

Trabalho de Conclusão de Curso

Curso de Graduação em Geologia

**ISÓTOPOS NATURAIS DE URÂNIO EM SEDIMENTOS DE FUNDO COMO
FERRAMENTA DE ANÁLISE AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
PARDO, ESTADO DE SP**

Lucas Souza Venciguerra

Prof. Dr. Daniel Marcos Bonotto

Rio Claro (SP)

2021

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

LUCAS SOUZA VENCIGUERRA

ISÓTOPOS NATURAIS DE URÂNIO EM SEDIMENTOS
DE FUNDO COMO FERRAMENTA DE ANÁLISE
AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARDO,
ESTADO DE SP

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

Rio Claro - SP
2021

V451i Venciguerra, Lucas Souza
Isótopos naturais de urânio em sedimentos de fundo como
ferramenta de análise ambiental da bacia hidrográfica do Rio
Pardo, estado de SP / Lucas Souza Venciguerra. -- Rio Claro,
2021
53 f. : il., tabs., fotos, mapas

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Geologia) -
Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de
Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro
Orientadora: Daniel Marcos Bonotto

1. Geoquímica. 2. Geologia isotópica. 3. Urânio. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do
Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

LUCAS SOUZA VENCIGUERRA

ISÓTOPOS NATURAIS DE URÂNIO EM SEDIMENTOS
DE FUNDO COMO FERRAMENTA DE ANÁLISE
AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARDO,
ESTADO DE SP

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

Comissão Examinadora

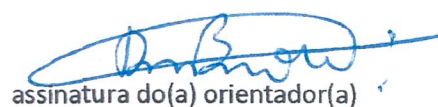
Prof. Dr. Daniel Marcos Bonotto (orientador)

Dr. Fanny Roxana Mamani Matamet

Msc. Eder Queiroz Barbosa

Rio Claro, 18 de Março de 2021.


Assinatura do(a) aluno(a)


assinatura do(a) orientador(a)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a vida por ter me proporcionado todas as vivências que hoje me tornaram a pessoa que chegou até aqui com muito esforço e dedicação.

A todos aqueles que fizeram parte da minha jornada, instruindo, educando, alegrando ou apoiando quando necessário. Família, amigos, colegas e professores, sou muito grato a todos vocês.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pela concessão de bolsa, fundamental no desenvolvimento deste trabalho.

“Arqueólogos, geólogos, antropólogos, ah

Façam parte dos nossos”

Criolo

RESUMO

A radioatividade na natureza se dá em sua maioria pela emissão de partículas e radiação por parte de poucos, mas importantes elementos. Neste trabalho o foco se concentrou no urânio que apresenta variados estados de oxidação e, por conseguinte é geralmente muito lixiviado. Sua importância neste estudo se deu pela razão de atividade $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$, no tocante ao chamado equilíbrio radioativo. A área enfocada foi a Bacia Hidrográfica do Rio Pardo, no sudoeste do estado de São Paulo, um rio amplamente conservado e utilizado para consumo humano e agropecuário, o que o torna fonte crucial de pesquisa para a região, por meio da aplicação do método de desequilíbrio isotópico do urânio. Sendo assim, através de análises por via química conforme descrito na literatura foram medidas as razões de atividade $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ e concentração de urânio em amostras de 6 perfis de sedimentos de fundo do Rio Pardo. Os dados obtidos permitiram estimar “idades aparentes” as quais permitiram sugerir que houveram variados períodos acentuados de intemperismo na região durante o Pleistoceno Médio a Superior.

Palavras-chave: urânio, isótopos, sedimentos.

ABSTRACT

Radioactivity in nature is mostly caused by the emission of particles and radiation by a few, but important elements. In this work, the focus was on uranium, which presents various oxidation states and, therefore, is generally very leached. Its importance in this study was due to the $^{234}\text{U} / ^{238}\text{U}$ activity ratio. Thus, the focus of this study was on the Pardo River Basin, in the southwest of the state of São Paulo, a river widely preserved and used for human and agricultural consumption, which makes it a crucial source of research for the region, through application of the uranium isotopic disequilibrium method. Therefore, through chemical analysis as proposed in the literature, it was measured the $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ activity ratio and uranium concentration in 6 bottom sediment profiles samples from Pardo River. The data obtained allowed estimate “apparent ages” which permitted to suggest the occurrence of several periods of accentuated weathering in the region during the Middle to Upper Pleistocene.

Keywords: uranium, isotopes, sediments

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo.....	14
Figura 2: Desenho esquemático das cadeias de decaimento do ^{238}U , ^{235}U e ^{232}Th ..	16
Figura 3: Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Paranapanema e suas sub-bacias	20
Figura 4: Mapa das bacias sedimentares brasileiras.	21
Figura 5: Mapa geológico simplificado da Bacia Sedimentar do Paraná.....	22
Figura 6: Mapa litoestratigráfico da parte oriental da Bacia Bauru.	24
Figura 7: Mapa geológico de detalhe da área de estudo.	25
Figura 8: Mapa hidrogeológico da região de estudo.	28
Figura 9: Mapa pedológico da região de estudo.	30
Figura 10: Mapa hidrográfico da bacia do rio Pardo.....	32
Figura 11: Mapa do PIB, por setor, total e por UPH na UGRH Paranapanema.	34
Figura 12: Mapa de uso do solo da região de estudo.	35
Figura 13: Equipamento utilizado para amostragem.	36
Figura 14: Diagrama mostrando o procedimento geral de extração de isótopos de urânio e outros radionuclídeos usando resina UTEVA.....	38
Figura 15: Diagrama do sistema espectrométrico alfa instalado no LABIDRO.	40
Figura 16: Espectro alfa típico obtido através da leitura de padrão contendo isótopos de urânio e descendentes do ^{232}U	41
Figura 17: Mapa com a localização e fotos dos perfis amostrados.	44
Figura 18: Fotografias do procedimento laboratorial. A: etapa de filtração do resíduo não dissolvido; B: traçador ^{232}U ; C: colunas de troca aniônica; D: etapa de extração do ferro com funil de separação; E: eletrodeposição.	45
Figura 19: Relação entre a concentração de urânio nos sedimentos e a distância entre a nascente e foz do Rio Pardo (SP).	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Concentração de urânio e razão de atividade $^{234}\text{U} / ^{238}\text{U}$ nos sedimentos analisados e estimativa das idades aparentes	47
---	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	12
2	OBJETIVOS	15
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
3.1	Equilíbrio Radioativo.....	16
3.2	Urânio	17
4	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDO	19
4.1	Geologia	21
4.2	Hidrogeologia	27
4.3	Pedologia	29
4.4	Geomorfologia.....	31
4.5	Hidrografia	31
4.6	Dados socioeconômicos e uso do solo	33
5	MATERIAIS E MÉTODOS.....	36
5.1	Etapa de Amostragem.....	36
5.2	Etapa de Laboratório	36
5.2.1	Metodologia de extração do urânio	36
5.2.2	Espectrometria Alfa.....	39
5.2.2.1	Sistema espectrométrico	39
5.3	Etapa de Escritório	41
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
7	CONCLUSÃO.....	49
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Ao se estudar o meio natural, nota-se que vários ciclos se estabeleceram e se perpetuam organicamente, todavia vê-se que a existência humana pode estar alterando o meio natural de uma forma que trará complicações futuras às próximas gerações.

Contudo, estudos mostram que com o adensamento dos centros urbanos próximos das áreas de captação das águas, dificulta-se a infiltração no solo o que faz com que ocorra erosão e inundações além da perda de água nos lençóis freáticos. Problemáticas que podem ser investigadas através de dados físico-químicos, geoquímicos e hidrológicos e a posterior combinação e interpretação destes conhecimentos.

Desde o início da existência da vida na Terra, é possível observar que os seres sempre estiveram expostos a fontes de emissão radioativas naturais, dos raios solares até os aparelhos eletrônicos e tecnologias avançadas da atualidade, de modo que todos estão sempre sendo bombardeados por partículas continuamente.

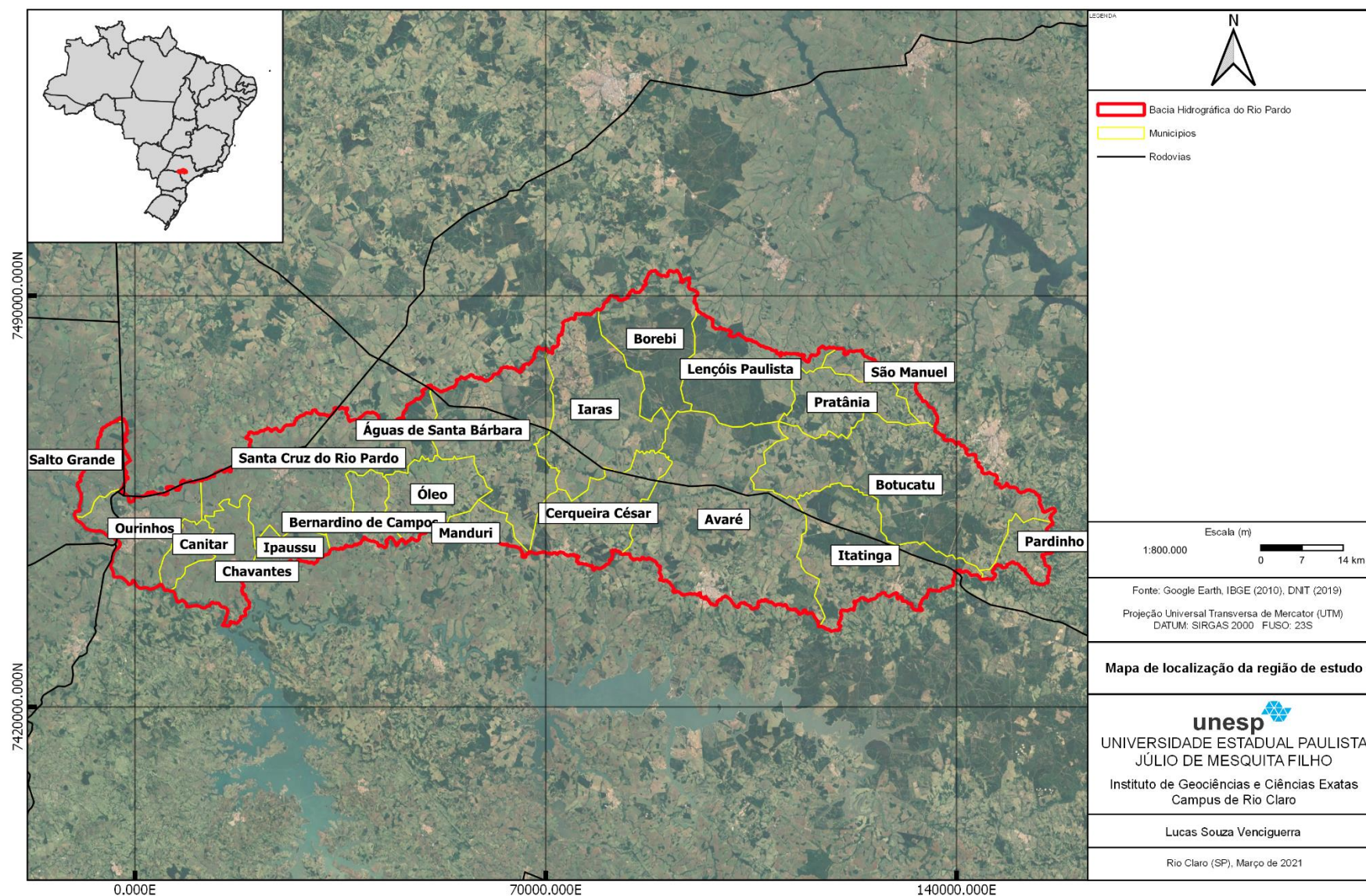
Quimicamente, diz-se que determinados elementos são em sua maioria responsáveis pela emissão de grande parte de partículas radioativas nas diferentes esferas terrestres como a biosfera, hidrosfera e litosfera. Dentre estes elementos pode-se destacar o urânio, um elemento que é um componente em quase 100 minerais como a uraninita e a pechblenda (BOURDON *et al.*, 2003). Sua importância neste estudo se dá pela razão $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$, notadamente quando a taxa de decaimento do elemento “pai” se iguala à taxa de decaimento do elemento “filho”, condição chamada de equilíbrio radioativo. Através de cálculos obtêm-se que este valor é unitário e ao se observar os sistemas naturais verificam-se valores diferentes do esperado, mostrando as alterações ocasionadas pelos fenômenos hidrológicos e geoquímicos.

A razão de atividade $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ e o teor de urânio em águas superficiais como rios ou lagos e em amostras de sedimentos, solos ou de rochas que ocorrem no fundo e em suspensão nestes corpos d'água constituem parâmetros que permitem inferir vários fatores associados a variações nos ciclos naturais de elementos metálicos e radioativos. Como exemplos podem-se dizer as taxas de intemperismo, lixiviação de metais, mudanças de características de aquíferos pela influência de metais além de taxas de aumento de impactos ambientais através de certos indicadores (DUARTE, 2002).

Neste contexto, nota-se a importância do estudo da bacia hidrográfica do Rio Pardo (Figura 1), pois o mesmo é considerado, no estado de São Paulo, um dos rios mais bem preservados. Suas águas são intensamente utilizadas pela população local seja para seu abastecimento doméstico, após tratamento convencional, como agricultura, lazer e aquicultura (CEDIAP-GEO, 2011).

Deste modo, sendo o Rio Pardo muito bem preservado, este estudo visa levantar dados específicos que permitam analisar alterações ambientais uma vez que além de muito bem preservado, a sociedade local se utiliza intensamente de suas águas. Com isso, este estudo se reveste de importância pela contínua investigação das condições de preservação do Rio Pardo que é responsável por grande parte do desenvolvimento da região.

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo.



2 OBJETIVOS

Neste trabalho visa-se observar alterações ambientais causadas na bacia hidrográfica do Rio Pardo, através da busca de dados específicos de alguns agentes determinantes de fatores a princípio sutis de mudanças ambientais.

Deste modo objetiva-se estudar sedimentos de fundo da bacia hidrográfica do Rio Pardo por meio de análises químicas, visando obter dados da razão de atividade do U e seus isótopos nas amostras para com isso inferir mudanças geoquímicas no ambiente ao longo do tempo.

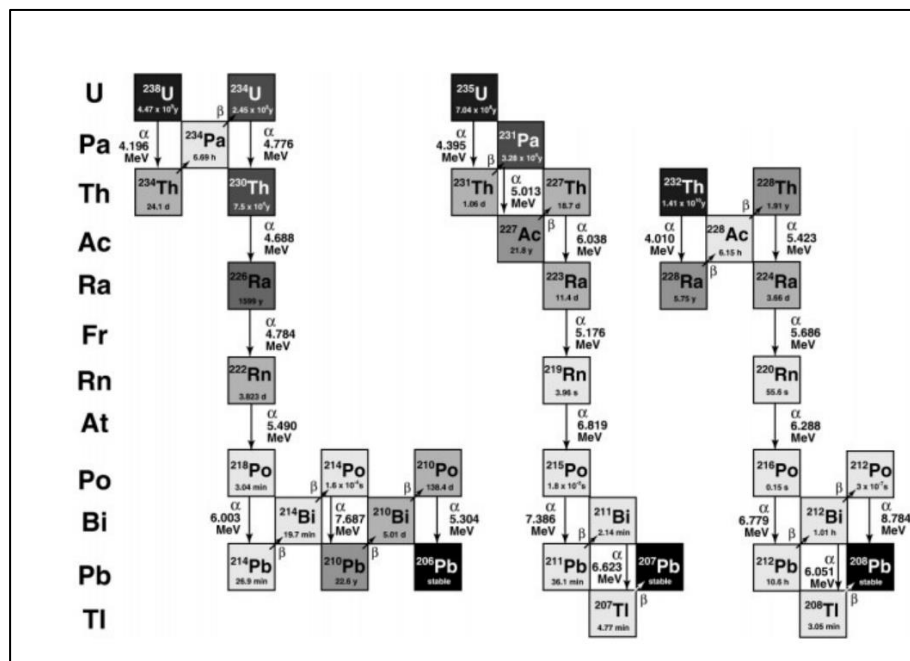
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Equilíbrio Radioativo

O urânio apresenta duas séries de decaimento radioativo (Figura 2), contando com os isótopos ^{238}U , ^{235}U e ^{234}U com proporções aproximadas de 99,28%, 0,72% e 0,0054% respectivamente (BONOTTO, 1994).

O ^{238}U e ^{235}U originam as séries de decaimento do urânio e do actínio respectivamente, onde seus nuclídeos descendentes apresentam meias-vidas que podem variar de segundos a milhares de anos. O primeiro finaliza sua série de decaimento no nuclídeo estável ^{206}Pb , após 14 desintegrações, e o segundo no nuclídeo estável ^{207}Pb , após 11 desintegrações. É válido ressaltar que o ^{234}U faz parte da série de decaimento do ^{238}U (DUARTE, 2002).

Figura 2: Desenho esquemático das cadeias de decaimento do ^{238}U , ^{235}U e ^{232}Th .



Fonte: Modificado de Bourdon *et al.*, (2003)

O equilíbrio radioativo ou equilíbrio secular se dá quando se permite que um nuclídeo “filho” seja acumulado em um ambiente fechado juntamente com seu “pai”, onde neste processo inicialmente há somente o acúmulo do nuclídeo “pai” puro, sendo o “filho” gerado na mesma proporção que o “pai” vem a se desintegrar. Contudo, ao passo que se tem o acúmulo do “filho”, sua taxa de geração entra em equilíbrio com

a taxa progressiva de decaimento do “pai”. Dado um período (cerca de sete meias-vidas), as taxas se tornam praticamente análogas e a atividade do nuclídeo “filho” entra em equilíbrio com a do nuclídeo “pai” (IVANOVICH; HARMON, 1992) conforme a equação (1):

$$\lambda_p N_p = \lambda_f N_f = \dots \lambda_n N_n \quad (1)$$

Onde: λ corresponde à constante de decaimento e N ao número de desintegrações sendo os índices p associados ao nuclídeo “pai” e f ao nuclídeo “filho”

Sendo assim, os isótopos ^{234}U e ^{238}U estão em equilíbrio radioativo secular nos minerais e rochas mais antigas que 1,2 milhão de anos que se assemelham a sistemas fechados, sendo unitária a razão entre o par de nuclídeos nessas circunstâncias (BONOTTO *et al.*, 2017; LATHAM; SCHWARCZ, 1987a)

Todavia, devido aos processos de intemperismo e interação da hidrosfera com a litosfera, corriqueiramente são encontradas razões de atividade $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ distantes da unidade para o urânio dissolvido ou em solo, o que coloca em evidência um desequilíbrio radioativo entre o “pai” e o “filho” (CONCEIÇÃO; BONOTTO, 2005; SILVA, 2011).

3.2 Urânio

Caracteristicamente, o urânio apresenta vários estados de oxidação o que leva à formação de vários compostos distintos e pode ser facilmente lixiviado de rochas porosas sofrendo precipitação em ambientes redutores (IVANOVICH; HARMON, 1992). Na água pode ser encontrado em dois estados de oxidação principais, +4 e +6, sendo o último, em geral, considerado mais solúvel que o primeiro (SILVA, 2011).

As rochas que contêm urânio em sua estrutura, principalmente minerais alcalinos ou alcalinos terrosos que são facilmente dissolvidos, como os feldspatos e plagioclásios, podem liberar quantidades significativas de urânio ao ambiente, fazendo com que este elemento migre para a água, de maneira que a interação dos isótopos com o meio gera um desequilíbrio entre eles em solos e perfis intemperizados (OLLEY; MURRAY; ROBERTS, 1996).

Além disso, Conceição (2005) apontou que rochas fosfáticas contêm radionuclídeos incorporados em minerais como apatita, em virtude da troca do cálcio

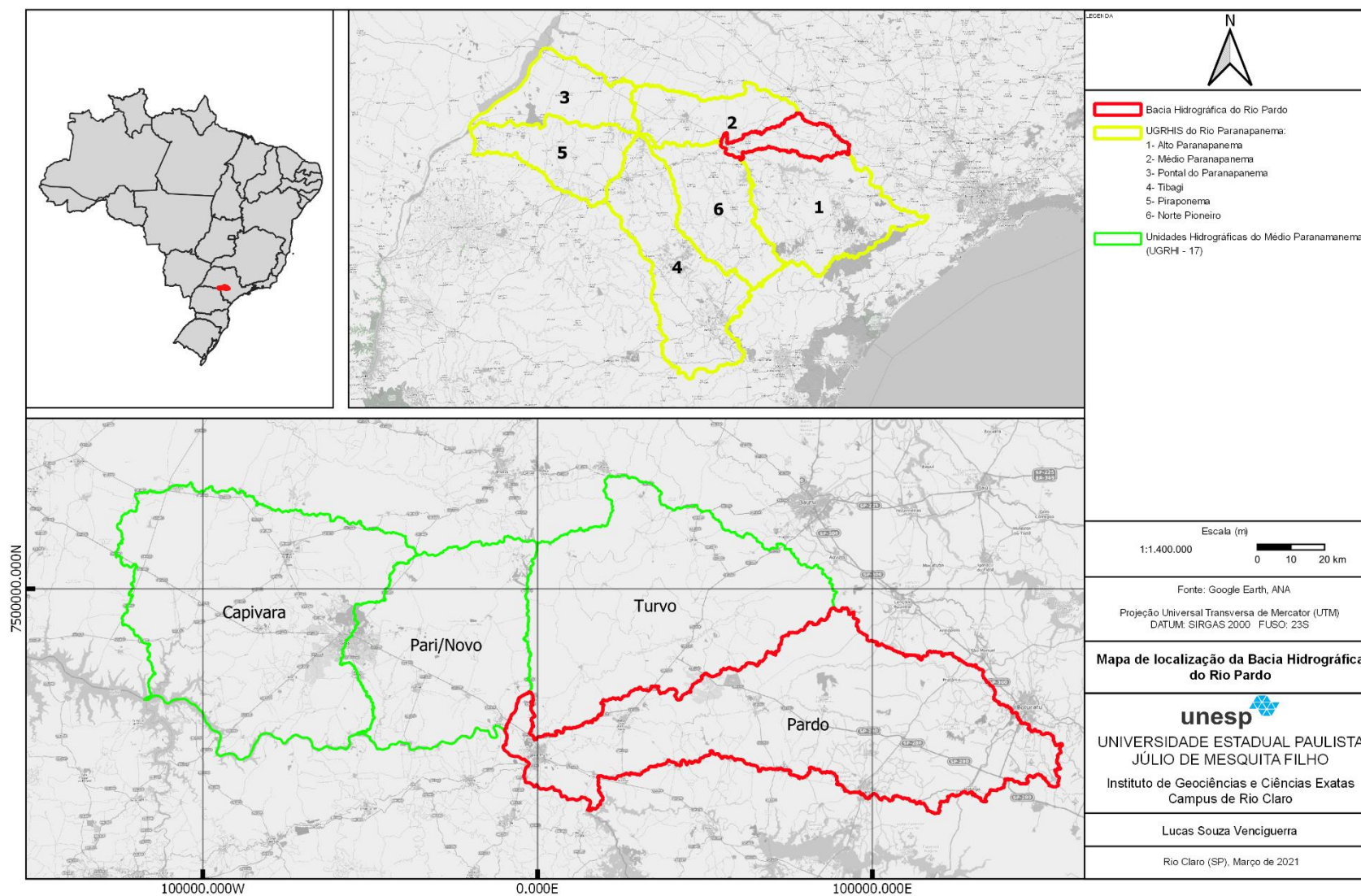
pelo urânio devido à semelhança de tamanho de raio iônico destes elementos. Deste modo, como estas rochas são utilizadas para a produção de fertilizantes e corretivos agrícolas, o elemento pode vir a se concentrar com o intenso uso em solos agricultáveis, tanto nos próprios solos como nas águas que percolam neste ambiente, ocasionando um desequilíbrio entre os isótopos.

Devido a solubilidade e as interações das águas com as rochas e minerais que contém o elemento, ocorre como já mencionado no *Capítulo 3.1*, o fracionamento dos isótopos das séries de decaimento e o consequente desequilíbrio isotópico. Silva (2011) mostrou que este fracionamento pode ser por um processo químico ou físico, por recuo alfa. O desequilíbrio químico ocorre principalmente por conta dos vários estados de oxidação dos núclídeos da série do ^{238}U , ao interagirem com os diferentes meios, matéria orgânica, microrganismos e coloides, pois quando solúveis podem ser facilmente lixiviados. Já o fracionamento físico ocorre quando um átomo de ^{238}U decai para ^{234}Th , por uma emissão alfa, que libera energia e acaba mobilizando o tório para posição inicialmente ocupada pelo átomo de urânio na estrutura cristalina, e desse modo se a distância entre a fronteira do grão for menor do que o alcance do átomo de ^{234}Th , o mesmo pode ser expulso para o fluído diretamente, fenômeno chamado de recuo alfa direto, que aumenta a concentração de ^{234}U na água (DEPAOLO *et al.*, 2006).

4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDO

A bacia hidrográfica do Rio Pardo tem uma área de 4.801,095 km² e se localiza no sudoeste central do estado de São Paulo. Esta bacia se insere na Região Hidrográfica do Paraná, sendo parte da Bacia Hidrográfica do Rio Paranapanema, a qual é caracterizada como uma bacia federal, por banhar os estados do Paraná e São Paulo (CEDIAP-GEO , 2011). Na Figura 3 é possível visualizar a localização da bacia do Rio Paranapanema e suas sub-bacias.

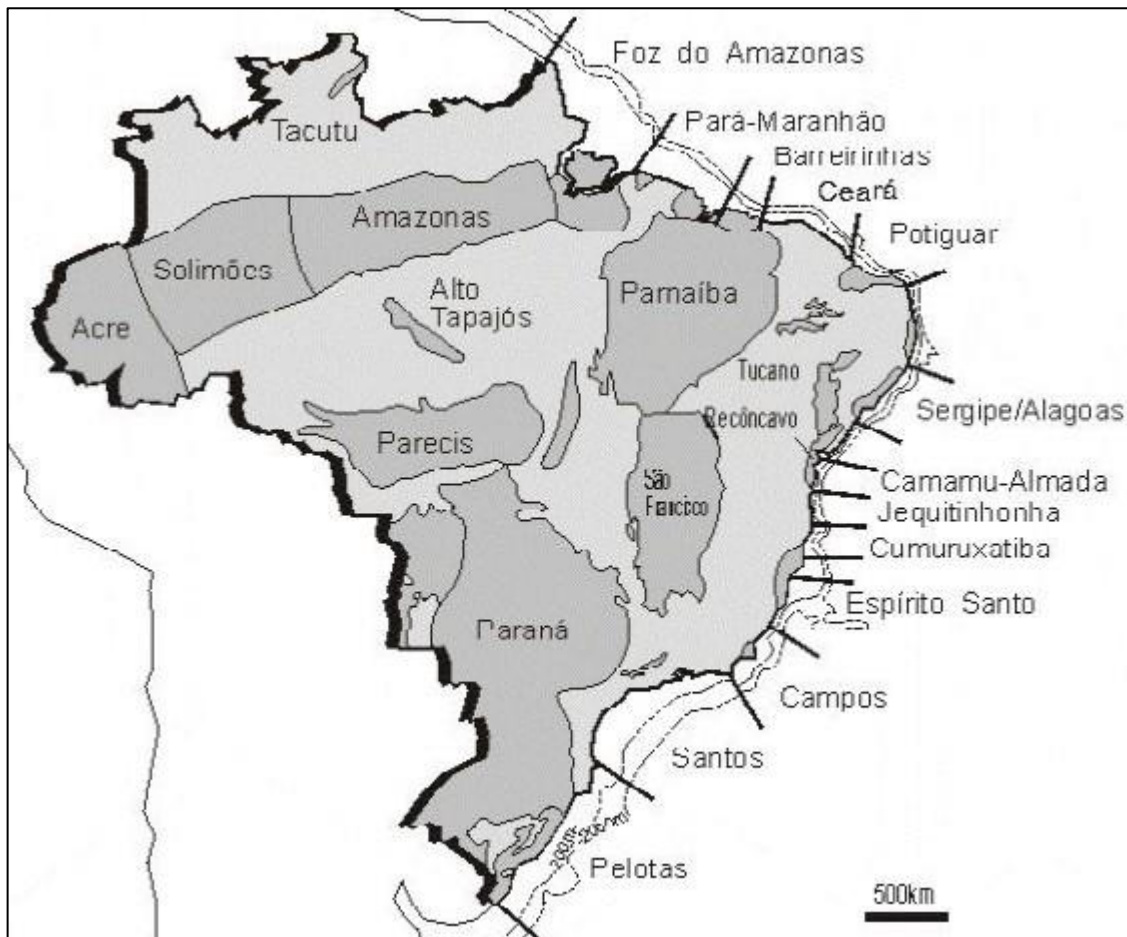
Figura 3: Mapa de localização da Bacia do Rio Paranapanema e suas sub-bacias



4.1 Geologia

A área de estudo está localizada na Bacia Sedimentar do Paraná, uma ampla bacia intracratônica (sinéclise) na plataforma sul-americana, que compreende o sudeste e sul do Brasil, somado a outros países sul-americanos (MILANI *et al.*, 2007). A Bacia do Paraná cobre uma volumosa área de cerca de 1700000 km² com um formato alongado na direção NE-SW. Possui um pacote de rochas sedimentares e magmáticas que alcança cerca de 7.000 metros em seu depocentro, o qual está localizado no estado do Paraná logo abaixo do rio homônimo (ÁVILA, 2017). Na Figura 4 são ilustradas as principais bacias sedimentares brasileiras.

Figura 4: Mapa das bacias sedimentares brasileiras.

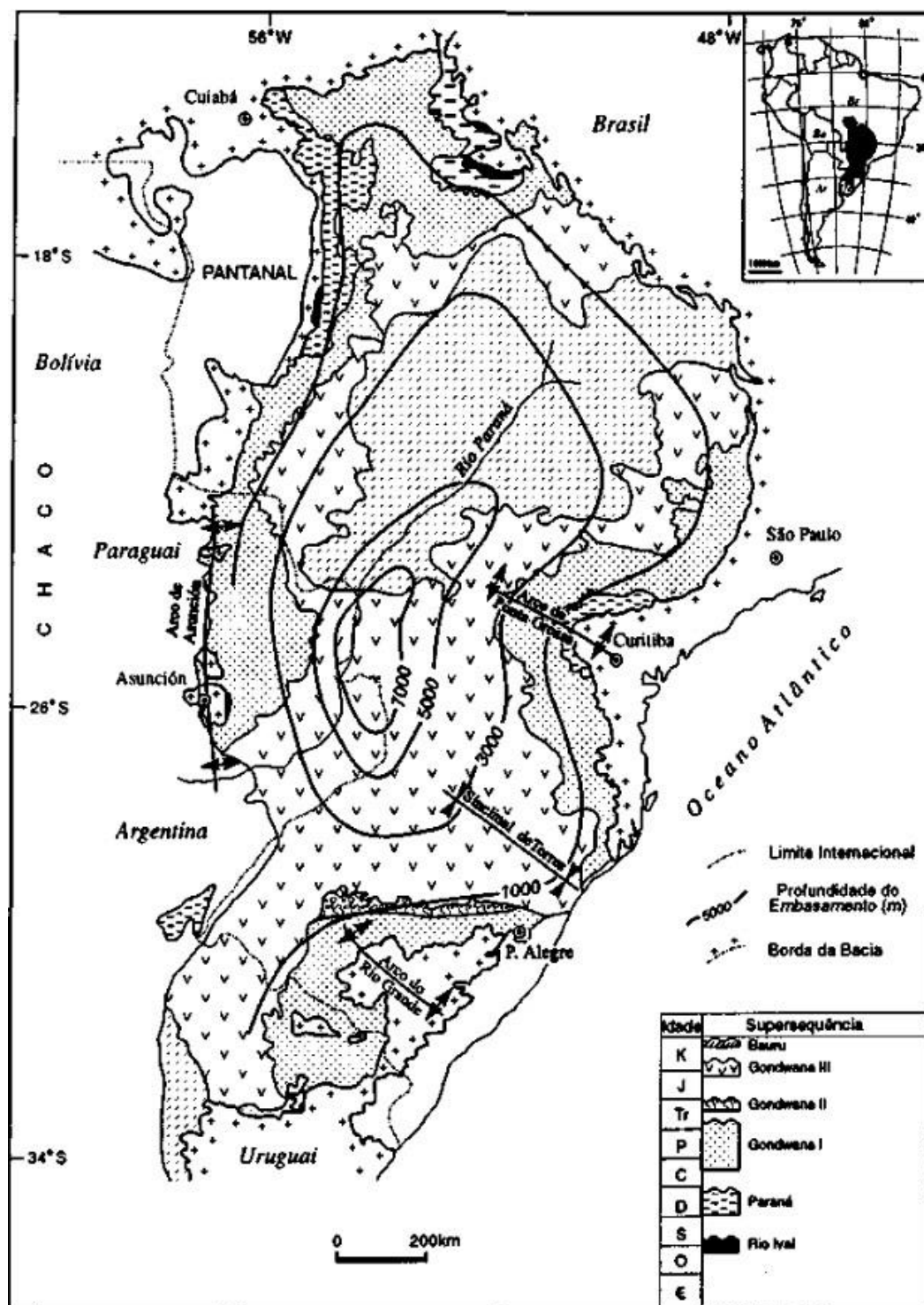


Fonte: Modificado de Milani *et al.*, (2000).

A Bacia do Paraná (Figura 5) constitui-se de seis supersequências (Rio Ivaí, Paraná, Gondwana I, Gondwana II, Gondwana III e Bauru) de sedimentação e subsidência separada por intervalos erosivos, relacionados à interação de eventos

tectônicos e eustáticos. O período que compreende estes eventos vai do início do Ordoviciano até o final do Cretáceo (MILANI; RAMOS, 1998). Na área de estudo ocorrem as Superseqüências Gondwana III e Bauru.

Figura 5: Mapa geológico simplificado da Bacia Sedimentar do Paraná.



Fonte: Modificado de Milani; Ramos (1998).

A Supersequência Gondwana III compreende o intervalo estratigráfico da Bacia do Paraná em que se posicionam as Formações Serra Geral e Botucatu, que constituem o Grupo São Bento (SILVA *et al.*, 2003).

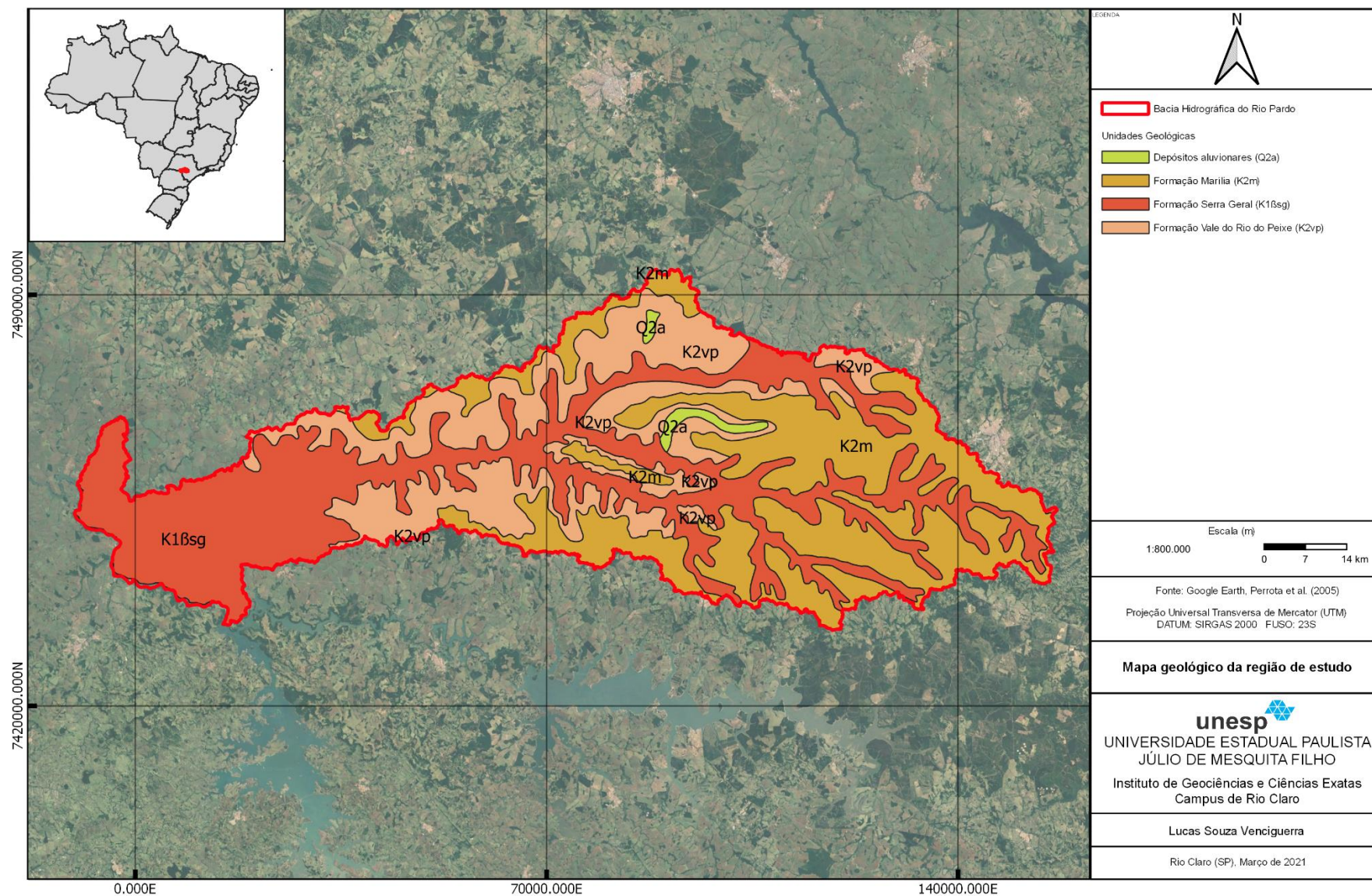
A Formação Botucatu é constituída principalmente por arenitos médios a finos com grãos que apresentam alta esfericidade, foscos e róseos. Em relação às estruturas são encontradas estratificações cruzadas tangenciais, de médio a grande porte, caracteristicamente de origem eólica. Com certa frequência podem ocorrer também sedimentos de origem alúvio-fluvial, formando arenitos médio a grossos, em corpos lenticulares com ciclos gradacionais e arenitos conglomeráticos associados (MILANI *et al.*, 2007)

A Formação Serra Geral por sua vez é o resultado de um intenso magmatismo fissural, datado por volta de 132 Ma, caracterizado por uma densa cobertura de derrames, chegando a 1.500 m de espessura no depocentro da bacia, associada a uma ampla rede de diques e inúmeras soleiras intrudidas nas camadas sedimentares. Nesta unidade, em termos de litologia são encontrados basaltos tholeíticos e andesitobasaltos tholeíticos, com augita e pigeonita, que perfazem aproximadamente 90% em volume das rochas extrusivas. De modo subordinado ocorrem andesitos tholeíticos, riódacitos e riolitos (PERROTTA *et al.*, 2005). Estas rochas apresentam coloração cinza a preta, com feições amigdaloidais no topo dos derrames, grande desenvolvimento de juntas horizontais e verticais, além de intercalações de arenitos médios a finos, estratificados, associados à Formação Botucatu na porção basal (SCHNEIDER *et al.*, 1974).

A Supersequência Bauru (Figura 6) Neocretácea, corresponde a cobertura pós-basáltica de caráter siliciclástica psamítica gerada sob condições semiáridas a desérticas (MILANI *et al.*, 2007). Constitui-se de dois grupos com passagem lateral gradual e interdigitada e, portanto, cronocorrelatos, nomeados Bauru e Caiuá. O primeiro subdividido nas formações Rio Paraná, Goio Erê e Santo Anastácio, já o segundo também definido como Bacia Bauru, é subdividido nas formações Araçatuba, Marília, Uberaba, Presidente Prudente, Vale do Rio do Peixe e São José do Rio Preto (FERNANDES, 2004).

O Grupo Caiuá não ocorre na área de estudo e está relacionado a um trato de sistemas eólico interior do Deserto Caiuá (FERNANDES; COIMBRA, 2000), apresentando depósitos de dunas de cristas sinuosas eólicas de grande porte,

Figura 7: Mapa geológico de detalhe da área de estudo.



A Formação Vale do Rio do Peixe é a unidade mais aflorante do Grupo Bauru e está localizada na base do grupo citado. Esta unidade transiciona gradualmente a oeste e sudoeste para a Formação Santo Anastácio e assenta-se sobre as rochas magmáticas da Formação Serra Geral (PERROTTA *et al.*, 2005). Esta Formação é composta por camadas métricas tabulares de arenitos finos, intercalados com siltitos ou lamitos arenosos. Os arenitos encontrados podem ser finos a muito finos, de coloração marrom-claro a alaranjados, de seleção moderada a boa, estruturalmente podem ser maciços ou com estratificações cruzadas tabulares a acanaladas de pequeno a médio porte e pontualmente ocorre intensa cimentação carbonática. Os estratos siltosos que ocorrem intercalados são de coloração marrom a creme, maciços ou com estratificações plano-paralelas pouco perceptível, podendo apresentar gretas de contração e feições de bioturbação nas porções de topo de modo pouco frequente. Esta formação está relacionada a depósitos eólicos, alocados em vastas áreas planas, sob a forma de lençóis de areia e campos de dunas, associados com depósitos de *loess* retidos em corpos d'água de curta duração. Raramente podem ser encontrados depósitos relacionados a eventos de enxurradas de deserto (*wadis*), onde se encontram arenitos grosseiros a conglomeráticos, associados a porções marginais da bacia ao Norte do Paraná (FERNANDES, 2004).

A Formação Marília é subdividida em três membros: Serra da Galda, Ponte Alta e Echaporã, sendo que os dois primeiros só ocorrem na região do Triângulo Mineiro (MG), e portanto, em São Paulo a unidade é caracterizada apenas pelo Membro Echaporã. Deste modo, a unidade é caracterizada de forma geral por arenitos maciços e conglomerados subordinados, ambos com cimentação carbonática (ALBARELI, 2013). O Membro Echaporã possui contatos graduais e interdigitados com a Formação Vale do Rio do Peixe, supracitada, e com os demais membros da Formação Marília, estando na borda da bacia a leste, no estado de São Paulo em contato direto com a Formação Serra Geral. Em termos de litologia é constituído por arenitos finos a médios, com intensa cimentação carbonática, imaturos, com frações grossas e grânulos pouco frequentes, alocadas em porções marginais da bacia. Subordinadamente também ocorrem crostas carbonáticas, lamitos arenosos e litofácies conglomeráticas (centimétricas) (MILANI *et al.*, 2007). Em relação às estruturas, as rochas se apresentam em estratos tabulares de cerca de 1 m de espessura, com raras estratificações cruzadas e apresentam coloração bege a rosa

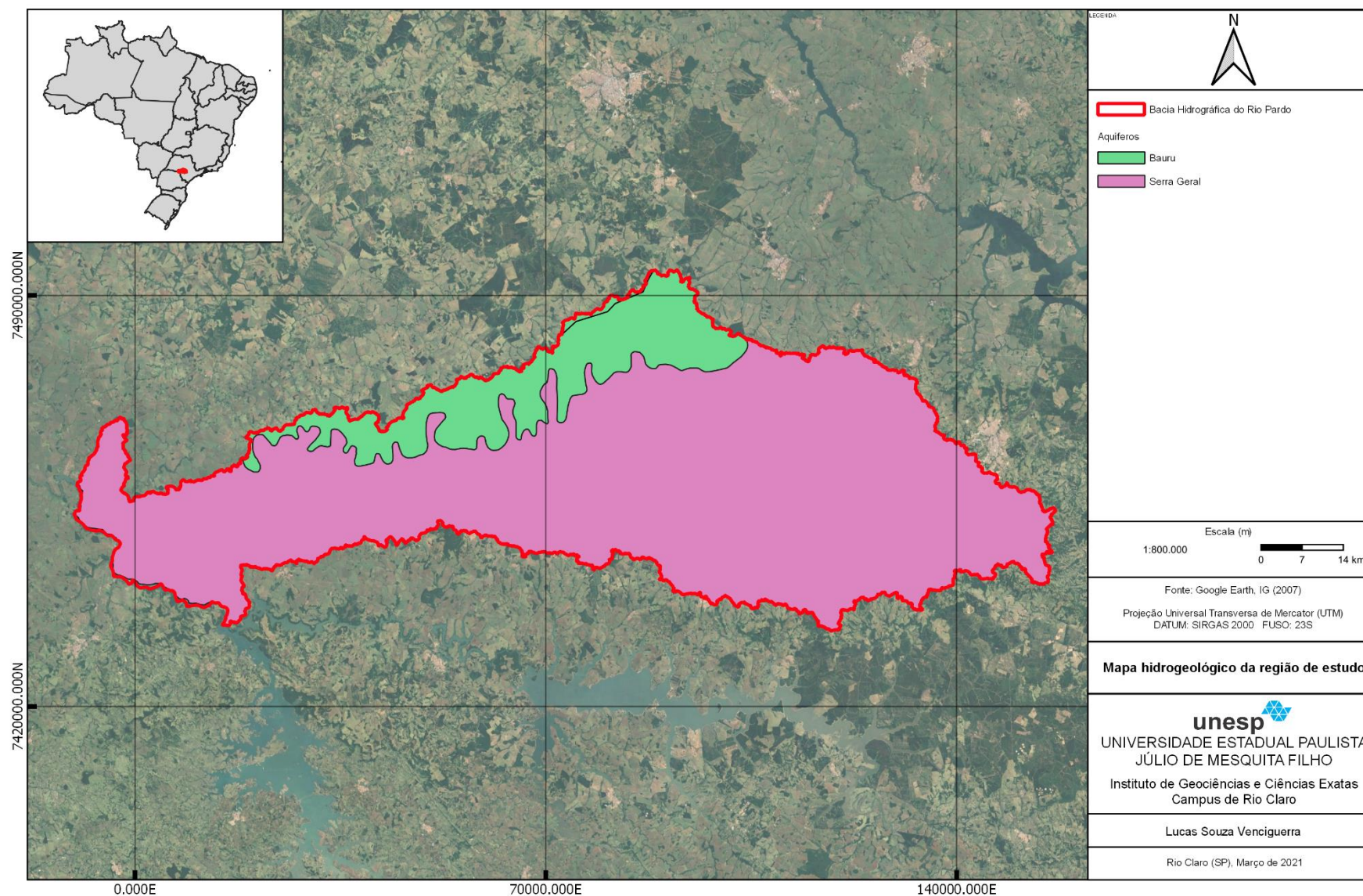
pálida. É válido ressaltar que este membro está relacionado a partes distais de leques aluviais, sob a forma de lençóis de areia, onde se desenvolveram calcretes freáticos e pedogenéticos em períodos de exposição (FERNANDES, 2004).

Além das formações supracitadas também ocorrem algumas manchas pouco expressivas de depósitos quaternários associados a aluviões dos rios da bacia hidrográfica estudada, os quais são definidos por depósitos marginais, fundos de canal de rios e suas respectivas planícies de inundação, podendo serem dominados por areia, cascalhos, silte, argila e, localmente turfa resultantes de processos erosivos, sucedidos por transporte e deposição de variadas área-fontes (PERROTTA *et al.*, 2005).

4.2 Hidrogeologia

As duas unidades geológicas que dominam a região de estudo formam também os dois principais aquíferos, o Serra Geral e o Bauru. O aquífero Bauru apenas no norte da área, com menor expressividade é caracterizado como contínuo, de extensão regional, podendo ser livre ou confinado e de transmissividade moderada a baixa, já o Serra Geral de modo antagônico é descontínuo, também de extensão regional, contudo com porosidade e permeabilidade associadas a fraturas, disjunções colunares e vesículas (CBH-MP, 2019). Na Figura 8 é possível visualizar o mapa com ambos os aquíferos.

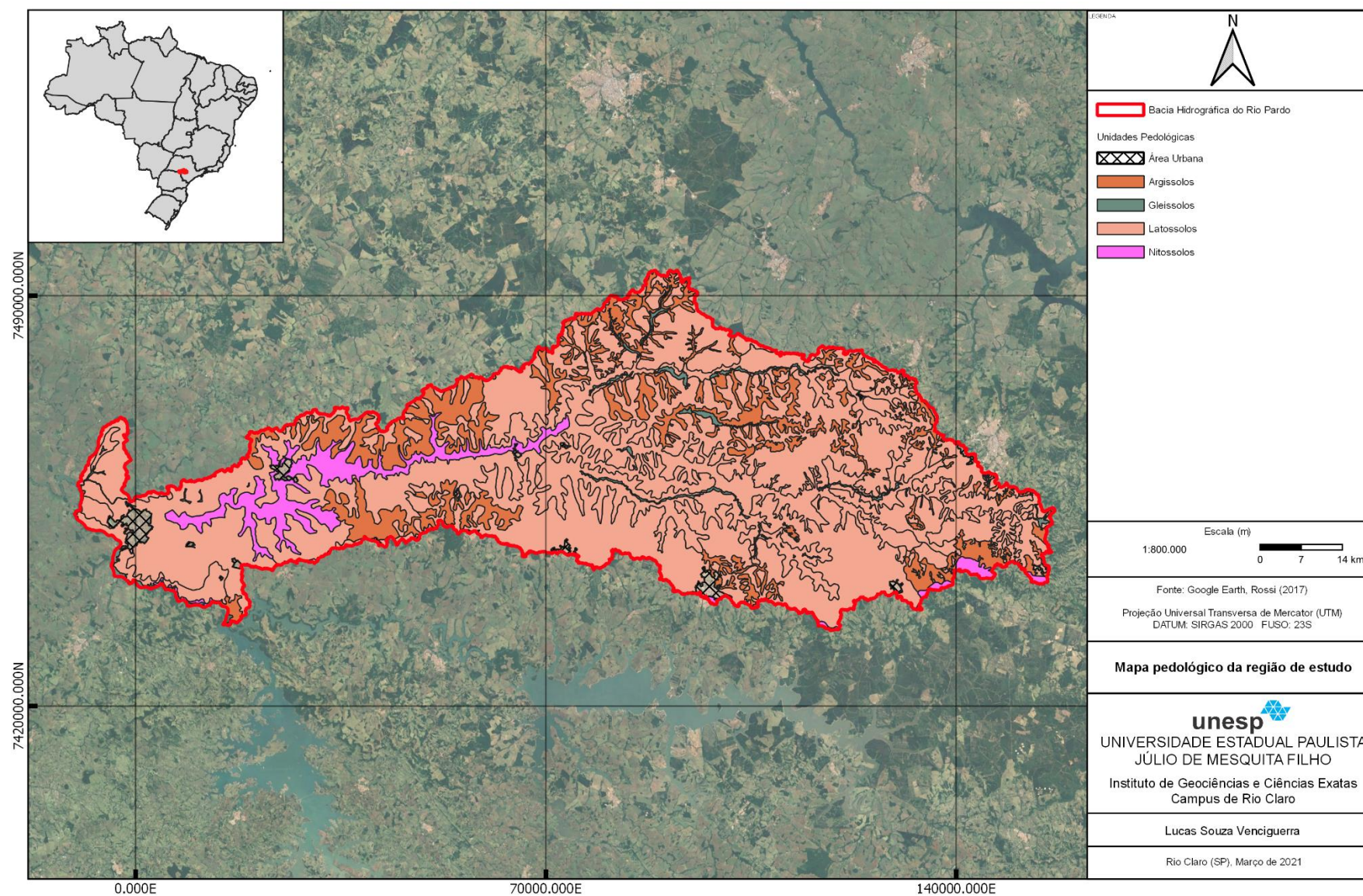
Figura 8: Mapa hidrogeológico da região de estudo.



4.3 Pedologia

Em relação aos solos da região de estudo são identificados 4 tipos principais os latossolos, argissolos, nitossolos e gleissolos, além de áreas urbanas, conforme pode ser visto na Figura 9. Os latossolos que dominam grande parte da área de estudo, são caracterizados como uma associação de latossolos vermelhos eutroféricos típicos a distrófico típico, com horizonte A moderado ou chernozêmico a álico ou não álico, de textura argilosa ou muito argilosa, muito profundos e associados a relevo suave ondulado. Os argissolos são caracterizados como uma associação de argissolo vermelho-amarelo eutrófico típico com horizonte A moderado somado a um argissolo vermelhos distrófico e eutrófico típico, ambos de textura arenosa e profundos, sob relevo suave ondulado a ondulado e são o segundo tipo de solo que mais ocorre na área de forma bem distribuída. Os nitossolos por sua vez são identificados como a associação de nitossolo vermelho típico a latossólico, eutroféricos com horizonte A moderado, de textura argilosa a muito argilosa, alocados sob relevo suave ondulado e se concentrando na porção leste central da área. Os gleissolos são definidos como gleissolos háplicos ou melânicos eutróficos ou distróficos, de textura argilosa, alocados sob relevo plano e se localizam sob os canais hidrográficos da área e, portanto, ocorrem de modo menos expressivo e em pequenos fragmentos (ROSSI, 2017).

Figura 9: Mapa pedológico da região de estudo.



4.4 Geomorfologia

A bacia hidrográfica do Rio Pardo está inserida geomorfologicamente na unidade definida como Planalto Ocidental Paulista, sob a unidade morfoestrutural da Bacia Sedimentar do Paraná, domínio que ocupa aproximadamente 50% da área total do estado. O Planalto Ocidental acomoda-se sobre as formações do Grupo Bauru, sendo arenitos em sua maioria, e nos vales formados onde correm os Rios Paranapanema e Pardo são encontradas rochas da Formação Serra Geral (CBH-MP, 1999; ROSS; MOROZ, 1997).

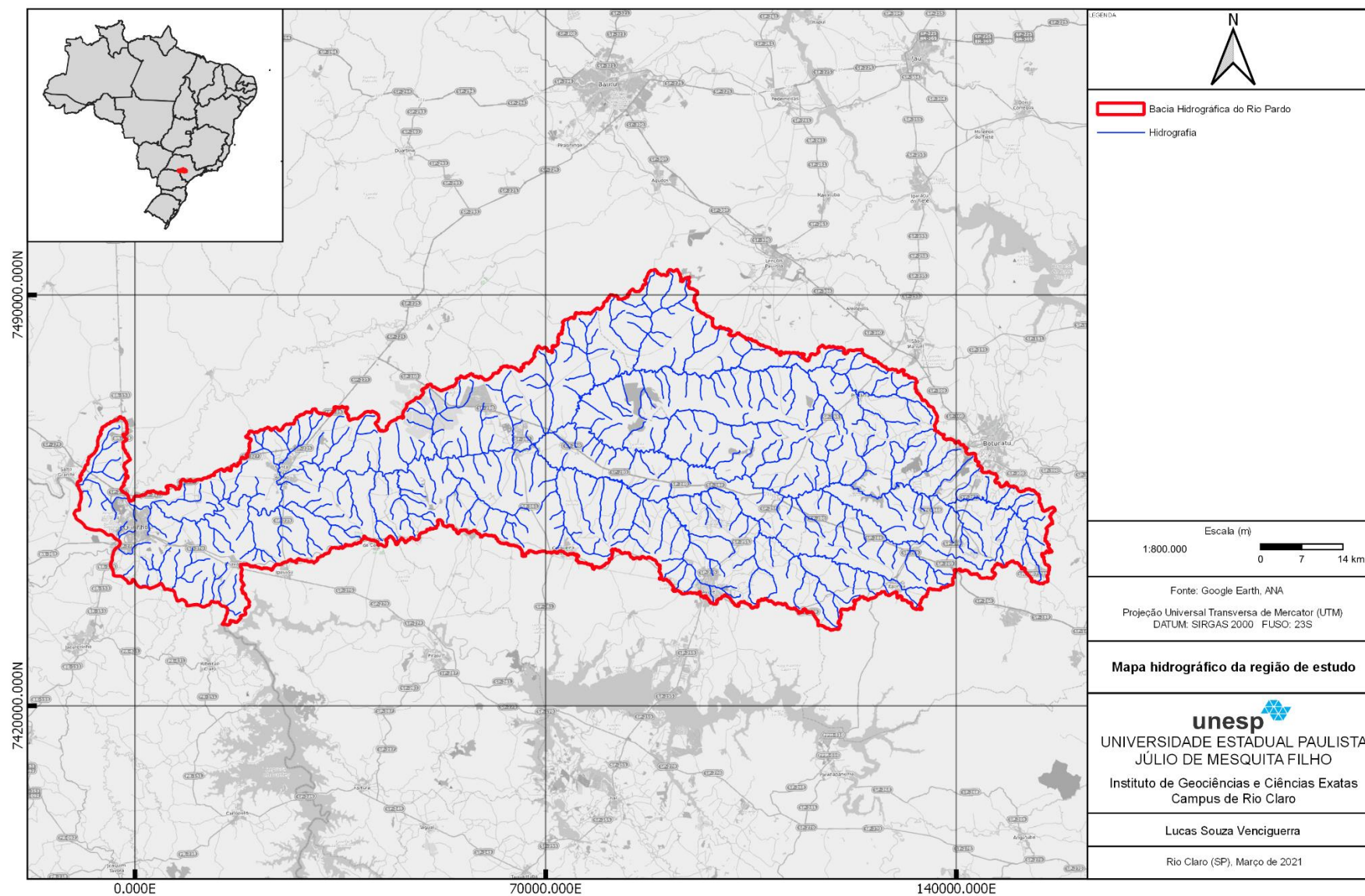
Em relação ao relevo, a área de estudo se caracteriza por *cuestas* basálticas na região das principais nascentes dos rios Pardo, Claro e Novo, nos municípios de Pardinho, Botucatu e Itatinga, respectivamente. As maiores altitudes, cerca de 1000 metros, estão localizadas nestas feições mencionadas anteriormente e findando em 387 metros na sua foz no município de Salto Grande (CBH-MP, 1999; CEDIAP-GEO, 2011). Além disso, outras feições que se somam às mencionadas são relevos levemente ondulados onde há uma preponderância de colinas amplas e baixas com topos aplainados (ROSS; MOROZ, 1997).

4.5 Hidrografia

O Rio Pardo tem suas principais nascentes na Serra do Limoeiro próximo ao domínio urbano do município de Pardinho, no estado de São Paulo e tem sua foz na cidade de Salto Grande também no mesmo estado, após percorrer cerca de 264 km, onde deságua no Rio Paranapanema, marcando a divisão dos estado do Paraná e São Paulo (CEDIAP-GEO, 2011).

A bacia do rio Pardo, uma bacia de 5ª ordem, é uma das subdivisões da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 17 (UGRHI 17), a qual é constituinte da Bacia do Médio Paranapanema, inserida na Lei nº 9.034/94 de 27 de dezembro de 1994, que dispõe sobre o Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (PERH). A hidrografia da bacia que pode ser visualizada na Figura 10 conta com cerca de 3.281 nascentes que originam 437 tributários de primeira a quarta ordem, uma densidade de drenagem que de forma geral é maior nas regiões de cabeceiras, quando próximo aos divisores d'água, resultando em média até alta em alguns casos (CBH-MP, 1999; CEDIAP-GEO, 2011; PIROLI, 2013).

Figura 10: Mapa hidrográfico da bacia do rio Pardo.



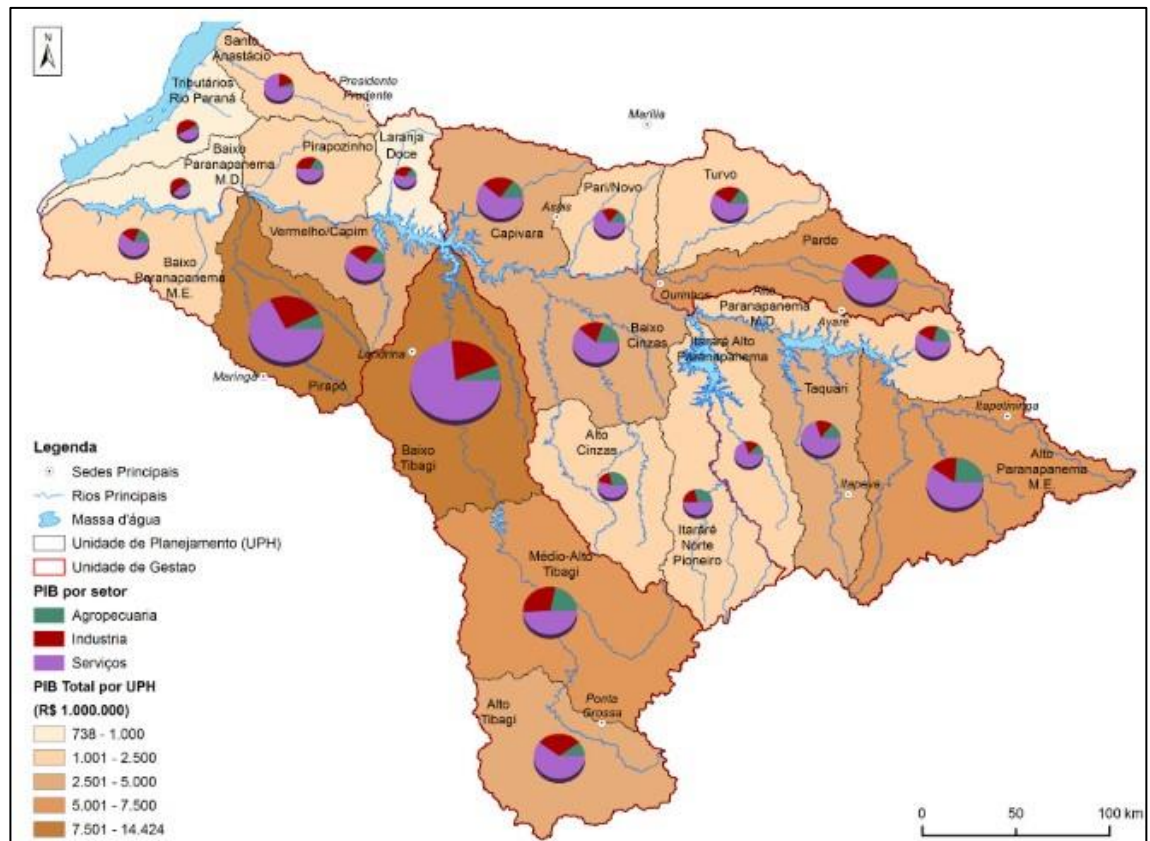
Em termos de uso da água segundo a Agência Nacional de Água e Saneamento Básico (ANA) (2020) a UGRH do Médio Paranapanema possui 127 fontes de captação superficial somando 57 milhões de m³/ano e 125 fontes subterrâneas que propiciam 15 milhões de m³/ano. Já em relação aos lançamentos de água constam 30 outorgas que resultam em 37 milhões de m³/ano com uma carga de DBO de 844 t/ano.

4.6 Dados socioeconômicos e uso do solo

A bacia hidrográfica do Rio Paranapanema, a qual a bacia em estudo pertence, abriga cerca de 5 milhões de habitantes distribuídos desigualmente entre suas unidades com uma densidade populacional de cerca de 50 habitantes por km². No que se refere ao perfil socioeconômico a bacia do rio Paranapanema possui uma economia diversa, com base agropecuária e industrial, com implicações em um setor de serviços bem desenvolvido. O Produto Interno Bruto (PIB) total da bacia é de cerca de R\$ 76 bilhões, onde 24% estão associados à indústria, 13% à agropecuária e 63% aos serviços o que evidencia uma baixa vulnerabilidade econômica (ANA, 2020; CBH-RP, 2016). Na Figura 11 é possível visualizar o mapa do PIB da bacia do rio Paranapanema com a divisão de cada Unidade de Planejamento Hídrico (UPH), onde verifica-se que na UPH da bacia do rio Pardo há o predomínio no PIB do setor de serviços, seguido pela indústria e por último o agropecuário.

É válido ressaltar que a UGRHI 17 Médio Paranapanema é classificada como uma área onde há o predomínio de atividades agropecuárias e tem seu Índice de Abrangência Espacial de Monitoramento de Água (IAEM) determinado como de boa sustentabilidade (CETESB, 2020).

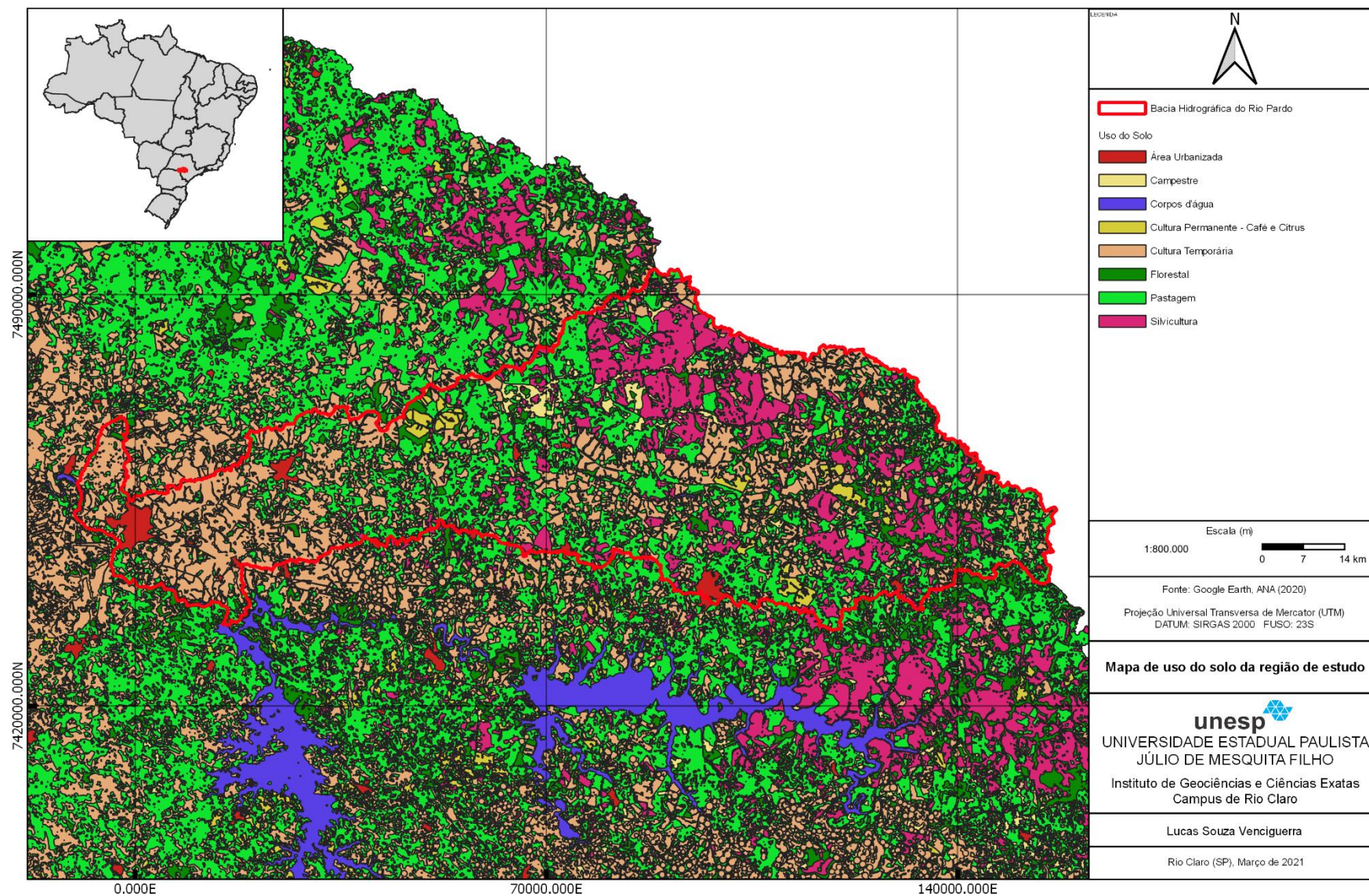
Figura 11: Mapa do PIB, por setor, total e por UPH na UGRH Paranapanema.



Fonte: Modificado de CBH-RP (2016).

Em relação ao uso do solo, mesmo sendo responsável pela menor parte do PIB o principal uso do solo da bacia é notadamente para fins agropecuários, como pode ser visto na Figura 12. As áreas de pastagens são as dominantes em toda a área da bacia, seguidas por áreas de cultura temporária de cana, soja, milho e pinus principalmente na porção oeste, e então pelas áreas de silvicultura, concentradas no leste da área de estudo. De modo menos expressivo são encontradas porções de cultivo permanente de café e laranja pontuais na região central e leste, manchas de florestas remanescentes esparsas e manchas urbanas associadas aos principais municípios da região (CBH-RP, 2016).

Figura 12: Mapa de uso do solo da região de estudo.



5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Etapa de Amostragem

Nessa etapa do trabalho foi realizada uma campanha de campo, nos dias 16 e 17 de novembro de 2017, onde a finalidade foi a obtenção de amostras de sedimentos de fundo para a posterior análise em laboratório. Coletou-se então, com o auxílio do amostrador (Figura 13), 6 perfis distintos dos quais foram retiradas duas secções de cada perfil. Para a obtenção das coordenadas de cada ponto foi utilizado um GPS Garmin E-Trex H no datum WGS 84.

Figura 13: Equipamento utilizado para amostragem.



Fonte: Forestry-suppliers.com (2020).

5.2 Etapa de Laboratório

5.2.1 Metodologia de extração do urânio

Como este trabalho se orientou na análise do desequilíbrio da razão isotópica de urânio, o método utilizado foi o descrito por Bonotto, (1994) (Figura 14), onde a concentração de urânio e a composição isotópica foi determinada por meio de técnica de diluição isotópica e pelo uso da espectrometria alfa.

Primeiramente, efetuou-se a britagem e moagem de cada amostra de sedimentos de fundo até 200 *mesh*, e foram pesadas cerca de 1 grama. Após atingir o tamanho desejado, as amostras foram dispostas em béqueres de teflon, tendo sido feita sua solubilização com HCl e HNO₃, na proporção 3:1, respectivamente (ambos

P.A.). Então as amostras foram levadas ao aquecimento em manta aquecedora a 90° C até quase total evaporação.

A partir do obtido, dissolveu-se o resíduo com HCl 8 M. Nas amostras que ainda apresentavam componentes sólidos, adicionou-se cerca de 10 gotas de HF e manteve-se elas em aquecimento em manta a 60° C durante duas horas. A fim de retirar as porções não dissolvidas foi realizada uma filtragem simples das amostras.

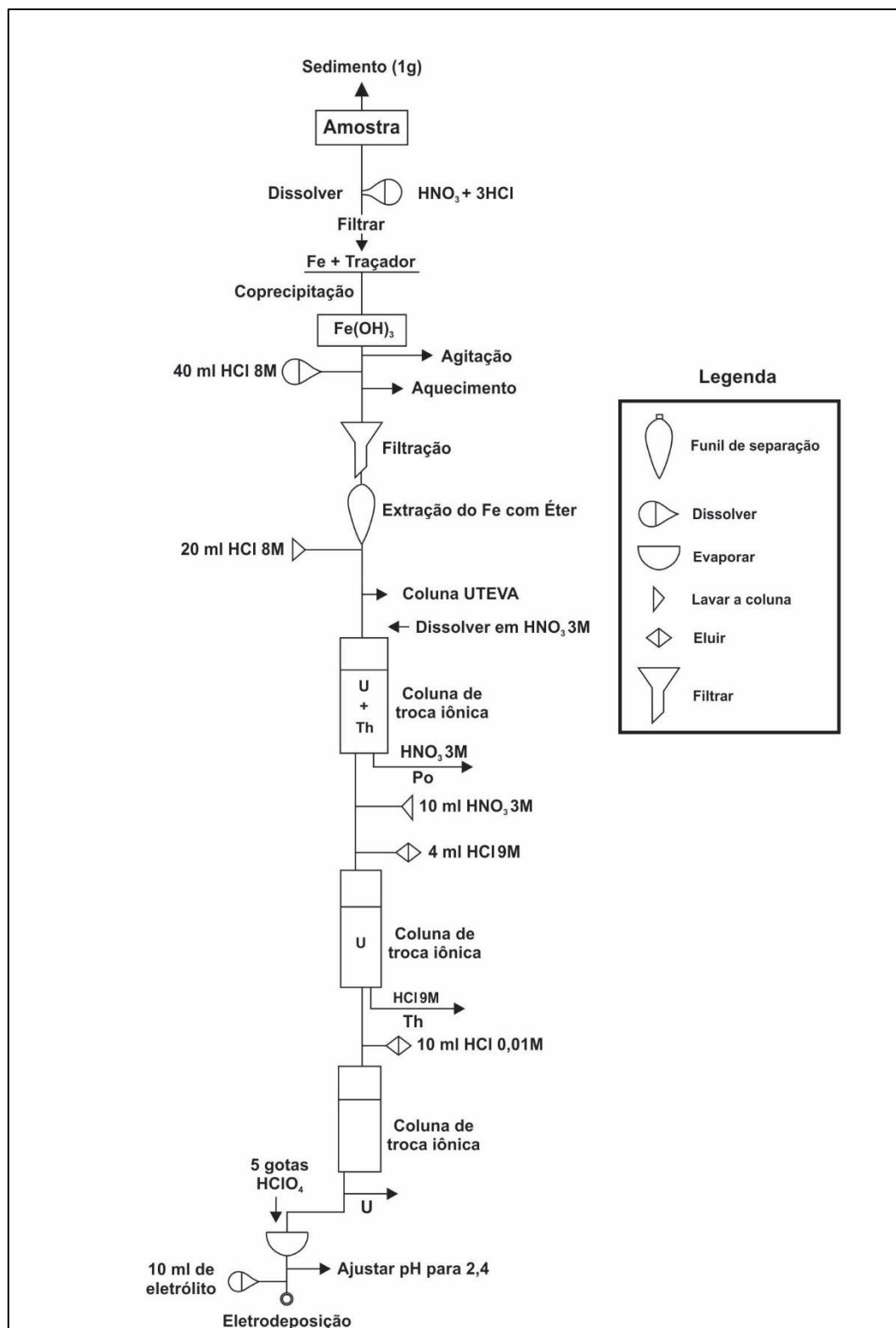
Após a filtragem, coprecipitou-se o urânio com $\text{Fe}(\text{OH})_3$, sendo o ferro extraído com uma alíquota de mesmo volume de solvente orgânico, no caso éter isopropílico, em um funil de separação. A extração do ferro de cada amostra se deu pela agitação do funil, onde ocorreu a formação de duas fases e aí então foi retirada a porção alaranjada do funil que detinha o elemento.

Neste momento, adicionou-se à cada amostra, uma alíquota de 200 µl do traçador radioativo “spike”, composto de ^{232}U na forma de solução, com o auxílio de micropipeta automática e ponteira.

Com a solução obtida deu-se prosseguimento com a sua total evaporação. Depois de seca, a amostra foi dissolvida em 20 ml de HCl 8M e seguiu para a coluna UTEVA de troca iônica. Inicialmente, fez-se a lavagem da coluna com 10 ml de HNO_3 3M retirando o Po, em seguida 4 ml de HCl 9M, retirando o Th, e ao final, 10 ml de HCl 0,01 M, obtendo o U. Acrescentou-se também cerca de 4 gotas de HClO_4 , a fim de eliminar quaisquer resíduos orgânicos que pudessem estar presentes.

A solução provinda da coluna de troca iônica foi submetida a secagem e evaporação. No resíduo adicionou-se cerca de 10 ml do eletrólito, composto de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 2M, e o pH foi ajustado para 2,4. Ao concluir a extração a amostra foi disposta em uma célula de eletrodeposição, durante 3 horas, o que permitiu a deposição do U em um disco de aço inoxidável, o qual em seguida foi levado para contagem no sistema espectrométrico alfa descrito a seguir.

Figura 14: Diagrama mostrando o procedimento geral de extração de isótopos de urânio e outros radionuclídeos usando resina UTEVA.



Fonte: Modificado de Bonotto *et al.* (2015)

5.2.2 Espectrometria Alfa

5.2.2.1 Sistema espectrométrico

A aplicação da técnica de espectrometria alfa foi utilizada para que se obtivesse a determinação da composição isotópica do urânio, com o intuito de determinar a condição de equilíbrio secular ou radioativo entre os nuclídeos da série. Para detectar a emissão de partículas alfa ejetadas pelos átomos de urânio, diferentes tipos de detectores podem ser utilizados, cuja seleção fica a critério da busca por resolução, eficiência, ruídos de fundo (*background*), bem como outros parâmetros. Para tanto, neste trabalho utilizou-se um detector semicondutor de barreira de superfície de Si(Au).

Na metodologia utilizada, descrita por Bonotto (1996) o urânio eletrodepositado em um disco de aço inoxidável após o processo extrativo, é inserido em uma câmara de vácuo. O sistema utilizado está ilustrado na Figura 15 e é composto por quatro conjuntos de medição de partículas alfa, que são formados por quatro detectores de barreira de superfície que atuam dentro de câmaras a vácuo. Eletronicamente, as emissões alfas são detectadas por pré-amplificadores, conectados a fontes de polarização que conduzem na forma de sinal de energia, via cabo, aos amplificadores.

O sinal já amplificado é enviado a um analisador multicanal que o decodifica e possibilita sua leitura através do software Maestro II da EG&G ORTEC. Os parâmetros obtidos num espectro alfa são os chamados *live time* (tempo de contagem), *gross area* (área do pico) e *background* (ruído de fundo), sendo o último dos três medido sem amostra alguma no aparelho. Deste modo a taxa de contagem (*count rate*) é obtida segundo a equação (2):

$$\text{Count rate (CR)} = (\text{Gross area})/(\text{Live time}) \quad (2)$$

O valor real é obtido ao subtrair o valor obtido nas amostras da taxa de contagem de *background*. O rendimento total (*total yield*) é encontrado segundo a equação (3) onde a AU^{232} é a atividade do ^{232}U (*spike*) que corresponde a 4,4 dpm (desintegrações por minuto).

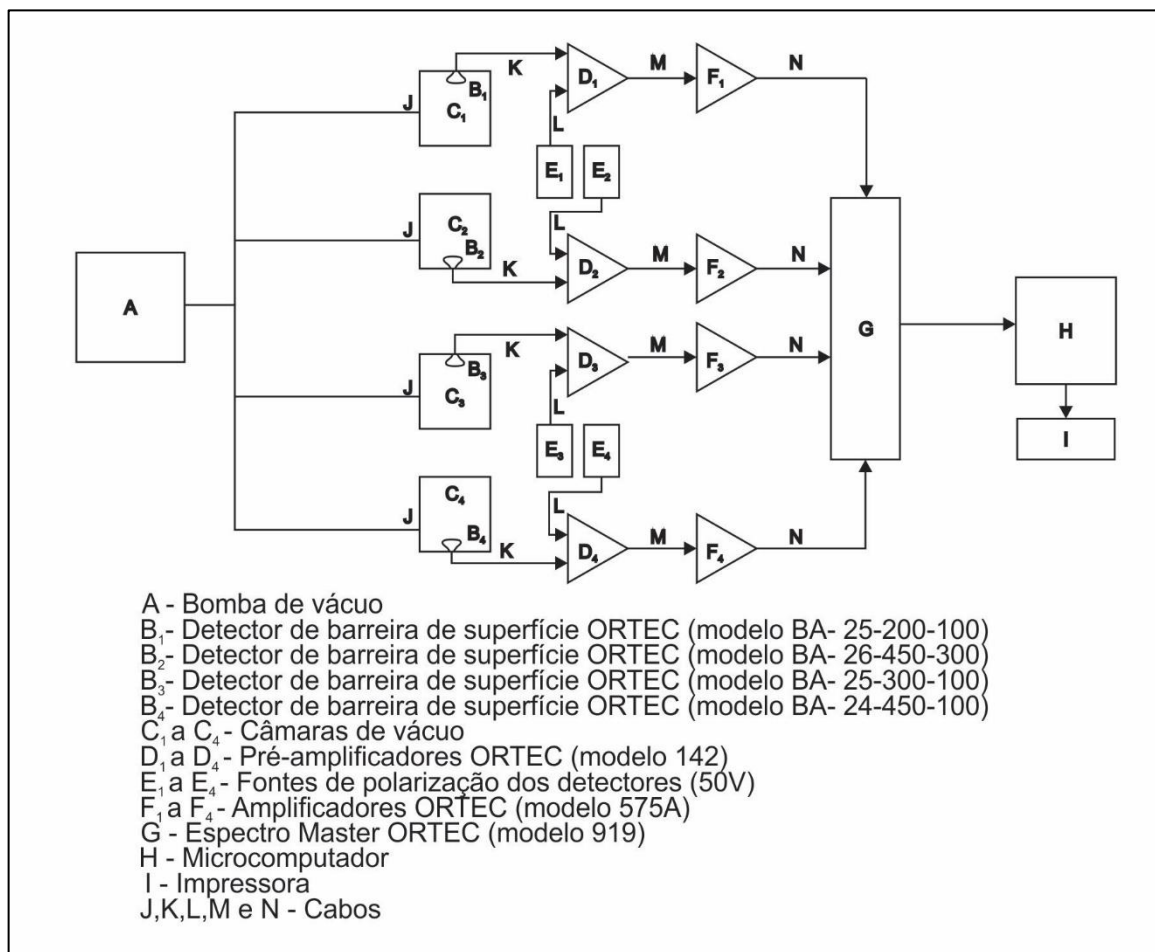
$$\text{Total yield} = (\text{CR } U^{232})/(AU^{232}/60) \quad (3)$$

Ao final a concentração de U é determinada pela equação (4) onde m é a massa inicial da amostra.

$$U = \left(\frac{AU^{232}}{0,746 \cdot m} \right) * \frac{CR U^{238}}{CR U^{232}} \quad (4)$$

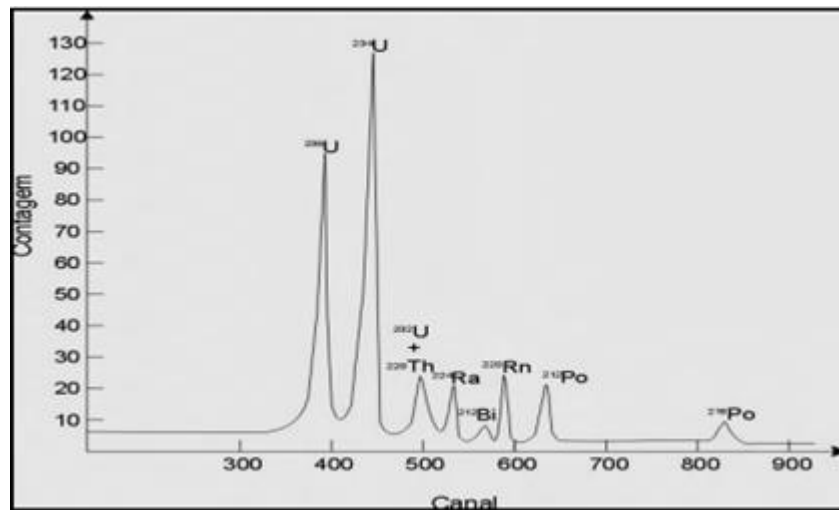
Na Figura 16 é possível visualizar, a partir de um espectro alfa, a distinção dos isótopos de urânio nos diferentes canais do analisador multicanal.

Figura 15: Diagrama do sistema espectrométrico alfa utilizado no LABIDRO.



Fonte: Modificado de Duarte (2002).

Figura 16: Espectro alfa típico contendo isótopos de urânio e descendentes do ^{232}U



Fonte: Sabaris (2010).

5.3 Etapa de Escritório

Na terceira etapa de trabalho, foram realizados trabalhos de escritório para a interpretação dos dados obtidos. Essa etapa consistiu na procura de materiais de apoio acerca do tema proposto para melhor compreender os resultados encontrados e ter uma fonte para comparação. Os materiais de apoio são compostos por artigos disponibilizados pelo professor orientador e do catálogo ATHENAS da Unesp, bem como trabalhos de conclusão de curso e teses disponíveis no acervo físico da Biblioteca do *campus* da Unesp de Rio Claro além de artigos retirados do acervo do Google Acadêmico e do *Research Gate*.

Foram elaborados mapas temáticos da área estudada com informações da geologia, hidrogeologia, pedologia, geomorfologia, hidrografia e uso e ocupação do solo a fim de sintetizar um melhor entendimento sobre a área de estudo. Para a extração das bases temáticas dos mapas foram utilizados os bancos de dados da Agência Nacional de Águas (ANA) e do DataGEO (Disponível em: <<http://datageo.ambiente.sp.gov.br/>>), que se trata de um grande catálogo de informações do meio natural em atualização e crescimento constante, reunindo imagens aéreas, cartas topográficas de diversas bases, como IGC, EMPLASA, IBGE, bem como inúmeras bases de mapas temáticos como geologia, uso do solo, hidrografia etc.

Para a manipulação e confecção dos mapas foi utilizado o *software* QGIS 3.14, e para elaboração de figuras e esquemas foram utilizados os *softwares* de design gráfico CorelDRAW 2018 e o Inkscape 1.0. Além disso, foi utilizado o Excel 2020 para efetuar os cálculos necessários e realizar a tabulação dos dados obtidos.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A etapa de levantamento bibliográfico foi de suma importância para compreender todos os conceitos envolvidos na metodologia do trabalho, pois, a partir dela foi possível obter um melhor entendimento dos dados a serem obtidos. Além disso a etapa de caracterização do meio físico permitiu extrair uma grande fonte de informações como as litologias, tipos de relevo e de solo, os principais corpos hídricos entre outros dados que influenciam na geoquímica da área de estudo e , portanto, são fundamentais para o trabalho.

Na Figura 17 é ilustrado um mapa que contém todos os pontos onde foram realizadas as amostragens juntamente com fotografias de cada um deles. Cada ponto foi nomeado com as letras RP seguida de um número correspondente à ordem de amostragem e, então, separado por um hífen, foi adicionado um número que corresponde à profundidade do perfil amostrado sendo os números 4 e 5 para as mais basais e 6,7,8 e 9 para as mais próximas ao topo. Cada perfil de amostragem foi seccionado de 4 em 4 cm, tendo o ponto mais profundo 36 cm (RP1) e o mais raso 24 cm (RP4). Para a realização das análises químicas foram tomadas amostras intermediárias e do topo de cada ponto de coleta totalizando 12 amostras distintas.

Na Figura 18 são apresentadas as fotografias do procedimento adotado em laboratório para as 12 amostras supracitadas.

Figura 17: Mapa com a localização e fotos dos perfis amostrados.

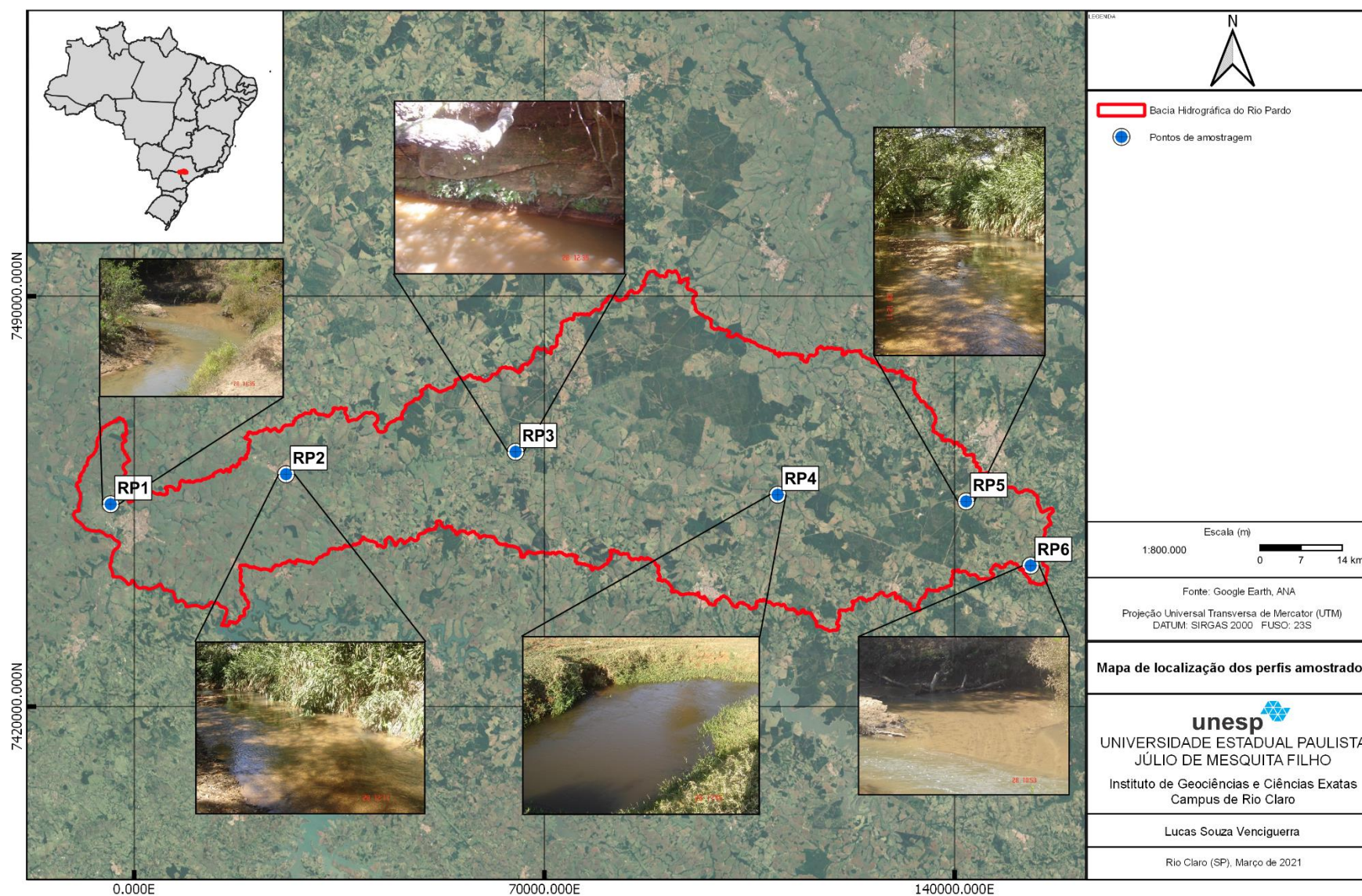
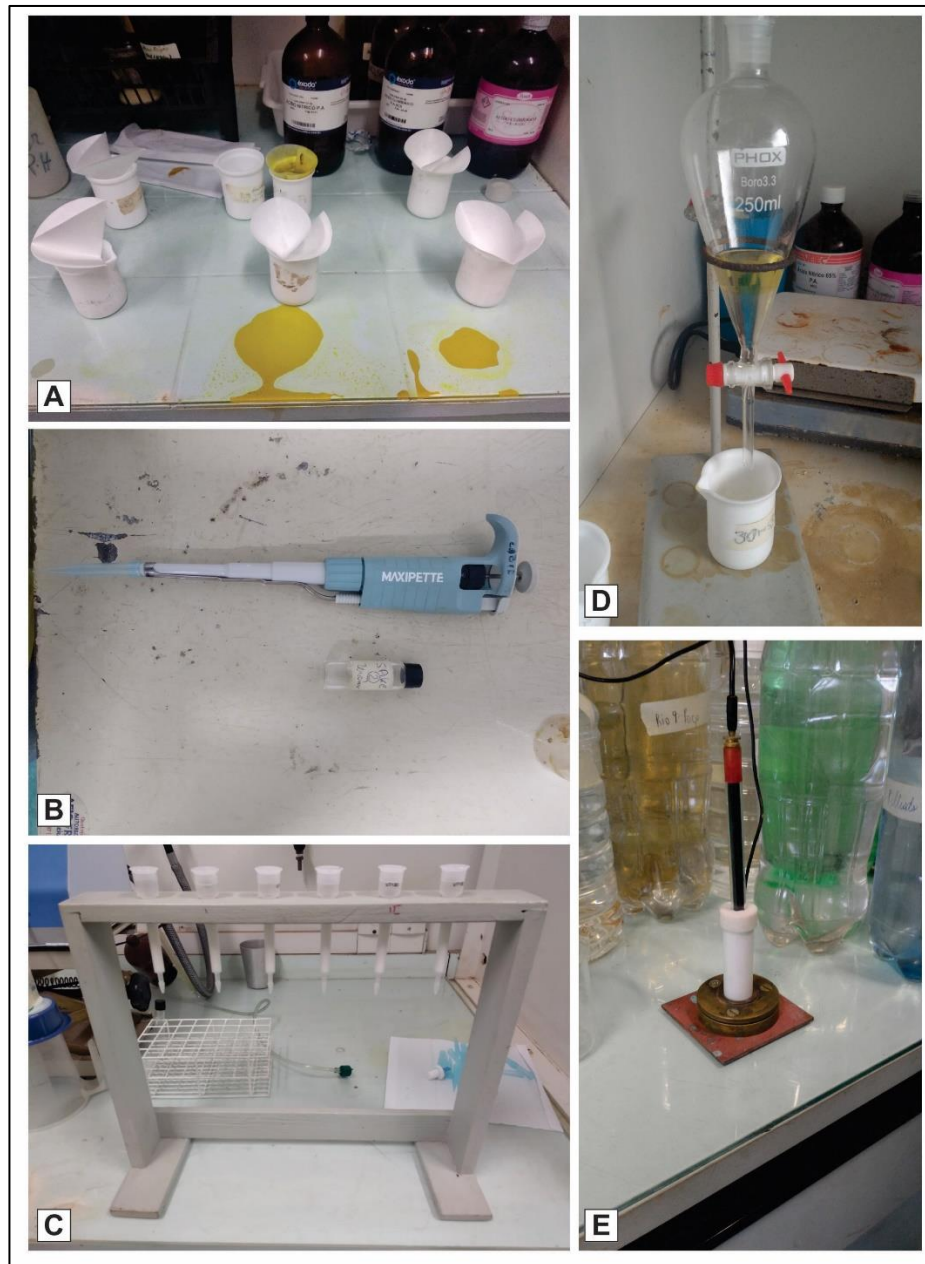


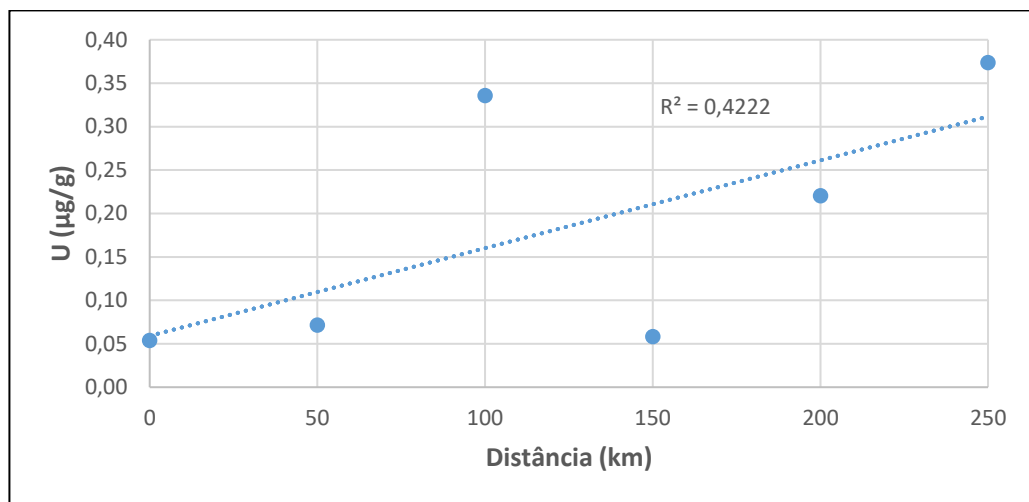
Figura 18: Fotografias do procedimento laboratorial. A: etapa de filtração do resíduo não dissolvido; B: traçador ^{232}U ; C: colunas de troca aniônica; D: etapa de extração do ferro com funil de separação; E: eletrodeposição.



A partir das análises elaborou-se a Tabela 1 que reúne os dados encontrados. Quanto à concentração de urânio nas amostras foi possível verificar que ela variou de 0,038 $\mu\text{g/g}$ no ponto RP3 a 0,738 $\mu\text{g/g}$ no ponto RP2. Foi averiguado se há um possível acréscimo ou decréscimo na concentração de U desde a nascente do rio (RP6) até a sua foz (RP1), empregando-se as amostras de topo nos perfis. Para isto, assumiu-se como distância zero aquela correspondente à nascente do rio (RP6). A Figura 19 ilustra a concentração de urânio em função da distância a partir deste ponto, a qual

sugere que há uma correlação significativa entre estes parâmetros, isto é, coeficiente de correlação de Pearson $r = 0,65$. Possivelmente essa correlação significativa está relacionada com o fato de que o íon uranila (UO_2^{2+}) exibe mobilidade acentuada no ambiente supérgeno, sendo continuamente transportado pelos sedimentos durante os processos intempéricos ocorrendo ao longo do curso do rio até atingir a sua desembocadura.

Figura 19: Relação entre a concentração de urânio nos sedimentos e a distância entre a nascente e foz do Rio Pardo (SP).



Quanto à razão de atividade entre os isótopos de urânio ^{238}U e ^{234}U , verificou-se que houve uma acumulação ou perda de U^{234} o que gerou as razões de atividade maiores ou menores que a unidade (Tabela 1), considerando os erros experimentais, resultados relacionados corriqueiramente aos efeitos de interação água/rocha-solo (OLLEY; MURRAY; ROBERTS, 1996). Isto pode ter favorecido o aumento das razões de atividade na fase líquida e consequentemente sua diminuição na fase sólida, provocando assinaturas típicas nas razões de atividade dos sedimentos de fundo (ROSOLEN; BUENO; BONOTTO, 2018).

Este desequilíbrio permite estimar um “tempo aparente” representando o estado de desequilíbrio associado ao decaimento do ^{234}U (de meia-vida mais curta que o ^{238}U). Ele corresponde ao tempo para o ^{234}U se desintegrar até retornar ao equilíbrio radioativo ou próximo a ele. Além disso este tempo pode representar o período necessário para o desenvolvimento de diferentes horizontes de deposição ou acumulação de solos ao longo de perfis formados durante o intemperismo das rochas fontes (BONOTTO *et al.*, 2017; IVANOVICH; HARMON, 1992; LATHAM;

SCHWARCZ, 1987b). Nos horizontes de solo, “idades aparentes” podem ser calculadas pela equação (5) a qual, conforme descrito por Bonotto *et al.* (2017), somente é aplicável quando são verificadas razões de atividade das amostras mais de base (valores maiores) que as das amostras imediatas mais de topo do mesmo perfil (valores menores).

$$t = -\frac{1}{\lambda} \ln \left(\frac{RA_f}{RA_i} \right) \dots (5)$$

Onde: λ corresponde à constante de decaimento do ^{234}U , e RA_f e RA_i , correspondem às razões de atividade final e inicial, respectivamente.

Como as assinaturas geoquímicas dos perfis de sedimentos podem estar associadas às dos diferentes horizontes de solo lixiviados diferencialmente pelas águas meteóricas, então, a equação (5) poderia ser usada para estimar “idades aparentes” representativas da duração dos processos intempéricos. Assim, na última coluna da Tabela 1 constam as possíveis idades aparentes obtidas a partir da aplicação da equação (5) aos resultados encontrados.

Tabela 1: Concentração de urânio e razão de atividade $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ nos sedimentos analisados e estimativa das idades aparentes .

Amostra	Data	Razão de atividade	Concentração U ($\mu\text{g/g}$)	Idade aparente (ka)
RP1-9	17/09/2020	1,19	0,373	-
RP1-5	07/05/2019	1,15	0,285	-
RP1	-	1,17	0,329	-
RP2-7	17/09/2020	0,97	0,220	74,0
RP2-4	16/05/2019	1,19	0,738	-
RP2	-	1,08	0,479	-
RP3-8	17/09/2020	0,75	0,058	28,7
RP3-5	10/07/2019	0,82	0,038	-
RP3	-	0,79	0,048	-
RP4-6	17/09/2020	0,87	0,336	-
RP4-5	16/05/2019	0,70	0,241	-
RP4	-	0,78	0,288	-
RP5-8	17/09/2020	1,00	0,071	136,1
RP5-5	16/05/2019	1,47	0,156	-
RP5	-	1,23	0,113	-
RP6-8	17/09/2020	1,88	0,054	-
RP6-4	10/07/2019	1,22	0,231	-
RP6	-	1,55	0,142	-

Legenda: [XX] = valor médio; [-]: Dado não obtido.

Szalay (1964) mostrou que o teor de matéria orgânica nas amostras de solos influencia diretamente na concentração de urânio face à presença de ácidos húmicos e reações de trocas catiônicas. De fato, o teor de matéria orgânica ou apenas a matéria orgânica de forma geral é quase sempre encontrada em maior proporção nas partes mais rasas ou superficiais tanto de solos como fundos de rios ((BONOTTO *et al.*, 2017; BONOTTO; JIMÉNEZ-RUEDA, 2007; ROSOLEN; BUENO; BONOTTO, 2018; SABARIS, 2010). Contudo, ao se analisar os teores de urânio encontrados em cada amostra verifica-se que apenas 50% delas apresentaram um valor maior de urânio nas amostras mais de topo comparando-se com as mais basais do mesmo perfil amostrado, o que a princípio demonstra uma não correlação entre o urânio e a matéria orgânica. Análises futuras podem comprovar isto ou, então, se o urânio está associado aos resistatos.

Com base nas premissas apresentadas, os resultados obtidos podem indicar a ocorrência de alguns ciclos intempéricos mais acentuados na bacia estudada, possivelmente relacionados com mudanças climáticas. De acordo com as idades aparentes calculadas estes ciclos de intemperismo vão de 136,1 a 28,7 ka, que se inserem no período Pleistocênico Médio a Superior (781 – 11,7 ka) (COHEN *et al.*, 2018).

7 CONCLUSÃO

Na porção Sul-americana da Bacia do Paraná os recursos como solo e água são extremamente utilizados e são de suma importância seja para consumo ou finalidades agrícolas. Este estudo se realizou ao sul do estado de São Paulo próximo à divisa com o estado do Paraná, onde percorre o Rio Pardo. Através da técnica do desequilíbrio radioativo dos isótopos ^{238}U e ^{234}U objetivou-se avaliar os processos de intemperismo e estimar “idades aparentes” de sua ocorrência. Estas idades foram calculadas a partir de uma amostra com valor maior relativamente a outra do mesmo perfil amostrado. Os valores obtidos são próximos àqueles encontrados em estudos similares como o de Bonotto *et al.* (2017), contudo, sendo um pouco mais jovens, pois, se inserem no intervalo do Pleistoceno Médio ao Superior.

Ao se analisar todos os dados disponíveis como geologia, hidrografia, pedologia e uso do solo conclui-se que os dados encontrados refletem em sua maioria as condições naturais da região abrangida pela Bacia Hidrográfica do Rio Pardo. Neste estudo foi verificado uma tendência de a concentração de urânio aumentar ao longo do percurso desde a região de nascente do Rio Pardo na região de Pardinho até a sua foz na cidade de Salto Grande ambas no estado de São Paulo, o que se deve à extrema mobilidade do íon uranila no ambiente supérgeo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBARELI, D. S. N. A. **Ambientes deposicionais e caracterização cerâmica da Formação Araçatuba (Bacia Bauru) no Vale do Rio Santo Anastácio, Estado de São Paulo.** 2013. [s. l.], 2013.

ANA (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO). **A indústria na bacia do rio Paranapanema : uso da água e boas práticas.** Brasília - DF. 2020.

ÁVILA, R. Bacia do Paraná: Sumário Geológico e Setores em Oferta. **13ª Rodada: Licitações de Petróleo e Gás**, [s. l.], p. 18, 2017.

BONOTTO, D. M. Utilização De Modelo Isotópico De Urânio No Estudo De Aquíferos Do Morro Do Ferro, Poços De Caldas (Mg). **Revista Brasileira de Geociências**, [s. l.], v. 24, n. 1, p. 52–59, 1994.

BONOTTO, D. M.; JIMÉNEZ-RUEDA, J. R. U-ages in soils and groundwater evidencing wet periods 400-600 kyr ago in southeast Brazil. **Applied Radiation and Isotopes**, [s. l.], v. 65, n. 7, p. 776–783, 2007.

BONOTTO, D. M.; JIMÉNEZ-RUEDA, J. R.; FAGUNDES, I. C.; FILHO, C. R. A. F. Weathering processes and dating of soil profiles from São Paulo State, Brazil, by U-isotopes disequilibria. **Applied Radiation and Isotopes**, [s. l.], v. 119, n. May 2016, p. 6–15, 2017.

BOURDON, B.; HENDERSON, G.; LUNDSTROM, C.; TURNER, S. **Reviews in Minerology & Geochemistry Uranium-Series Geochemistry.** [s.l.] : Geochemical Society, 2003. v. 52

CBH-MP (COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO MÉDIO PARANAPANEMA). **Plano de Bacia da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Médio Paranapanema.** Marília.

CBH-MP (COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO MÉDIO PARANAPANEMA). **Relatório de situação dos recursos hídricos.** Marília.

CBH-RP (COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARANAPANEMA). **Relatório Executivo do Plano Integrado de Recurso Hídricos da Unidade de Gestão de Recursos Hídricos Paranapanema.** Marília.

CEDIAP-GEO (CENTRO DE ESTUDO E DIVULGAÇÃO DE INFORMAÇÕES

SOBRE ÁREAS PROTEGIDAS; BACIAS HIDROGRÁFICAS E GEOPROCESSAMENTO). Projeto APPs: Conhecendo e cuidando da bacia hidrográfica do Rio Pardo. [s. l.], 2011.

CETESB (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO). **Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo**. São Paulo.

COHEN, K. M.; FINNEY, S. C.; GIBBARD, P. L.; FAN, J.-X. The ICS International Chronostratigraphic Chart. **Episodes**, [s. l.], v. 36, n. 1, p. 199–204, 2018.

CONCEIÇÃO, F. T.; BONOTTO, D. M. Transferência de metais pesados, flúor e radionuclídeos para solos agrícolas na bacia do rio Corumbataí (SP). **Geociências**, [s. l.], v. 24, n. 1, p. 67–76, 2005.

DEPAOLO, D. J.; MAHER, K.; CHRISTENSEN, J. N.; MCMANUS, J. Sediment transport time measured with U-series isotopes: Results from ODP North Atlantic drift site 984. **Earth and Planetary Science Letters**, [s. l.], v. 248, n. 1–2, p. 394–410, 2006.

DUARTE, C. R. **Radioelementos naturais na Área do Projeto Rio Preto (GO)**. 2002. UNESP (Universidade Estadual Paulista), [s. l.], 2002.

FERNANDES, L. A. Mapa litoestratigráfico da parte oriental da Bacia Bauru (PR, SP, MG), escala 1:1.000.000. **Boletim Paranaense de Geociências**, [s. l.], n. 55, p. 53–66, 2004.

FERNANDES, L. A.; COIMBRA, A. M. Revisão estratigráfica da parte oriental da Bacia Bauru (Neocretáceo). **Revista Brasileira de Geociências**, [s. l.], v. 30, n. 4, p. 717–728, 2000.

FORESTRY-SUPPLIERS. **Wildco® Hand Core Sediment Sampler**, 2021. Disponível em: https://www.forestry-suppliers.com/product_pages/products.php?mi=50041&itemnum=77258. Acesso em: 20 Dez 2020.

IVANOVICH, M.; HARMON, R. S. Uranium-Series Disequilibrium : Earth , Marine and Environmental. In: [s.l: s.n.]. p. 1–40.

LATHAM, A. G.; SCHWARCZ, H. P. On the possibility of determining rates of removal of uranium from crystalline igneous rocks using U-series disequilibria-1: a U-leach model, and its applicability to whole-rock data. **Applied Geochemistry**, [s. l.], v. 2, n. 1, p. 55–65, 1987. a.

LATHAM, A. G.; SCHWARCZ, H. P. On the possibility of determining rates of removal of uranium from crystalline igneous rocks using U-series disequilibria-2: applicability of a U-leach model to mineral separates. **Applied Geochemistry**, [s. l.], v. 2, n. 1, p. 67–71, 1987. b.

MILANI, E. J.; MELO, J. H. G. De; SOUZA, P. A. De; FERNANDES, L. A.; FRANÇA, A. B. Bacia do Paraná. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, [s. l.], v. 15, n. 2, p. 265–287, 2007.

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**, [s. l.], v. 28, n. 4, p. 473–484, 1998.

OLLEY, J. M.; MURRAY, A.; ROBERTS, R. G. The effects of disequilibria in the uranium and thorium decay chains on burial dose rates in fluvial sediments. **Quaternary Science Reviews**, [s. l.], v. 15, n. 7, p. 751–760, 1996.

PERROTTA, M. M.; MARCONATO, A.; TURRA, B. B.; SALVADOR, E.; CHIEREGATI, L. A.; D'AGOSTINO, L. Z.; PERROTTA, M. M. **Programa Geologia Do Brasil: Mapa Geológico do Estado de São Paulo. Escala 1:750.000**. [s.l: s.n.]. 2005.

PIROLI, E. L. Geoprocessamento Aplicado ao Estudo do Uso da Terra das Áreas de Preservação Permanente dos Corpos d'água da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo. **Tese (Doutorado)**, [s. l.], p. 150, 2013.

ROSOLEN, V.; BUENO, G. T.; BONOTTO, D. M. The application of U-isotopes to assess weathering in contrasted soil-water regime in Brazil. **Applied Radiation and Isotopes**, [s. l.], v. 132, n. January 2017, p. 157–163, 2018.

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. Mapa geomorfológico do estado de São Paulo, escala 1:500.000. **Revista do departamento de Geografia**, [s. l.], v. v.I e II, n. Abril, p. 41–58, 1997.

ROSSI, M. **Mapa Pedológico de São Paulo: Revisado e Ampliado**. In: [s.l: s.n.]. p. 1. 2017

SABARIS, T. de P. P. **O Método geocronológico do Pb-210 aplicado no estudo da taxa de sedimentação em uma porção da Bacia do Rio Atibaia (SP)**. 2010. UNESP (Universidade Estadual Paulista), [s. l.], 2010.

SCHNEIDER, R. L.; MÜHLMANN, H.; TOMAMASI, E.; MEDEIROS, R. A.;

DAEMON, R. F.; NOGUEIRA, A. A. Revisao estratigrafica da Bacia do Paraná.pdf. **Anais do XXVIII Congresso Brasileiro de Geologia**, [s. l.], p. 41–65, 1974.

SILVA, A. J. P. Da; LOPES, R. da C.; VASCONCELOS, A. M.; BAHIA, R. B. C. Bacias Sedimentares Paleozóicas e Meso-Cenozóicas Interiores. In: BIZZI, L. A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R. M.; GONÇALVES, J. H. (Eds.). **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil**. Brasília - DF: CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais), 2003. v. 581p. 55–85.

SILVA, H. S. B. Da. **Estudo em laboratório da dinâmica dos isótopos de urânio no processo de interação rocha-água em granitóides do Complexo Itu (SP)**. 2011. USP (Universidade de São Paulo), [s. l.], 2011.

SZALAY, A. Cation exchange properties of humic acids and their importance in the geochemical enrichment of UO_2^{++} and other cations. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, [s. l.], v. 28, n. 10–11, p. 1605–1614, 1964.