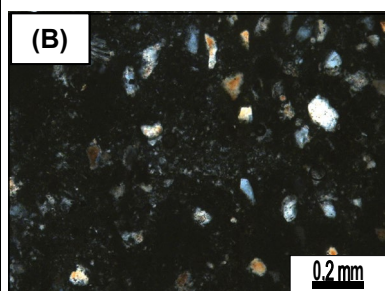
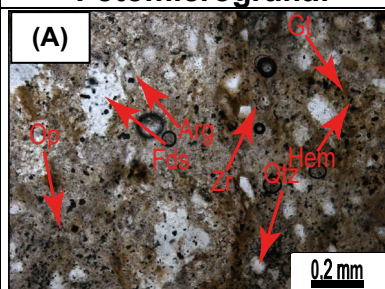
Percentual estimado:

quartzo
argilominerais primários e neoformados
feldspatos
hematita
goethita
opacos
zircão

Percentual estimado:

~ 45%
~ 35%
~ 15%
~ 5%
~ 3%
~ 1%
traços

Fotomicrografia:



(A) – nicois paralelos;

(B) – nicois cruzados;

**Aumento da lente objetiva:
10X.**

Detalhamento descritivo:

Rocha exibindo estrutura laminada e textura clástica. Os minerais essenciais presentes na rocha são os argilominerais, além de quartzo e feldspatos sódico e potássico. Os grãos detríticos são, em linhas gerais, bem selecionados, exibindo formas subangulares e com baixo grau de arredondamento e esfericidade. Eles encontram-se majoritariamente situados na faixa entre 0,004 a 0,0625 mm, razão pela qual a rocha foi classificada como siltito. No que tange à fração Na matriz da rocha, além dos argilominerais, observa-se a presença de hematita, goethita oriunda da alteração do mineral anteriormente mencionado, minerais opacos, além de traços de zircão.

**Desvendando o sistema fonte-sumidouro e a interação
água-rocha em afloramentos da Formação Tatuí,
Bacia Sedimentar do Paraná, Centro-Leste do
Estado de São Paulo, Brasil**



FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA

Lâmina analisada: RFH-21

Nome da rocha: arenito

DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA

Rocha sedimentar siliciclástica levemente orientada. Seu arcabouço é constituído principalmente por grãos de quartzo e feldspatos anisotrópicos imersos em uma matriz composta por argilominerais. Denota-se também, nesta fração da rocha, a ocorrência de minerais de coloração preta exibindo hábito granular e, mais restritamente, minerais pretos com hábito micáceo.

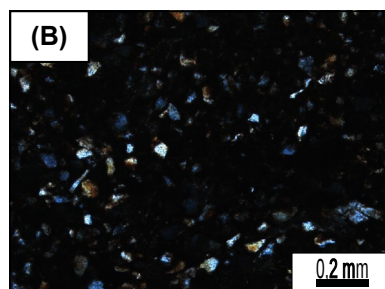
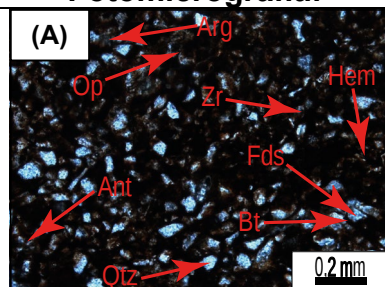
DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA

Composição mineralógica

Percentual estimado:	Percentual estimado:
quartzo	~ 58%
argilominerais primários e neoformados	~ 23%
feldspato	~ 10%
hematita	~ 3%
goethita	~ 3%
biotita	~ 1%
opacos	~ 1%
anatásio e zircão	traços

Fotomicrografia:

Detalhamento descritivo:

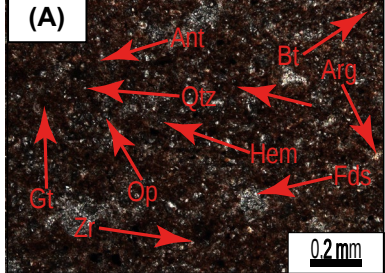
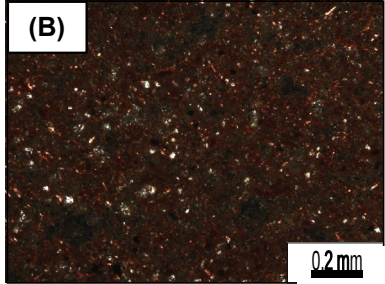


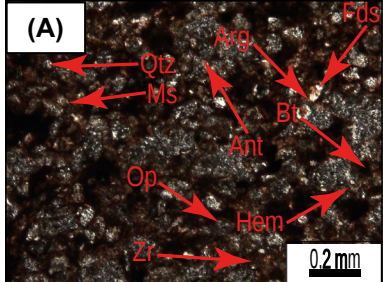
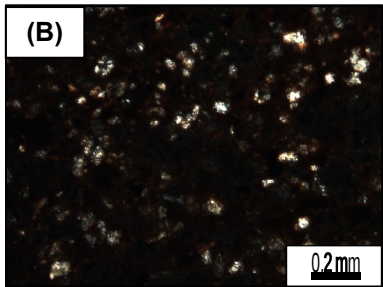
(A) – nicois paralelos;

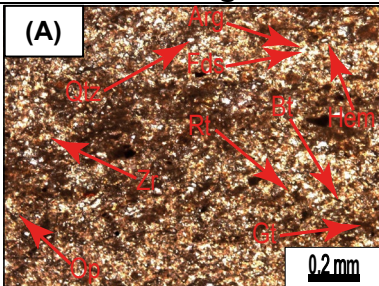
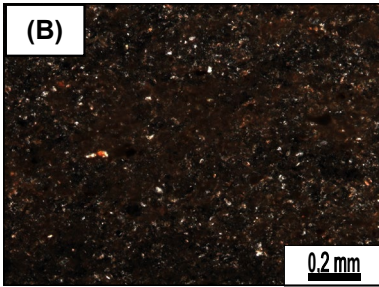
(B) – nicois cruzados;

Aumento da lente objetiva:
10X.

Rocha contendo estrutura laminada e textura clástica, cujo arcabouço é constituído predominantemente por quartzo, além de feldspatos sódico e potássico. Os argilominerais verificados são ao menos, em partes, oriundos da alteração dos feldspatos. A maioria dos grãos detríticos presentes em seu arcabouço encontram-se situam-se na faixa entre cerca de 0,004 a 0,0625 mm, possibilitando classificá-la como arenito muito fino. Trata-se de grãos corresponde à fração dos muito finos. Complementarmente, cabe destacar que eles são anisotrópicos, com boa e moderada seleção, baixo grau de arredondamento e esfericidade, além de formas predominantemente subangulares. Juntamente com argilominerais, em sua matriz denota-se a presença de minerais primários ricos em ferro, no caso, hematita e biotita, bem como neoformados, mais especificamente goethita, além de minerais opacos. Como minerais traços, são observados grãos de anatásio e zircão.

	Desvendando o sistema fonte-sumidouro e a interação água-rocha em afloramentos da Formação Tatuí, Bacia Sedimentar do Paraná, Centro-Leste do Estado de São Paulo, Brasil		
FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA			
Lâmina analisada: RFH-23		Nome da rocha: siltito	
DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA			
Rocha sedimentar siliciclástica orientada. Em seu arcabouço, denota-se a presença de grãos de quartzo e feldspatos anisotrópicos, envolvidos por uma matriz filossilicática. Na referida fração da rocha, são verificados minerais pretos apresentando hábitos granular e micáceo.			
DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA			
Composição mineralógica			
Percentual estimado: argilominerais primários e neoformados quartzo feldspatos goethita hematita biotita opacos anatásio e zircão		Percentual estimado: ~ 40% ~ 35% ~ 15% ~ 4% ~ 2% ~ 2% ~ 1% traços	
Fotomicrografia:		Detalhamento descritivo:	
(A) 		Rocha apresentando estrutura laminada e textura lutítica. Em seu arcabouço, há o registro de quartzo e feldspatos sódico e potássico, sendo que estes últimos encontram-se parcialmente alterados para argilominerais secundários. Os grãos detríticos presentes na fração supramencionada da rocha analisada majoritariamente entre cerca de 0,004 a 0,0625 mm. Em decorrência deste fato, a rocha foi classificada como siltito. Os seus grãos exibem boa seleção, médio a baixo grau de arredondamento e esfericidade, além de formas predominantemente subangulares a angulares. Na matriz, além do registro de argilominerais, em parte, neoformados, além de minerais ricos de ferro, dentre os quais incluem goethita, hematita e hematita, além de minerais opacos. Ressalta-se, por fim, a ocorrência de traços de anatásio e zircão.	
(B) 			
(A) – nicois paralelos; (B) – nicois cruzados; Aumento da lente objetiva: 10X.			

	Desvendando o sistema fonte-sumidouro e a interação água-rocha em afloramentos da Formação Tatuí, Bacia Sedimentar do Paraná, Centro-Leste do Estado de São Paulo, Brasil		
FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA			
Lâmina analisada: RFH-24		Nome da rocha: siltito	
DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA			
Rocha sedimentar siliciclástica orientada. Em seu arcabouço, observa-se a presença de quartzo e feldspatos orientados, além do registro de uma matriz filossilicática, na qual também ser verificados minerais pretos de hábitos granular e micáceo.			
DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA			
Composição mineralógica			
Percentual estimado: quartzo feldspatos argilominerais primários e neoformados goethita biotita hematita opacos muscovita anatásio e zircão		Percentual estimado: ~ 48% ~ 21% ~ 17% ~ 5% ~ 3% ~ 2% ~ 2% ~ 1% traços	
Fotomicrografia:		Detalhamento descritivo:	
(A)  (B) 		Rocha com estrutura laminada e textura granular. No que concerne ao seu arcabouço, ele é constituído por grãos de quartzo e feldspatos sódico e potássico, sendo que estes últimos apresentam-se parcialmente alterados para argilominerais secundários. As dimensões dos grãos detríticos supracitados estão preponderantemente situados na faixa entre 0,04 a 0,0625 mm, razão pela qual houve a classificação desta rocha como siltito. Eles possuem seleção moderada a boa, médio grau de arredondamento e esfericidade, além de formas predominantemente subangulares. Na matriz, além do registro de argilominerais primários e neoformados. Como acessórios, se destacam minerais ricos em ferro, mais precisamente goethita, biotita e hematita, e, mais restritamente, minerais opacos, assim como traços de anatásio e zircão.	
(A) – nicois paralelos; (B) – nicois cruzados; Aumento da lente objetiva: 10X.			

 Desvendando o sistema fonte-sumidouro e a interação água-rocha em afloramentos da Formação Tatuí, Bacia Sedimentar do Paraná, Centro-Leste do Estado de São Paulo, Brasil 	
FICHA DE DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA	
Lâmina analisada: RFH-37	Nome da rocha: siltito
DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA	
Rocha sedimentar siliciclástica orientada. Os grãos de quartzo e feldspatos presentes em seu arcabouço exibem orientação preferencial. Os referidos grãos encontram-se imersos em uma matriz constituída por filossilicatos, além de minerais pretos apresentando hábito granular.	
DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA	
Composição mineralógica	
Percentual estimado: argilominerais quartzo feldspatos goethita biotita hematita, opacos, anatásio e zircão	Percentual estimado: ~ 43% ~ 40% ~ 10% ~ 5% ~ 1% traços
Fotomicrografia:	Detalhamento descritivo:
(A)  (B)  (A) – nicois paralelos; (B) – nicois cruzados; Aumento da lente objetiva: 10X.	Rocha com estrutura laminada e textura lutítica. Em relação aos minerais presentes em seu arcabouço, tratam-se de grãos de quartzo e feldspatos sódico e potássico, com significativa alteração destes últimos para argilominerais secundários. Os grãos detríticos analisados possuem uma seleção moderada a boa, médio a baixo grau de arredondamento e esfericidade, além de formas caracteristicamente subangulares. As suas dimensões situam-se majoritariamente entre 0,004 a 0,0625 mm. Esta constatação permitiu classificar a rocha analisada como siltito. Há a presença de argilominerais primários e neoformados na fração intrínseca à matriz da rocha, além do registro secundário de goethita e biotita, bem como traços de hematita, minerais opacos, anatásio e zircão.