

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, LETRAS E ARTES
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

BRONISLAU MAX MIGUEL PRESTES

**PARÂMETROS GEOMORFOLÓGICOS PARA A ANÁLISE E O MAPEAMENTO
DE UNIDADES GEOLÓGICAS DA PARTE MERIDIONAL DA BACIA BAURU, NO
ESTADO DO PARANÁ**

Maringá

2021

BRONISLAU MAX MIGUEL PRESTES

**PARÂMETROS GEOMORFOLÓGICOS PARA A ANÁLISE E O MAPEAMENTO
DE UNIDADES GEOLÓGICAS DA PARTE MERIDIONAL DA BACIA BAURU, NO
ESTADO DO PARANÁ**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes da Universidade Estadual de Maringá, como requisito à obtenção do título de mestre em Geografia. Área de concentração: Análise Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Edison Fortes

Maringá

2021

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá - PR, Brasil)

P936p

Prestes, Bronislau Max Miguel

Parâmetros geomorfológicos para a análise e o mapeamento de unidades geológicas da parte meridional da Bacia Bauru, no estado do Paraná / Bronislau Max Miguel Prestes. - Maringá, PR, 2021.

91 f.: il. color., figs., tabs., maps.

Orientador: Prof. Dr. Edison Fortes.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Departamento de Geografia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2021.

1. Bacia hidrográfica do rio Bauru - Parte meridional (PR) - Litoestratigrafia. 2. Bacia hidrográfica do rio Bauru - Parte meridional (PR) - Geomorfologia. I. Fortes, Edison, orient. II. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes. Departamento de Geografia. Programa de Pós-Graduação em Geografia. III. Título.

CDD 23.ed. 918.162

Elaine Cristina Soares Lira - CRB-9/1202

PARÂMETROS GEOMORFOLÓGICOS PARA A ANÁLISE E O MAPEAMENTO DE
UNIDADES GEOLÓGICAS DA PARTE MERIDIONAL DA BACIA BAURU, NO
ESTADO DO PARANÁ

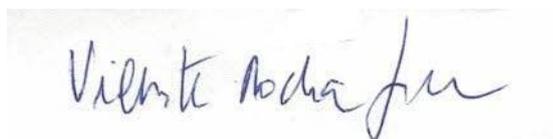
Dissertação de Mestrado apresentada a Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Geografia, área de concentração: Análise Regional e Ambiental, linha de pesquisa Análise Ambiental.

Aprovada em **30 de junho de 2021**.

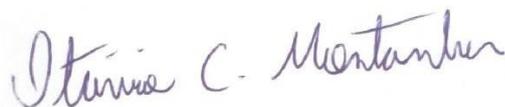
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Edison Fortes Orientador -
UEM



Prof. Dr. Vicente Rocha Silva
Membro convidado –UFMS



Prof. Dr. Otávio Cristiano
MontanherMembro convidado –
UEM

AGRADECIMENTOS

O processo de pesquisa e elaboração do projeto de mestrado, apesar de ser individual, em teoria, é afetado por uma variedade de acontecimentos e pessoas que cruzam esse caminho, ajudando, de alguma forma, o desenvolvimento da pesquisa. Dentre essas pessoas, aqui, listo algumas cuja participação foi fundamental para subir esse degrau em minha vida.

A Deus, pela vida, iluminação e pelo seu grande desafio à ciência.

À minha família, pelo apoio emocional, financeiro, estrutural e pelos incentivos, pois, mesmo com a distância na maior parte desse processo, sem eles, nada seria possível.

À minha melhor amiga, companheira e namorada, Sarah Cocato, por ser um exemplo de mulher, forte, dedicada e, acima de tudo, honesta e, não menos importante, com um grande coração, que me inspira a ser melhor como pessoa. Seu apoio, sua compreensão e seus incentivos foram muito importantes. Obrigado, amor, aprendo muito com você!

Ao meu orientador, Professor Dr. Edison Fortes, por todas as indicações de leitura, todos os ensinamentos, principalmente, em saídas de campo, todas as dicas e sugestões em conjunto com sua incansável orientação, sempre me guiando e ajudando em meu crescimento.

À CNPq, pelo fornecimento da bolsa de pesquisa entre março de 2019 e março de 2021.

Às amigas criadas e desenvolvidas no mestrado, que foram fundamentais em momentos de dúvidas, questionamentos, discussões científicas e conversas descontraídas em laboratório mais que necessárias para a manutenção da sanidade mental, sendo eles: Laine, Alex, Jean, Vitor, Karine, Matheus e, em especial, Itamar Sateles, pelo companheirismo constante em todas as horas, seja em laboratório ou em saídas de campo.

Às amigas que surgiram antes do mestrado e se fortaleceram, também, ao subir esse degrau acadêmico, em especial, Mateus Felini, Lucas Tognato e Gabriel Sorato, grandes amigos, sempre presentes nos momentos de alegria e dificuldade.

Ao colega de moradia, André, com o qual dividi teto por essa etapa da vida e que se tornou um grande amigo.

Ao programa de Pós-Graduação em Geografia e ao GEMA, ambos da Universidade Estadual de Maringá, e aos seus integrantes, em especial, à secretária Mirian, por ajudar incansavelmente os alunos, e ao técnico Vanderlei, por todo o apoio nos procedimentos laboratoriais

Aos demais colegas, amigos e parentes que, de alguma forma, estiveram presentes durante esse processo.

“O amplo mundo está em todo vosso redor: podeis vos encerrar em uma cerca, mas com cerca jamais podereis repeli-lo.”

J. R. R. Tolkien

RESUMO

A análise de parâmetros litoestratigráficos é fundamental para a compreensão das formas do relevo regional e local. A resistência dos materiais constituintes das rochas imprime na paisagem um quadro diversificado de geoformas, produtos da ação climática combinada a um quadro geoestrutural e tectônico, definido por longa história geológica. O presente projeto analisa parâmetros geomorfométricos e estratigráficos para identificação e diferenciação das unidades litoestratigráficas da parte meridional da Bacia Bauru no contato com a Bacia Sedimentar do Paraná, no Estado do Paraná, mais precisamente, entre as formações Serra Geral, Goio-Erê e Rio Paraná. Apesar dos vários estudos que abordam a estratigrafia da borda sul da Bacia Bauru, o limite entre as formações Rio Paraná e Goio-Erê ainda é controverso, considerando a similaridade dos materiais constituintes e as coberturas inconsolidadas que dificultam as análises do arcabouço geológico. Sabe-se que a drenagem age distintamente sobre diferentes unidades geológicas e, portanto, busca-se, por meio dos parâmetros geomorfométricos, calculados sobre as bacias hidrográficas, encontrar dessemelhanças entre as formações. Desse modo, esta dissertação busca identificar parâmetros morfométricos e litoestratigráfico de cada formação que permitam diferenciar as unidades geológicas da borda sul da Bacia de Sedimentação Bauru. Os resultados obtidos mostraram as principais diferenças estratigráficas entre as três formações, em que a Formação Goio-Erê apresenta porcentagens maiores de areia fina em sua composição do que a Formação Rio Paraná. Ainda em relação aos parâmetros estratigráficos estudados, eles apresentaram semelhanças nas bacias quanto à baixa densidade de drenagem, à baixa declividade, ao pequeno e lento escoamento superficial e à maior infiltração. Diferenças foram observadas no parâmetro de densidade dos cursos d'água — em que 6 de 33 bacias apresentaram eficiência — e no índice de razão de alongação. Portanto, concluiu-se que existe diferença nítida entre a Formação Serra Geral e as demais formações pela razão de alongação, além de tênues diferenças entre as formações Rio Paraná e Goio-Erê.

Palavras-chave: Litoestratigrafia. Parâmetros geomorfométricos. Bacia Bauru.

ABSTRACT

The analysis of lithostratigraphic parameters is fundamental to the comprehension of local and regional relief forms. The resistance of the rock's constituent materials imprints on the landscape a diverse framework of geofoms, products of climate action combined with a geostructural and tectonic framework, defined by a long geological history. This project analyses geomorphometric and stratigraphic parameters to make the identification and distinguishment of the lithostratigraphic units from the southern part of Bauru Basin in the contact with the Parana Sedimentary Basin, in the state of Parana, more precisely between the Serra Geral, Goio-Ere and Rio Parana formations. Despite of the many studies that approach the stratigraphy of the Bauru Basin south edge, the limit between Rio Parana and Goio-Ere formations is still controversial, considering the similarity of the constituent materials and the unconsolidated coverages which interfere with the analysis of the geologic framework. It is known that drainage acts distinctly over different geological units and, therefore, through the geomorphometric parameters calculated on the hydrographic basins, it is sought to find dissimilarities between the formations. Thus, this dissertation seeks to identify morphometric and lithostratigraphic parameters of each formation that allow to differentiate the geological units of the southern edge of the Bauru Sedimentation Basin. The results obtained showed the main stratigraphic differences between the three formations, in which the Goio-Ere Formation presents higher percentages of fine sand in its composition than the Rio Parana Formation. Likewise in relation to the studied stratigraphic parameters, they showed similarities in the basins in terms of low drainage density, low slope, small and slow runoff, and greater infiltration. Differences were observed in the density parameter of watercourses — in which 6 out of 33 basins showed efficiency — and in the elongation ratio index. Therefore, it was concluded that there is a clear difference between the Serra Geral Formation and the other formations due to the elongation ratio, in addition to slight differences between the Rio Paraná and Goio-Ere formations.

Keywords: Lithostratigraphy. Geomorphometric parameters. Bauru Basin.

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Densidade dos cursos d'água (D_s)	32
Equação 2 - Densidade de drenagem (D_d)	33
Equação 3 - Sinuosidade dos cursos de água (SIN)	33
Equação 4 - Razão do relevo (R_r)	34
Equação 5 - Razão de alongação (R_e)	34

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Área de estudo	13
Figura 2 - Mapa geológico da parte oriental da Bacia Bauru.....	16
Figura 3 - Unidades litoestratigráficas da sequência neocretácea na Bacia Bauru.	20
Figura 4 - Perfil típico de um derrame basáltico	23
Figura 5 - Coluna estratigráfica da transição entre as unidades Rio Paraná, Santo Anastácio e Vale do Rio do Peixe.	24
Figura 6 - Coluna estratigráfica de referência da unidade Rio Paraná.	25
Figura 7 - Coluna estratigráfica de referência da unidade Goio-Erê.....	26
Figura 8: Bacias hidrográficas selecionadas	31
Figura 9 - Localização da Bacia Bauru na América do Sul	39
Figura 10 - Registros do contato arenito-basalto na pedreira em Alto Paraná.....	40
Figura 11 - Subunidades morfoesculturais	42
Figura 12 - Solos do noroeste paranaense	43
Figura 13 - Hipsometria	44
Figura 14 - Declividade	45
Figura 15 - Principais drenagens	46
Figura 16 - Hipsometria das bacias hidrográficas das áreas amostrais	48
Figura 17 - Afloramento de basalto em fundo de vale com início de voçoroca.....	49
Figura 18 - Processo erosivo na Formação Serra Geral	49
Figura 19 - Corte de estrada com afloramento da Formação Goio-Erê, em que se destacam as variações de litossomas e a indicação dos perfis usados para análise	52
Figura 20 - Crostas carbonáticas, com destaque em alto relevo, associadas a níveis freáticos pouco profundos em ambiente interduna úmida.....	53
Figura 21 - Litofácies de <i>foresets</i> de dunas com estratificação cruzada sobreposta a litofácies interdunas e sotoposta a litofácies de canal fluvial.....	56
Figura 22 - Laminações cruzadas de <i>foresets</i> de dunas sobrepostas a laminações plano-paralelas com estruturas de carga de ambiente interduna.....	57
Figura 23 - Detalhe de laminações com mergulho de <i>foreset</i> de dunas, com ausência de cimento carbonático	57
Figura 24 - Laminações plano-paralela de litofácies do canal fluvial.....	59
Figura 25 - Vista parcial da vertente com a estrada de acesso ao afloramento na parte direita da foto.....	61
Figura 26 - Pedotúbulos demonstram a profundidade de ação intempérica.....	62
Figura 27 - Níveis fossilíferos associados a estratos formados em ambiente interduna com fluxos esporádicos de água.....	62
Figura 28 - Afloramento de arenito com estratificação cruzada, associada a <i>foreset</i> de dunas, na seção 1.....	63
Figura 29 - Perfil lateral esquemático da vertente, com distribuição das unidades litoestratigráficas e das seções geológicas.....	64
Figura 30 - Coluna estratigráfica da Formação Rio Paraná	65
Figura 31 - Estruturas geológicas	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Porcentagem de cada fração granulométrica por amostra na litofácie interdunas úmidas.....	55
Tabela 2 - Porcentagem de cada fração granulométrica por amostra na litofácie interdunas secas.....	55
Tabela 3 - Porcentagem de cada fração granulométrica por amostra na litofácie <i>foreset</i> de dunas no perfil 2.....	58
Tabela 4 - Porcentagem de cada fração granulométrica por amostra na litofácie de lençóis de areia no perfil 2.....	58
Tabela 5 - Porcentagem de cada fração granulométrica por amostra na litofácie de canal fluvial.....	60
Tabela 6 - Parâmetros de relevo.	67
Tabela 7 - Valores geométricos extraídos das bacias hidrográficas.....	68
Tabela 8 - Resultado dos cálculos geomorfométricos.....	70
Tabela 9 - Teste ANOVA utilizando o parâmetro de densidade dos cursos d'água.....	71
Tabela 10 - Teste ANOVA utilizando o parâmetro de densidade da drenagem.....	72
Tabela 11 - Teste ANOVA utilizando o parâmetro de sinuosidade do curso d'água.....	74
Tabela 12 - Teste ANOVA utilizando o parâmetro de razão do relevo.....	75
Tabela 13 - Teste ANOVA utilizando o parâmetro de razão de alongação.....	76
Tabela 14 - Teste T de <i>Student</i> entre as formações Rio Paraná e Goio-Erê.....	77
Tabela 15 - Teste T de <i>Student</i> entre as Formações Rio Paraná e Serra Geral.....	77
Tabela 16 - Teste T de <i>Student</i> entre as formações Goio-Erê e Serra Geral.....	78

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	EVOLUÇÃO DOS ESTUDOS DE ESTRATIGRAFIA REGIONAL	15
2.1	Evolução das Propostas de Classificação Estratigráfica das Formações Geológicas da Bacia Bauru	19
2.2	Revisão das Formações Presentes na Área de Estudo	22
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	27
3.1	Trabalhos de Gabinete e Laboratório	27
3.1.1	Elaboração dos mapas temáticos	28
3.1.2	Descrição dos parâmetros morfométricos selecionados	31
3.2	Roteiro dos Trabalhos de Campo	35
4	CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE NATURAL	37
4.1	O Contexto Geoestrutural e as Unidades Geológicas do Noroeste do Estado do Paraná	37
4.2	Aspectos Morfofisiográficos e Superfícies de Erosão no Contexto da Evolução Geomorfológica Regional	41
5	CARACTERIZAÇÃO MORFOFISIOGRÁFICA DAS ÁREAS DE REFERÊNCIA 47	
5.1	Contexto Geológico da Área de Referência Luiziana	48
5.2	Contexto Geológico da Área de Referência Tuneiras do Oeste	50
5.3	Contexto Geológico da Área de Referência Cruzeiro do Oeste	61
6	ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS POR MEIO DOS CÁLCULOS DOS PARÂMETROS GEOMORFOMÉTRICOS	66
6.1	Teste T de <i>Student</i> para Refinamento de Análise	76
6.2	Correlação entre as Características Estratigráficas e os Parâmetros Geomorfológicos em Cada Área Amostral	78
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	81
	REFERÊNCIAS	84

1 INTRODUÇÃO

Para a Geomorfologia, os satélites dão suporte aos estudos e às interpretações do relevo, facilitando o que, antes, era realizado manualmente, por meio de cartas topográficas e estereoscópios. Agora, isso é realizado por meio de programas, softwares, imagens de satélite e banco de dados geográficos. Em adição, os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) foram um grande avanço e beneficiaram todas as áreas de estudos da natureza, em especial, a Geomorfologia e Geologia, pois a extração de dados e valores se tornou veloz e, em sua grande maioria, independe de viagem a campo para coleta de medidas e valores, o que economiza tempo e recursos financeiros para a realização de mapeamentos e análises geoambientais.

A partir da relação existente entre a Geomorfologia e os SIGs, tem-se a Geomorfometria, que é considerada uma ciência interdisciplinar, exatamente, por disponibilizar a opção de trabalhar em conjunto com SIGs, mesclando a Ciência da Terra com a Matemática e a Computação, além de ser amplamente utilizada para realizar quantificações da superfície terrestre (VASCONCELOS *et al.*, 2012). Os SIGs favoreceram o desenvolvimento das análises morfométricas devido à precisão e rapidez no processamento e na geração de dados, possibilitando melhores interpretações por meio de dados do relevo, os quais se tornam cada vez mais detalhados conforme a tecnologia avança.

A Geomorfometria está relacionada a estudos de caráter matemático e quantitativo, utilizados para parametrizar a superfície terrestre e os seus diversos elementos que tendem a se relacionar conjuntamente. Essa área da ciência pode ser aplicada em diversos campos do conhecimento, com embasamento teórico de outras ciências, tais quais as Ciências da Terra, Exatas e da Computação. Assim, a Geomorfometria pode ser utilizada para estudos oceanográficos, de Engenharia Civil, para análises de desastres naturais, para apoio à agricultura de precisão, entre outros (SILVA; FIORI; SILVEIRA, 2017).

O termo ou nomenclatura “Geomorfometria” pode ser encontrado na literatura com terminologias distintas, no entanto, que realizam processos similares, como destacado por Silva, Fiori e Silveira (2017), e podem ser separadas em dois conjuntos de características, uma de sistematização de dados de entrada — que podem ser Modelagem de Terreno, Análise do Terreno, Ciência da Topografia — e outra de dados e objetos extraíveis — como, por exemplo, Parâmetros Topográficos, Atributos

Geomorfométricos, Atributos Topográficos, Variáveis Morfométricas, Informações do Terreno e Atributos do Terreno.

A Geomorfometria é caracterizada por Campanharo (2010) como um estudo matemático das formações e configurações da superfície de uma bacia hidrográfica. Ela possui três grandes grupos de características similares, sendo eles os grupos de características geométricas, de características da rede de drenagem e os de características do relevo.

Trajano *et al.* (2012) apontam que o padrão de drenagem mencionado por Campanharo (2010) se associa ao tipo de solo, rocha e estrutura geológica presente na área estudada. Dessa forma, eles se referem ao arranjo espacial dos cursos de água como influenciados pela natureza e pela disposição das camadas rochosas (controle estrutural), pela resistência litológica variável, pelas diferenças de declive e evolução geomorfológica da região, originando padrões diferentes de drenagem, como, por exemplo, os padrões dendrítico, anelar, radial e paralelo.

Os parâmetros geomorfométricos podem ser utilizados para diferentes finalidades. Do ponto de vista da rede de drenagem, observa-se uma grande importância na prevenção de eventos hidrometeorológicos, como enchentes e estiagens, e, também, podem apontar áreas de fragilidade ambiental e suscetíveis a processos erosivos (LINDNER; GOMIG; KOBIYAMA, 2007). Nesta pesquisa, os parâmetros geomorfométricos serão utilizados em conjunto com as análises litoestratigráficas de três unidades geológicas para tentar compreender a evolução do relevo.

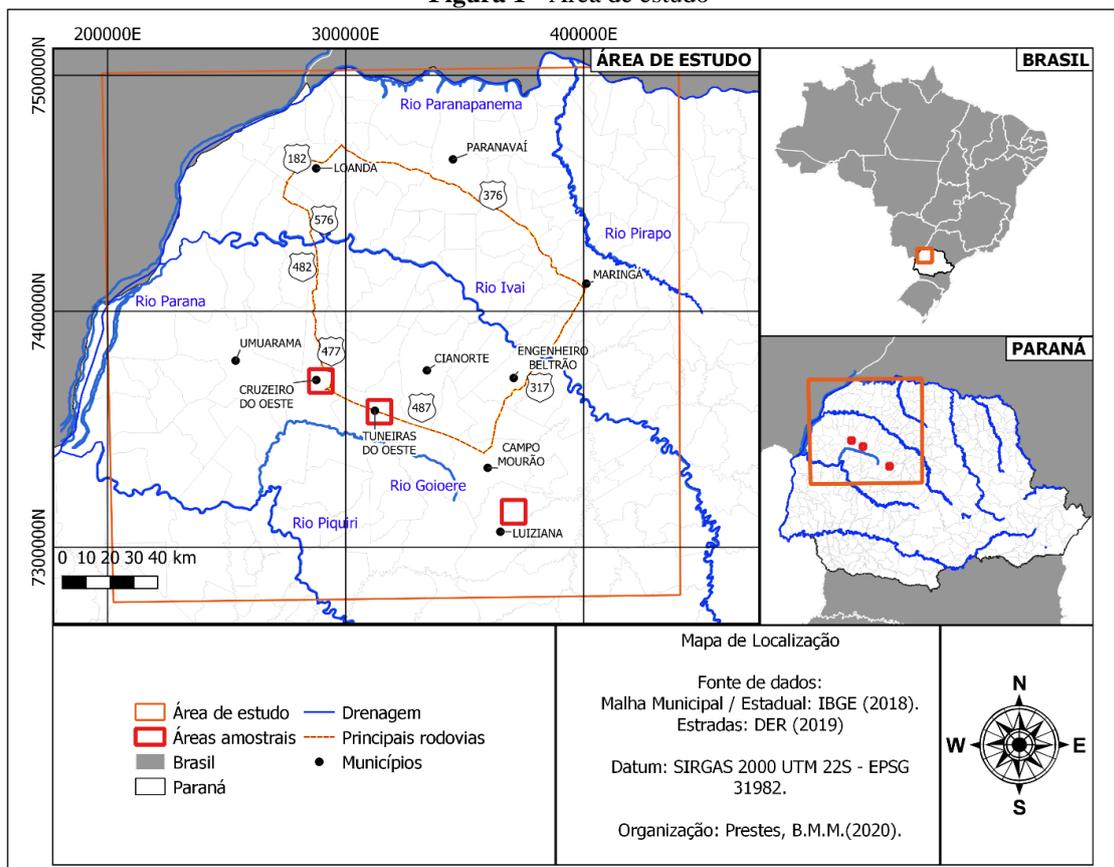
Das três unidades geológicas selecionadas, a Formação Serra Geral é a mais nítida para ser identificada e diferenciada das demais, no entanto, o limite das unidades litoestratigráficas da Bacia Bauru, mais precisamente, das formações Goio-Erê e Rio Paraná, é motivo de discussão de acordo com estudos paleontológicos e geomorfológicos.

Manzig *et al.* (2014), ao pesquisarem sobre a descoberta de um novo fóssil denominado *Caiuajara dobruskii*, apontam que o sítio paleontológico de Cruzeiro do Oeste se encontra localizado na Formação Goio-Erê. Sob outra perspectiva, Lima (2019) afirma que ele está localizado na Formação Rio-Paraná, após desenvolver estudos de âmbito estratigráfico e geomorfológico sobre o sítio paleontológico. Essa autora ainda discorre sobre aspectos paleogeográficos, a presença de fácies fossilíferas, apresenta uma proposta de modelo deposicional, além de descrever um perfil litoestratigráfico dessa formação.

Considerando a existência dessa controvérsia, e tendo conhecimento de que as duas formações apresentam características muito similares, definiu-se como área de estudo todo o noroeste do Paraná, com enfoques amostrais nos municípios de Cruzeiro do Oeste, optando por considerá-lo inserido na Formação Rio Paraná; Tuneiras do Oeste, representando a Formação Goio-Erê; e Luiziana, representando a Formação Serra Geral.

A área de estudo, localizada ao noroeste do Estado do Paraná, apresenta arenitos e basaltos como substrato geológico, os quais imprimem relevos monótonos, com colinas de vertentes e topos convexos. A rede de drenagem local é afluyente dos sistemas hidrográficos Piquiri, Goioerê, Ivaí e Pirapó, e esses são afluentes do Rio Paraná, que constitui o principal coletor de águas. Os municípios que se destacam nessa região são Maringá, Paranavaí, Loanda, Umuarama, Cruzeiro do Oeste, Tuneiras do Oeste, Cianorte, Campo Mourão, Luiziana e Engenheiro Beltrão. Dentre as rodovias na área, as mais importantes e utilizadas no decorrer desse trabalho foram a BR-376, PR-182, PR-576, PR-482, PR-477, PR-487 e a PR-317 (Figura 1).

Figura 1 - Área de estudo



Fonte: elaborada pelo autor (2020).

À vista disso, esta pesquisa teve por objetivo geral identificar parâmetros morfométricos, litoestratigráficos e litoestruturais particulares de cada formação para que permitam diferenciar as unidades geológicas da borda sul da Bacia de Sedimentação Bauru, mais especificamente, os arenitos das formações Rio Paraná e Goioerê, pertencentes ao Grupo Caiuá, e os basaltos da Formação Serra Geral, pertencentes ao Grupo São Bento.

Para alcançar esse objetivo maior, delimitaram-se os objetivos específicos de compreender as relações entre os lineamentos estruturais e as formas do relevo; estabelecer correlação entre as características estratigráficas e os parâmetros geomorfométricos; reconhecer a participação da rede de drenagem na evolução das formas do relevo; e comparar os parâmetros geomorfométricos das bacias selecionadas em cada formação geológica.

O desenvolvimento desta dissertação, com enfoque na análise das formações presentes no noroeste paranaense, é proposto devido à importância ambiental que essa localidade apresenta para o Paraná. Essa região sofre grandes prejuízos com o avanço de diversos processos erosivos, alguns em estágios avançados, já sendo considerados voçorocas. Autores como Mendonça (1994) já apontaram o problema de desertificação ecológica e o alto grau de degradação da natureza nesse local. Peričato e Souza (2019) identificaram níveis de fragilidade ambiental em uma bacia nessa região. Goulart, Oliveira e Santos (2018) utilizaram índices de concentração de rugosidade para identificar paleovoçorocas. No entanto, ainda há a necessidade de mais estudos e fundamentação para futuras pesquisas a serem desenvolvidas na região, principalmente, de cunho geomorfológico.

Além disso, a identificação de parâmetros geomorfológicos para a diferenciação de unidades geológicas se justifica pela necessidade de desenvolvimento de metodologia de baixo custo para mapeamentos geológicos, tendo em vista a similaridade entre as litologias e estruturas das formações Goio-erê e Rio Paraná. Os trabalhos de mapeamento geológico efetuados no noroeste do estado do Paraná apresentam uma distribuição de formações geológicas cujos limites ainda são imprecisos. Isso decorre da homogeneidade morfofisiológica, o que torna necessária a análise *in loco* de muitos afloramentos, tornando os trabalhos demasiadamente caros e demorados. Dessa maneira, a pesquisa visa encontrar critérios de diferenciação de cada formação, fornecendo subsídios para uma revisão da distribuição dessas unidades geológicas, bem como incentivar mais estudos geomorfológicos na área.

2 EVOLUÇÃO DOS ESTUDOS DE ESTRATIGRAFIA REGIONAL

Os arenitos, denominados, informalmente, de Caiuá e que ocupam cerca de 2/3 da área de estudo, foram objeto de estudo desde a década de 20 do século passado e têm sido enquadrados em diversas categorias estratigráficas e associados a diversos ambientes.

A Formação Caiuá foi, inicialmente, identificada e descrita por Baker (1923 *apud* LANDIM; SOARES, 1976) e por Washbourne (1929 *apud* LANDIM; SOARES, 1976). Diversos autores estudaram essa formação e a consideraram sotoposta à Formação Bauru e com características de deposição fluvial ou flúvio deltaico, como, por exemplo, Mezzalira e Arruda (1965) e Soares (1973). Landim e Soares (1976), além de considerarem o paleoambiente de sedimentação como flúvio-deltaica, classificam essa formação por sua constituição de arenitos quartzosos, de granulação fina a média, com grãos bem arredondados, pouca matriz, no geral, arenitos porosos, com coloração roxo-violeta a vermelho-escuro.

Essa formação só foi considerada parte da Bacia Bauru após os trabalhos elaborados por Soares *et al.* (1980), que consideravam a classificação da Formação Caiuá como um ambiente de deposição eólica. Em contrapartida, Fernandes e Coimbra (1996; 2000) consideram essa formação como constituída por construções eólicas de grande porte, complexos de dunas amalgamadas e construções eólicas de menor porte nas periferias.

A cobertura geológica, apresentada por Fernandes, Couto e Santos (2012) na Figura 2, é composta pelas Formações Goio-Erê, Rio Paraná e Santo Anastácio, pertencentes ao Grupo Caiuá, e Formações Adamantina, Uberaba e Marília, pertencentes ao Grupo Bauru.

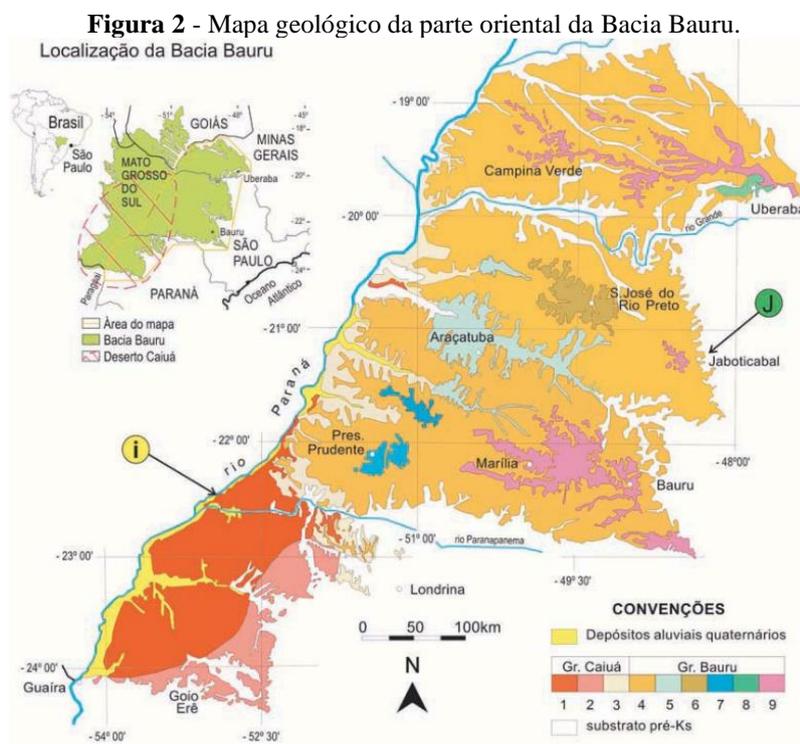
Neste trabalho, será adotada a classificação estratigráfica proposta por Fernandes e Coimbra (1994) em virtude do estado da arte dessa abordagem. Os autores anteriormente citados dividem os materiais que preenchem a Bacia Bauru em dois grandes grupos, separados por descontinuidades erosivas: o Grupo Caiuá e o Grupo Bauru. O primeiro é constituído por uma litologia de arenitos finos a muito finos, quartzosos, podendo conter cimento, concreções e crostas carbonáticas na base. Com características de ambiente desértico e ambiente deposicional eólico, esse grupo é dividido nas formações: Rio Paraná, Goio-Erê e Santo Anastácio.

Como, nessa situação, o ambiente desértico e o agente de transporte eólico estão associados, compreende-se que, pelas características das estruturas sedimentares,

mineralógicas e a ausência de fósseis, os autores atribuíram ao Grupo Caiuá condições deposicionais associadas a paleoambiente desértico, com variações das condições de umidade de mais secas na base e mais úmidas em direção ao topo. Essas variações de umidade também foram constatadas lateralmente à Bacia Bauru, de mais úmidas nas bordas (formações Goio-Erê e Santo Anastácio) para mais secas no centro da bacia (Formação Rio Paraná).

No Grupo Bauru, cuja bacia de sedimentação possui nome semelhante, pode-se encontrar rochas com as seguintes características: arenitos finos a médios, quartzosos, com cimento e concreções CaCO_3 , siltitos, lamitos, conglomerados e arenitos com cimento carbonáticos, rocha afanítica de cor parda a avermelhada, com amígdalas de calcita. Contém características de ambiente fluvial e de leques aluviais. É formado pelas unidades estratigráficas: formações Uberaba, Vale do Rio do Peixe, Araçatuba, São José do Rio Preto, Presidente Prudente e Marília.

Considerando esse contexto litoestratigráfico, na parte oriental da Bacia Bauru, o grupo homônimo se distribui para o norte, em direção aos estados de São Paulo e Minas Gerais, enquanto o Grupo Caiuá se encontra limitado, na sua parte sul, à parte noroeste do Estado do Paraná (Figura 2). Neste último, o limite entre as formações Rio Paraná e Goio-Erê tem sido motivo de controvérsias.



Fonte: Fernandes, Couto e Santos (2012, p. 5).

Legenda:

1. Fm. Rio Paraná
 2. Fm. Goio-Erê
 3. Fm. Santo Anastácio
 4. Fm. Vale do Rio do Peixe
 5. Fm. Araçatuba
 6. Fm. São José do Rio Preto
 7. Fm. Presidente Prudente
 8. Fm. Uberaba
 9. Fm. Marília
- J = Rocha alcalina de Jaboticabal
S = Sismitos de Porto Primavera

O Grupo Caiuá foi, inicialmente, reconhecido como uma formação adjunta ao Grupo Bauru e definido por Washburne (1930) por meio de pontos de exposição nas barrancas do Rio Paraná, em Porto Presidente Epitácio, no lado paulista; em contrapartida, no Estado do Paraná, sua área de abrangência corresponde a grande porção do noroeste do Estado, assim como, no Estado do Mato Grosso do Sul (MS), sua ocorrência é extensa (SOARES *et al.*, 1980).

Inicialmente, foi classificada como Formação Caiuá por Washburne (1930), mas elevada à categoria de Grupo por Soares *et al.* (1980). Os principais pontos de exposição dessa unidade estão localizados na margem esquerda do Rio Paraná e Porto Presidente Epitácio, no lado paulista, e, no Estado do Paraná, constituem boas exposições de paredões de cerca de 15 metros de altura na margem esquerda do Rio Paraná, próximos às localidades de Porto São José e Porto Rico (FERNANDES; COIMBRA, 1994).

Em seguida, Mezzalira (1981), ao elaborar uma subdivisão da Formação Bauru em biozonas, considerando aspectos fossilíferos e os correlacionando com litofácies, propõe a desvinculação da Formação Caiuá e a Formação Santo Anastácio do Grupo Bauru, sem deixar claro a qual grupo essas unidades se vinculariam. No entanto, pode-se compreender que esse autor sugere a vinculação das formações Caiuá e Santo Anastácio ao Grupo Caiuá, por apresentarem características hidrológicas e registros fossilíferos destoantes das outras formações. Fernandes (1992), por outro lado, propôs a elevação da unidade Caiuá para a categoria de Grupo e, consecutivamente, sua subdivisão nas formações Goio-Erê e Rio Paraná.

Considerando o enfoque da presente pesquisa na parte meridional do Grupo Caiuá, ressalta-se que serão apresentadas somente as características das formações pertencentes ao Grupo Caiuá no Estado do Paraná.

A Bacia Bauru, cuja localização está inserida, quase inteiramente, no território brasileiro — o que corresponde à região oriental do estado de Mato Grosso do Sul, ao sul

de Goiás, à parte do Triângulo Mineiro, ao planalto ocidental de São Paulo e ao noroeste do estado do Paraná — e no Paraguai — uma pequena parte —, compreende uma área de, aproximadamente, 370.000 km², conforme apontado por Fúlfaro (1996) e Bettú *et al.* (2006).

O surgimento da Bacia Bauru ocorreu com o final do vulcanismo basáltico do Eocretáceo, o qual apresentou um pico de atividade ígnea entre 133 e 130 Ma, conforme apresentado por Nardy, Machado e Oliveira (2008). Após esse evento, a Bacia do Paraná foi submetida a um ciclo erosivo. Soares *et al.* (1980) esboçam a evolução paleogeográfica do Grupo Bauru, apontando que as condições climáticas no momento poderiam ter favorecido o desenvolvimento de um deserto, com acúmulo de areia eólica em grandes dunas, ocasionadas por ventos direcionados da região do Arco de Ponta Grossa. Eventualmente, o deserto foi substituído por um sistema fluvial devido ao resfriamento da região e teve seu curso hídrico direcionado para oeste-sudoeste, com excesso de carga arenosa.

Em adição, Soares *et al.* (1980) apontam que, aproximadamente, 45 Ma depois, no início do Cretáceo Médio, o clima na região mudou para úmido, o centro deposicional, inicialmente localizado no noroeste do Paraná, alterou-se, mudando para o oeste do Estado de São Paulo, e se tornou um imenso sistema fluvial meandrante, com um abundante processo de deposição pelítica sob um período de estabilidade tectônica.

O Cretáceo Médio finalizou com a evolução das faixas marginais para leques aluviais, e o clima se tornou árido, e o processo de geração da Serra do Mar e dos Arcos da Canastra ocasionou uma progradação dos leques sobre o sistema meandrante periférico e um posterior assoreamento da bacia. O Terciário iniciou com um novo processo erosivo na Bacia, originando o aplainamento Sul-Americano, seguido de ciclos erosivos do Cenozoico.

Os contatos do Grupo Bauru com unidades vizinhas são caracterizados da seguinte forma: ele se assenta sobre basaltos do Grupo São Bento (Formação Serra Geral) por meio de uma separação por não-conformidade. Para o Grupo Caiuá, o contato apresenta passagem gradual, lateral e recorrente (FERNANDES; COIMBRA, 2000).

O Grupo São Bento, denominado, inicialmente, como “Série São Bento” por White (1908) e Maack (2001), é caracterizado por arenitos, predominantemente, vermelhos, encimados pelas “eruptivas da Serra Geral”. Este autor classificou a parte do pacote arenítico como São Bento, e as camadas vermelhas, como Rio do Rastro.

2.1 Evolução das Propostas de Classificação Estratigráfica das Formações Geológicas da Bacia Bauru

A classificação da unidade Bauru em Série, Grupo ou Formação já foi amplamente discutida por alguns autores (WASHBURNE, 1930; ALMEIDA; BARBOSA, 1953; FREITAS, 1955; ARID, 1967; SUGUIO, 1973a; MEZZALIRA, 1974; entre outros). Entretanto, a respeito da sua constituição estratigráfica, Menegazzo (2016) apresenta, em sua pesquisa, um quadro comparativo dos principais autores e consecutivas propostas estratigráficas para o Grupo Bauru, considerando os anos de 1905 até 1978. Na sequência desses estudos, Soares *et al.* (1980) definem a Bacia Bauru em Grupo e a subdividem em: Formação Caiuá, Formação Santo Anastácio, Formação Adamantina e Formação Marília.

Considerando a evolução das discussões teóricas a respeito das diferentes classificações, optou-se por apresentar uma breve contextualização agrupada por décadas, iniciando, assim, com a década de 1970.

- 1977: nesse ano, Brandt Neto (1977) apresentou a Formação Bauru dividida em três membros, sendo eles: o inferior, composto por arenitos vermelhos e sílica; o médio, composto por arenitos com estruturas de canais e arenitos maciços; e o superior, composto por arenitos nodulares.
- 1979: dois anos depois, as pesquisas ainda caracterizavam Bauru como formação, no entanto, Soares *et al.* (1979) introduziram conceitos de fácies nos membros inferior, médio e superior e identificaram uma formação diferenciada da Bauru, a qual foi nomeada Formação Caiuá, no sudoeste da área Bauru. Ainda no ano de 1979, Stein *et al.* (1979) propuseram a retirada das formações Caiuá e Santo Anastácio do contexto estratigráfico da Formação Bauru.

A década de 80 apresentou mudanças em algumas classificações previamente estabelecidas, como se pode observar com os autores apresentados a seguir.

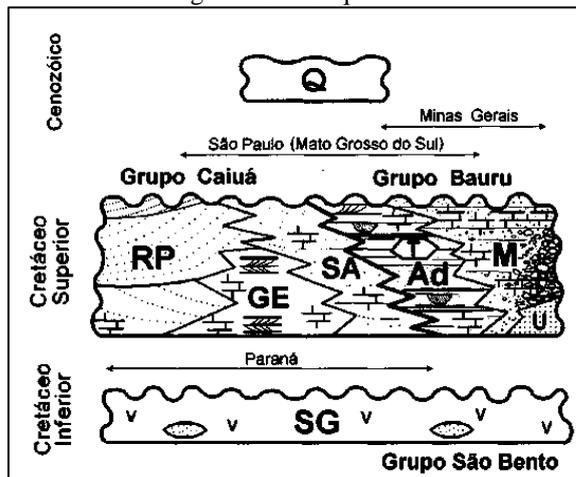
- 1980: propõe-se a elevação da Formação Bauru para a classificação de Grupo Bauru, sendo ela, então, subdividida pelas formações Caiuá, Santo Anastácio, Adamantina e Marília (SOARES *et al.*, 1980). Em adição, outra pesquisa, desenvolvida no ano de 1980, propôs a ampliação da área de abrangência do Grupo Bauru para os estados de Minas Gerais (MG), Goiás (GO) e Mato Grosso do Sul (MS) (SUGUIO; BARCELOS; MATSUI, 1980).

- 1983: acrescentaram-se mais informações a respeito das classificações de formações dentro do Grupo Bauru, adicionando a Formação Uberaba junto às já existentes formações Caiuá, Santo Anastácio, Adamantina e Marília (SUGUIO; BARCELOS, 1983).

A década de 90 foi um momento de grandes avanços tecnológicos, e, consecutivamente, as pesquisas se tornaram mais detalhadas por meio da utilização de equipamentos eletrônicos de precisão, proporcionando novas propostas e modificações nas concepções previamente estabelecidas, conforme se pode verificar a seguir.

- 1992: nesse ano, foi realizada a divisão da unidade Caiuá nas formações Goio-Êre e Rio Paraná, elevando, desse modo, a unidade Caiuá para a categoria de Grupo Caiuá (FERNANDES, 1992).
- 1994: Fernandes e Coimbra (1994) propõem a divisão do Grupo Caiuá nas formações Goio-Erê, Rio Paraná e Santo Anastácio, e a divisão do Grupo Bauru nas formações Adamantina, Marília, Uberaba e Analcimitos Taiúva (Figura 3). Tal divisão é proposta com base em duas justificativas: uma, de parte litológica, considera que as litologias dos arenitos Caiuá e da unidade Bauru são distintas, e a segunda considera sua área de afloramento, visto que os arenitos Caiuá afloram, principalmente, no Paraná (Figura 2), enquanto, em São Paulo, as formações Adamantina e Marília dominam sobre outras unidades.

Figura 3 - Unidades litoestratigráficas da sequência neocretácea na Bacia Bauru.



Fonte: Fernandes e Coimbra (1994, p. 166).

Legenda:

SG: Fm. Serra Geral;
RP: Fm. Rio Paraná;
GE: Fm. Goio-Êre;
AS: Fm. Santo Anastácio;
Ad: Fm. Adamantina;
U: Fm. Uberaba;
M: Fm. Marília;
T: Analcimitos Taiúva;
Q: Sedimentos aluviais quaternários.

- 1998: apesar de alguns autores apontarem a dificuldade de reconhecer as subdivisões propostas a respeito da Formação Caiuá (MENEGAZZO, 2016), desenvolveram-se estudos a respeito da parte oriental da Bacia Bauru, utilizando a divisão do Grupo Caiuá e Grupo Bauru (FERNANDES, 1998), e esses estudos foram aceitos e inseridos na revisão litoestratigráfica da Bacia do Paraná, desenvolvida por Milani e Wit (2008).

A partir de 2000, os estudos foram se ampliando, assim como os embates a respeito das definições aumentaram, proporcionando novos resultados.

- 2003: foi proposto que a origem dos grupos Caiuá e Bauru derivam de eventos tectônicos e sedimentares distintos. Defendeu-se que a Bacia Bauru resulta de abatimentos relacionados à reativação de lineamentos do embasamento pré-cambriano, tendo sido implantada sobre os depósitos do Grupo Caiuá e da Formação Serra Geral (BATEZELLI, 2003; BATEZELLI *et al.*, 2003; MENEGAZZO, 2016). Com o avanço das tecnologias e maior utilização de dados de subsuperfície, conceitos estratigráficos distintos surgiram para o Grupo Bauru, por exemplo, Silva *et al.* (2003; 2005; 2009), ao incorporarem dados de subsuperfície do Estado de São Paulo, consideraram o Grupo Bauru parte da Bacia do Paraná. Mesmo que semelhante à proposta de Soares *et al.* (1980), essa proposta se diferencia por incluir as Formações Araçatuba, Pirapozinho e Birigui ao contexto do Grupo Bauru.
- 2004: Fernandes (2004) permanece com sua classificação estratigráfica da parte oriental da Bacia Bauru, mantendo as formações Rio Paraná, Goio-Erê e Santo Anastácio dentro do Grupo Caiuá e inserindo a Formação Presidente Prudente junto às outras formações — Uberaba, Vale do Rio do Peixe, Araçatuba, São José do Rio Preto e Marília — no Grupo Bauru.
- 2016: propõe-se novo modelo para a formação e a evolução da Bacia Bauru, assim como novas propostas de idade para as unidades dela. Discute-se a

litoestratigrafia da bacia, adotando propostas anteriores com relação às formações Caiuá, Adamantina, São José do Rio Preto e Itaqueri. Propõe-se, também, a possibilidade de simplificar a litoestratigrafia da Bacia Bauru por meio da junção das unidades Uberaba, São José do Rio Preto e Birigui em uma única formação (MENEGAZZO, 2016).

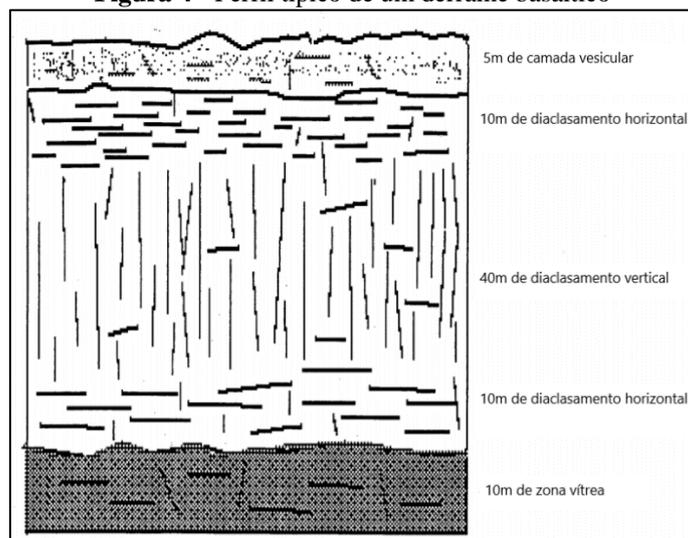
2.2 Revisão das Formações Presentes na Área de Estudo

A Formação Serra Geral, substrato da sequência suprabasáltica neocretácea, possui limite inferior erosivo para a Formação Rio Paraná e contato por não conformidade erosivo com a Formação Goio-Erê. É datada por Muhlmann *et al.* (1974) como pertencente ao Cretáceo Inferior.

Leinz (1949) caracteriza a Formação Serra Geral (Figura 4) por seu caráter interno ser constituído por zona vítrea basal com disjunção horizontal, zona intermediária com juntas verticais, zona superior com disjunção vertical e horizontal e basalto vesicular no topo. Sua constituição compreende um predomínio de derrames básicos, contendo domínios subordinados intermediários e ácidos no terço médio e superior.

Fernandes (1992) a caracteriza como um substrato regional constituído por basaltos toleíticos afaníticos maciços a vesículo-amigdaloidais, de cor cinza a preta, disposto em corpos tabulares, com intercalações descontínuas de siltitos, arenitos e brechas intertrapeanas. Pode conter diques clásticos subverticais de arenitos e siltitos, com espessura até decimétrica, além de diques e soleiras de diabásio.

Strugale *et al.* (2004), em análises da Formação Serra Geral, caracterizam-na por ser composta por derrames de basaltos negros afaníticos e dacitos porfiríticos, com matriz afanítica de cor cinza-escura, além dos diversos corpos de intrusivas básicas correlatas, representados, principalmente, por diques.

Figura 4 - Perfil típico de um derrame basáltico

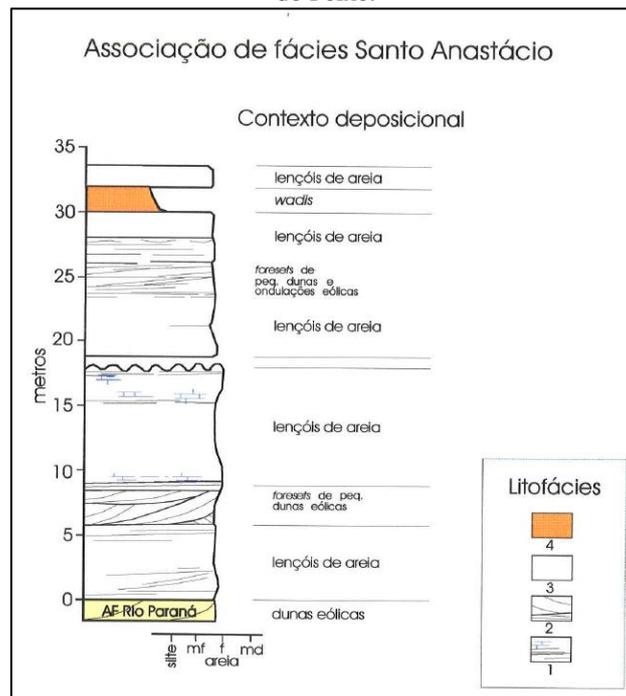
Fonte: adaptada de Leinz (1949).

A Formação Santo Anastácio tem contato transicional gradual com a Formação Rio Paraná. Sobre essa unidade, encontram-se depósitos elúvio-colúviais e aluviais arenosos, quaternários, e, abaixo dela, localizam-se os basaltos da Formação Serra Geral, Formação Caiuá e Formação Pirapozinho, com as quais possui contato basal discordante.

A Formação Santo Anastácio (Figura 5) é composta por arenitos quartzosos quase sempre maciços, finos a muito finos, com a fração silte em quantidades menores. Pode-se encontrar feldspatos. Os arenitos são pobremente selecionados com pequena quantidade de matriz silte-argilosa. Raras intercalações de estratos de lamitos e argilitos. Os grãos são subangulosos a subarredondados, foscos, encobertos por uma película de óxido de ferro (FERNANDES; COIMBRA, 2000).

Seu contexto deposicional corresponde a depósitos de lençóis de areia, secos, acumulados em extensas e monótonas planícies desérticas, localizadas às margens de complexos de dunas de *sand sea*. Raramente, relacionado a depósitos de enxurradas de chuvas torrenciais esporádicas (*wadis*).

Figura 5 - Coluna estratigráfica da transição entre as unidades Rio Paraná, Santo Anastácio e Vale do Rio do Peixe.



Fonte: Fernandes (1998, p. 50).

Legenda:

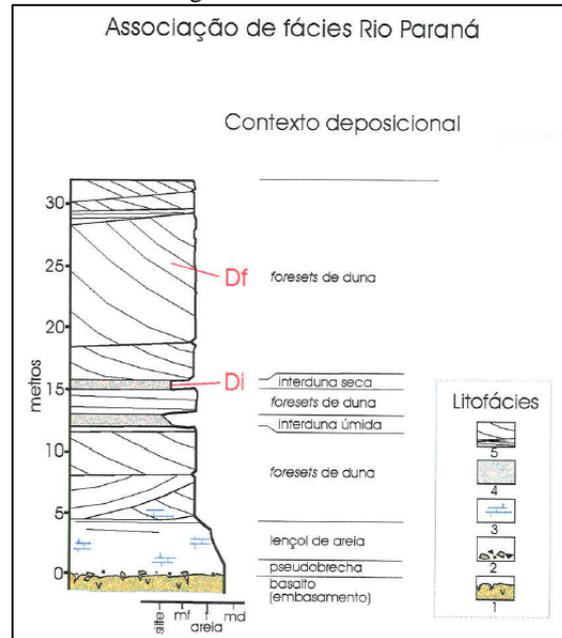
1. Arenito com cimento e nódulos de CaCO₃.
2. Arenito com estratificação cruzada.
3. Arenito Maciço.
4. Lamito arenoso.

A Formação Rio Paraná apresenta contato lateral gradual com as formações Goio-Erê, ao sul, e Santo Anastácio, ao norte. Encontra-se situada sobre a Formação Serra Geral, da qual é separada por não conformidade.

Ela é constituída por arenitos marrom-avermelhados a arroxeados, finos a muito finos (raramente, médios a grossos), quartzosos. Os arenitos são bem selecionados por lâmina ou estrato. A rocha apresenta notável laminação ou estratificação cruzada, formada pela alternância de bandas de espessura milimétrica a centimétrica, de boa seleção interna (FERNANDES; COIMBRA, 2000).

Seu contexto deposicional compreende construções eólicas de grande porte (*draas*) e complexos de dunas de cristas sinuosas. A seção definida (Figura 6) por Fernandes (1998) para essa formação se encontra em cortes da eclusa da usina hidrelétrica Eng. Sérgio Motta, no Pontal do Paranapanema.

Figura 6 - Coluna estratigráfica de referência da unidade Rio Paraná.



Fonte: adaptada de Fernandes (1998).

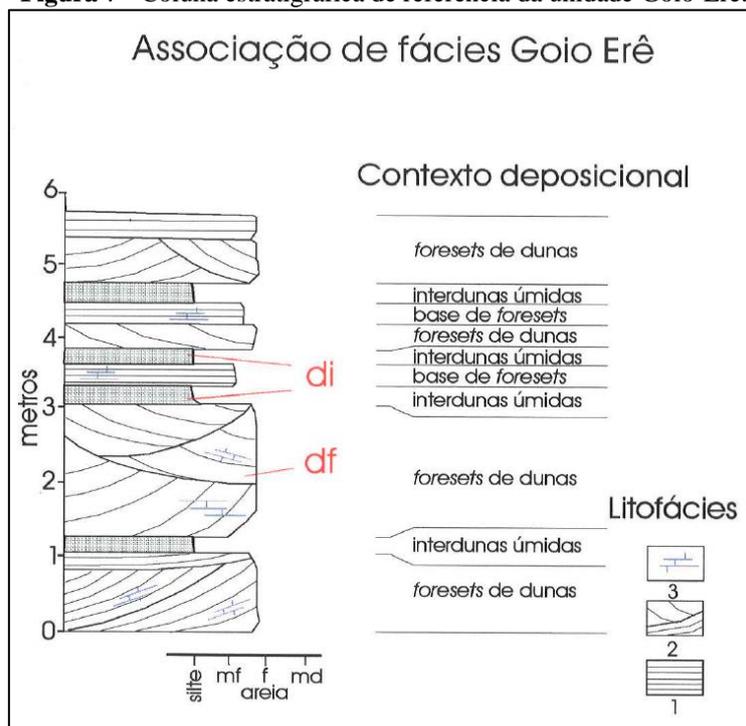
Legenda:

1. Basalto;
2. Arenito maciço com fragmentos de basalto, nódulos de argila e carbonato;
3. Cimento carbonático;
4. Arenitos maciços a mal estratificados;
5. Arenitos com estratificação-laminação cruzada

A Formação Goio-Erê apresenta contato transicional com basaltos da Formação Serra Geral, sotopostos e pertencentes ao Grupo São Bento. Fernandes e Coimbra (2000) a caracterizam como uma formação composta por camadas tabulares, com estratificação cruzada, alternadas com outras de aspecto maciço. Constituída por arenitos quartzosos, marrom-avermelhados a cinza-arroxeados, finos a muito finos. Ocorre, frequentemente, o revestimento de poros por argila autigênica (esmectita), transformada em caulinita por processos intempéricos.

Seu contexto deposicional compreende depósitos de áreas periféricas de *sand sea*, sujeitas a oscilações do nível do freático raso. Ela apresenta como seção tipo (Figura 7) um corte da rodovia Campo Mourão/Goio-Erê, no Km 58,7 da rodovia BR 272 (FERNANDES, 2004).

Figura 7 - Coluna estratigráfica de referência da unidade Goio-Erê.



Fonte: Fernandes (1998, p. 46).

Legenda:

1. Arenito maciço ou com estratificação sub-horizontal mal definida, às vezes, com cimentação carbonática.
2. Arenito com estratificação cruzada.
3. Cimento e nódulos carbonáticos.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Inicialmente, realizou-se uma revisão bibliográfica pertinente à geologia da Bacia Bauru e de suas formações correlatas. Em seguida, pesquisou-se sobre metodologias associadas a parâmetros morfométricos, além de estudos de casos aplicados a mapeamento geológico e geomorfológico. Posteriormente, foram realizados os procedimentos de gabinete, os trabalhos de campo e o tratamento em laboratório do material coletado em campo.

3.1 Trabalhos de Gabinete e Laboratório

Em laboratório, realizou-se o tratamento dos materiais sedimentares coletados. Para tanto, foram feitas análises de parâmetros granulométricos por peneiramento e pipetagem, conforme procedimentos descritos por Folk (1980), além da utilização das técnicas usuais de sedimentologia para interpretação das amostras sobre a presença de carbonatos e concreções, conforme Wentworth (1922).

Os trabalhos de gabinete consistiram na elaboração de mapeamentos temáticos da área abrangida pela Bacia Bauru, no noroeste do Estado do Paraná, bem como regiões limítrofes, associadas à Bacia Sedimentar do Paraná. Para isso, foi utilizado o software QGIS, nas versões 2.18.14, 3.4. e 3.10. Os materiais utilizados para a elaboração dos mapas foram informações SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*), organizadas pela NASA em 2000 e disponibilizadas pelo site do INPE (2008) — as quais foram aperfeiçoadas no projeto de Modelo Digital de Elevação (MDE), denominado TOPODATA, melhorando sua resolução espacial de 90 m para 30 m —, bases de dados municipais e estaduais (IBGE, 2018a), informações sobre estruturas geológicas (MINEROPAR, 2005a), unidades litoestratigráficas (GEOsgb, 2004; MINEROPAR, 2005b), solos (IBGE, 2018b) e drenagem (COPEL/AGUASPARANÁ, 2011).

O manuseio dos dados vetoriais foi realizado utilizando ferramentas para recorte e estilização das camadas, de modo que elas representassem cartograficamente as informações de modo objetivo. Todos os dados, vetoriais e matriciais, tiveram suas coordenadas reprojatadas para as coordenadas métricas do Sistema de Referência de Coordenadas (SRC), denominado SIRGAS 2000/UTM zona 22S, com o código EPSG (*European Petroleum Survey Group*) 31982, pois, conforme Resolução do Presidente do IBGE n.º 1/2005 (IBGE, 2005), o Sistema Geodésico Brasileiro oficial foi alterado para

o Datum SIRGAS 2000, sendo, dessa forma, obrigatória a sua utilização no território nacional. Ressalta-se que o Datum SAD 69 pode ser utilizado, por se tratar do sistema previamente utilizado e por se tratar de um processo de transição entre esses dois sistemas, no entanto, incentiva-se e se torna mais viável a utilização do SIRGAS 2000.

3.1.1 Elaboração dos mapas temáticos

Os mapas de hipsometria e declividade foram elaborados utilizando a base matricial do MDE TOPODATA (BRASIL, 2008). Cada folha ou quadrícula de imagem do TOPODATA possui uma articulação de 1:250.000. Realizou-se o mosaico (junção de todas as quadrículas) das folhas 22s54, 22s525, 23s54, 23s525, 24s54 e 24s525. Após a criação do mosaico, realizou-se, nele, o recorte da área de estudo. A área de estudo se delimita pelas seguintes coordenadas: a) ponto superior esquerdo apresenta longitude UTM: 197655.51 m E e latitude UTM: 7500940.14 m S; b) ponto inferior direito apresenta longitude UTM: 440564.83 m E e latitude UTM: 7279841.40 m S.

Para o mapa de hipsometria, utilizou-se a matriz TOPODATA já recortada para a área de estudo, reconfigurando os valores dos pixels para os valores mínimos e máximos reais. Utilizou-se a opção de renderização de banda simples falsa-cor, com um gradiente de cores contemplando o verde, amarelo, laranja e vermelho. A faixa de valores de altitude real extraída se concentrou entre 300 m (valor mínimo) e 1100 m (valor máximo), os valores acima de 1100 m não aparecem no enquadramento definido na área amostral. Utilizou-se o método interpolador, denominado “Método Discreto”, com o modo de separação das classes, denominado “Intervalo Igual”, o que resultou em uma melhor exposição de informação hipsométrica.

Para uma melhor visualização, aparentando uma tridimensionalidade no relevo, ou uma rugosidade em conjunto com as cores do mapa hipsométrico, realizou-se uma duplicação da camada matricial TOPODATA. A simbologia dessa camada foi renderizada com o tipo “Sombreamento”, com a iluminação definida em uma altitude de ângulo 45,00°, e um azimute de iluminação de 315,00°. O fator Z, também conhecido como “Exagero Vertical”, foi definido em 5,0 vezes, pois, como se trata de uma área de grande extensão, um fator Z nulo ou inferior a esse valor não representaria claramente uma tridimensionalidade, e um fator Z acima desse valor começa a apresentar formas distorcidas de relevo, não representando a realidade de certas localidades. Por fim, essa camada de sombreamento foi renderizada com um modo de mistura denominado

“Multiplicar”, em adição a uma transparência dessa camada em 40%, o que fornece um produto cartográfico de alta qualidade, com informações nítidas e representativas sobre as cores hipsométricas, e proporciona a sensação de alto relevo e profundidade no mapa.

O mapa de declividade, também, foi construído com a mesma matriz TOPODATA, no entanto, as informações de altitude da matriz TOPODATA foram transformadas em dados de declividade. Para a realização desse processo, utilizaram-se as opções “Raster” > “Análise” > “Declividade” dentro do Software QGIS 2.10. Escolheu-se a opção de expressar a declividade em porcentagem e calculá-la por meio da fórmula de Horn (1981). Os cálculos desse autor consideram um algoritmo que utiliza uma matriz 3x3 ao redor de cada pixel. Esse modelo prejudica a representação da declividade na borda da camada, informando valores nulos; como essa situação já era prevista, a camada utilizada extrapola a área de estudo, não prejudicando os valores de declividade na área recortada.

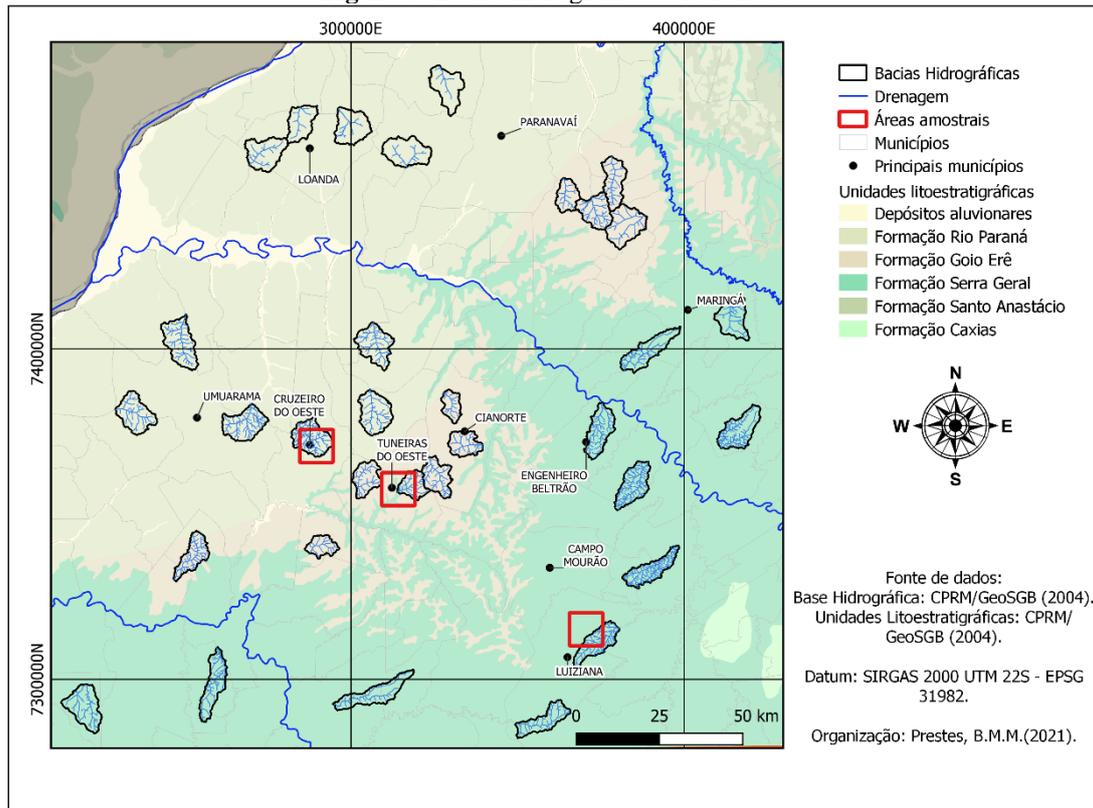
Após a geração de uma nova camada com os valores brutos de declividade, realizou-se o processo de renderização da camada, utilizando a renderização “Banda simples falsa-cor”, carregando os valores mínimos e máximos reais, o que resultou no mínimo igual a 3% e no máximo igual a 230.129%. Esses valores foram reconfigurados com a interpolação “Linear” e o modo “Intervalo igual” para expressar a declividade conforme o índice de declividade da Embrapa (OLIVEIRA *et al.*, 1999).

As classes de declividade são caracterizadas pela Embrapa (OLIVEIRA *et al.*, 1999) como: **a)** plano (0 a 3%): superfície de topografia esbatida ou horizontal, em que os desnivelamentos são muito pequenos; **b)** suave ondulado (3 a 8%): superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas ou outeiros (elevações de altitudes relativas até 50 m e de 50 a 100 m), com declives suaves; **c)** ondulado (8 a 20%): superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas ou outeiros, apresentando declives moderados; **d)** forte ondulado (20 a 45%): superfície de topografia movimentada, formada por outeiros ou morros (elevações de 50 a 100 m e de 100 a 200 m de altitudes relativas) e, raramente, colinas com declives fortes; **e)** montanhoso (45 a 75%): superfície de topografia vigorosa, com predomínio de formas acidentadas, usualmente, constituídas por morros, montanhas, maciços montanhosos e alinhamentos montanhosos, apresentando desnivelamento relativamente grande e declives fortes ou muito fortes; **f)** maior que 75%: áreas com predomínio de formas abruptas, compreendendo superfícies muito íngremes, usualmente, com declives ultrapassando 75%.

Os mapas regionais, associados a levantamento e registro fotográfico em campo, permitiram a elaboração de análises descritivas e correlativas dos ambientes naturais na região noroeste do Estado do Paraná.

Após a confecção dos mapas regionais, foi feita a seleção de três áreas com dimensões de 10 km x 10 km, que serviram de amostragem das características de cada unidade litoestratigráfica. A seleção das áreas mapeadas obedeceu a critérios de representatividade geológica e geomorfológica. No primeiro caso, foram escolhidas áreas com exposição de diferentes litofácies e que permitissem associá-las com unidades litoestratigráficas definidas na literatura. Nesse caso, foram escolhidas áreas representativas da Formação Serra Geral, associadas à Bacia Sedimentar do Paraná, e as formações Goio-Erê e Rio Paraná, estas associadas à Bacia Bauru, cada qual aflorando em uma área amostral que serviram como base de fundamentação dos parâmetros morfométricos nas outras bacias hidrográficas. Optou-se por três áreas amostrais, representativas de três formações geológicas, por conta de dúvidas a respeito do enquadramento da formação geológica aflorante na região de Cruzeiro do Oeste, ora tratada com Formação Goio-Erê, ora como Formação Rio Paraná.

A representatividade geomorfológica foi feita com base na escolha de bacias hidrográficas em cada unidade litoestratigráfica, equivalente em dimensões sempre que possível. As bacias hidrográficas escolhidas para análise geomorfométrica (Figura 8) foram selecionadas a partir de uma geração automática de malha aleatória de pontos sobre a área de estudo, e, então, selecionaram-se 11 bacias hidrográficas por cada unidade litoestratigráfica. Gerou-se uma malha em cada unidade litoestratigráfica, então selecionou-se a bacia mais próxima daquele ponto que se enquadrasse no critério de não estar sobreposta a outra unidade litoestratigráfica — ou seja, bacias que estivessem localizadas dentro de uma unidade litoestratigráfica da melhor maneira possível — e que possuísse tamanho adequado às demais bacias.

Figura 8: Bacias hidrográficas selecionadas

Fonte: elaborada pelo autor (2020).

3.1.2 Descrição dos parâmetros morfométricos selecionados

A rede de drenagem é o fator determinante para compreender os diversos processos existentes em uma bacia hidrográfica, ou seja, a drenagem é a principal autora das mudanças no relevo em uma bacia hidrográfica; e as análises morfométricas, em conjunto com um SIG e equações matemáticas, são fundamentais para compreender a dinâmica do relevo nessa bacia hidrográfica (STEVAUX; LATRUBESSE, 2017).

A análise morfométrica da rede de drenagem de cada área foi feita a partir da delimitação de bacias hidrográficas, realizada por meio de procedimentos automáticos existentes na caixa de ferramentas do software QGIS 3.4.14 *with* GRASS 7.8.1, denominados “*r.watershed*” e “*r.water.outlet*”.

Todas as medidas foram extraídas com a utilização das ferramentas existentes no mesmo software, sendo essas medidas a área, perímetro e extensão total dos cursos de água. Porto, Zahed e Silva (1999) definem a extensão dos cursos de água como a soma total do comprimento dos cursos de água em uma bacia. A hierarquização da rede de drenagem foi organizada conforme proposto por Horton (1945) e Strahler (1952).

Os parâmetros geomorfométricos utilizados foram: densidade dos cursos d'água, densidade da drenagem, sinuosidade do curso d'água e razão do relevo. Esses parâmetros foram calculados com base nos valores extraídos das bacias hidrográficas e de seus cursos hídricos. As estatísticas de altitude e declividade de cada bacia foram extraídas por meio da ferramenta “Estatísticas Zonais”, presente na caixa de ferramentas do software QGIS 3.10.4 *with* GRASS 7.8.2.

- **Densidade dos cursos d'água (Ds):** esse índice relaciona a quantidade de cursos d'água com a área total da bacia hidrográfica. Objetiva-se comparar a frequência de cursos d'água existentes em uma determinada área. Com isso, pode-se compreender o comportamento hidrográfico de determinada área, representando a capacidade do surgimento de novos cursos hídricos. Sua drenagem é eficiente quando a bacia possui um canal por quilômetro quadrado (PORTO; ZAHED; SILVA, 1999). Espera-se que esse índice apresente densidades diferentes em cada formação considerando que cada formação possui diferenças geológicas de dureza e porosidade. A equação para esse índice é:

Equação 1 - Densidade dos cursos d'água (Ds)

$$Ds = \frac{N}{A}$$

Em que:

Ds = Densidade dos cursos d'água.

N = Número de cursos d'água.

A = Área da bacia (km²).

- **Densidade de drenagem (Dd):** esse índice é obtido por meio da divisão entre o comprimento total das drenagens e a área total da bacia hidrográfica, indicando, dessa maneira, a eficiência da drenagem nessa bacia (CHRISTOFOLETTI, 1980). Quanto menor a densidade da drenagem, maior será a área de contribuição, logo aumenta o tempo do escoamento superficial, ou seja, uma bacia de drenagem pobre e lenta hidrologicamente. Por outro lado, quando o valor da densidade de drenagem é alto, representa uma bacia altamente dissecada ou drenada, que flui com rapidez em resposta à chuva (GARCEZ, 1974; PORTO; ZAHED; SILVA, 1999). Carvalho (2007 *apud* MANOEL, 2016) classifica como bacia com drenagem pobre aquela com valor menor

que 0,5 km/km²; com drenagem regular, entre 0,5 e 1,5 km/km²; com drenagem boa, entre 1,5 e 2,5 km/km²; com drenagem muito boa, entre 2,5 e 3,5 km/km²; e excepcionalmente bem drenada com um valor superior a 3,5 km/km². Espera-se que esse índice apresente densidades de drenagem inferiores para a Formação Rio Paraná, intermediárias para a Formação Goio-Erê e superiores para a Formação Serra Geral. A fórmula para esse índice, segundo Horton (1945), é:

Equação 2 - Densidade de drenagem (Dd)

$$Dd = \frac{T}{A}$$

Em que:

Dd = Densidade de drenagem.

T = Comprimento total dos cursos d'água (km).

A = Área da bacia hidrográfica (km²).

- **Sinuosidade dos cursos de água (SIN):** esse índice está diretamente relacionado com a velocidade de escoamento dos cursos hídricos, pois quanto mais sinuoso, menor a velocidade de deslocamento da água até a foz (PORTO; ZAHED; SILVA, 1999). Calcula-se esse índice por meio da razão entre o comprimento do canal principal e o comprimento do talvegue — distância, em linha reta, entre a desembocadura do rio e a nascente mais distante. Alves e Castro (2003) apontam que valores de sinuosidade próximos a 1 representam canais retilíneos, e valores entre 1 e 2 indicam canais regulares, irregulares e transicionais, e valores maiores que 2 indicam canais tortuosos. Espera-se que esse índice apresente canais mais retilíneos na Formação Serra Geral devido a seu maior controle estrutural, e canais mais tortuosos na Formação Rio Paraná por apresentar menor controle estrutural e fraturas, espera-se canais mais intermediários na Formação Goio-Erê. Esse índice é obtido por meio da equação:

Equação 3 - Sinuosidade dos cursos de água (SIN)

$$SIN = \frac{L_p}{L_t}$$

Em que:

SIN = Sinuosidade do curso d'água.

L_p = Comprimento do canal principal (km).

L_t = Comprimento do talvegue (km).

- **Razão do relevo (Rr):** esse parâmetro é calculado pela divisão entre a amplitude altimétrica da bacia hidrográfica e o maior comprimento da bacia. Esse índice representa a intensidade do processo erosivo e a capacidade de fluxo de sedimentos da bacia. Entende-se que valores baixos de razão do relevo são indicativos de um embasamento rochoso resistente e com baixo grau de declividade (RAI P. K. et al, 2014). Sobre os valores de referência para esse parâmetro, sabe-se que quanto maior o valor, mais movimentado é o relevo. Piedade (1980) estabelece que valores de razão do relevo entre 0,0 a 0,10 são considerados baixos; valores entre 0,11 a 0,30 são considerados médios; e valores entre 0,31 a 0,60 são considerados altos. Considerando a amplitude altimétrica, espera-se que esse índice apresente maiores valores para as bacias da Formação rio Paraná e menores valores para as bacias da Formação Serra Geral, e valores intermediários na Formação Goio-Erê. Para obter esse índice, utiliza-se a equação:

Equação 4 - Razão do relevo (Rr)

$$Rr = \frac{H}{C}$$

Em que:

Rr = Razão do relevo.

H = Amplitude altimétrica.

C = Maior comprimento da bacia hidrográfica.

- **Razão de alongação (Re):** esse índice relaciona o diâmetro do círculo de mesma área da bacia ao comprimento do eixo. Verifica-se, com esse índice, a suscetibilidade a enchentes na bacia. Mosca (2003) classifica que quanto maior o valor de “Re”, maior a suscetibilidade de ocorrência de enchentes, pois a bacia apresentará uma forma aproximada à de um círculo; e quanto menor os valores de “Re”, menor a suscetibilidade, pois a forma da bacia se mostra mais alongada. Espera-se conhecer a atuação desse índice nas bacias analisadas e descobrir se as formações apresentam tendências de variações na susceptibilidade de enchentes. Esse índice pode ser calculado pela equação:

Equação 5 - Razão de alongação (Re)

$$Re = \frac{1,128 \times A^{0,5}}{L}$$

Em que:

Re = Razão de alongação.

A = Área (km²).

L = Comprimento axial da bacia (km).

Além desses parâmetros, também, foram extraídos alguns dados estatísticos básicos para complementar as análises, conforme apontado nos estudos de Caraminan *et al.* (2019), que derivaram dos estudos apresentados por Horton (1945), Villela e Mattos (1975) entre outros. São eles:

- Área da bacia (km²).
- Altitude máxima e mínima da bacia (m).
- Altitude média.
- Declividade máxima da bacia (°).
- Declividade média da bacia.

A etapa de gabinete ainda foi complementada com a elaboração de tabelas, gráficos e figuras ligados ao tema abordado pela utilização do software Excel, bem como com a utilização do teste de análise estatística (ANOVA) para apoio à interpretação dos resultados obtidos nos cálculos geomorfométricos. Sobre o teste ANOVA, ao realizar a interpretação, se o valor de “F” ultrapassar o “F crítico”, existe diferença significativa entre os grupos (nesse caso, os grupos são os conjuntos de bacias de cada formação geológica), e a média é desigual; e, se o “F” não ultrapassar o “F crítico”, não existe diferença significativa entre os grupos, e a média é igual. Em adição a esse teste, utilizou-se o Teste T de *Student*, para refinar a análise dos dados através da comparação entre dois grupos de bacias hidrográficas.

3.2 Roteiro dos Trabalhos de Campo

As campanhas foram realizadas nas áreas amostrais e constituíram a terceira etapa dessa pesquisa. Os trabalhos de campo visaram à identificação de afloramentos que pudessem ser associados a cada unidade litoestratigráfica reconhecida e descrita na literatura. Contudo, a área pertencente ao Município de Tuneiras do Oeste, a despeito da

amplitude e relevância litoestratigráfica, não era, na ocasião, reconhecida na literatura geológica, necessitando, dessa forma, de uma análise estratigráfica local.

A área do município de Cruzeiro do Oeste foi estudada a partir dos trabalhos realizados por Lima (2019) e Fortes *et al.* (2019). Na área da Formação Serra Geral, realizou-se um campo exploratório no Município de Luiziana, em uma pedreira, na qual se pôde observar o contato existente entre o arenito e o basalto, bem como foi possível realizar registros dos basaltos Serra Geral nas proximidades de Engenheiro Beltrão.

Nos afloramentos rochosos, quando não havia estudos prévios, procedeu-se com a descrição detalhada das litofácies quanto à cor, à granulometria, às estruturas, à composição, às relações de contato e ao conteúdo fossilífero. Essas análises foram agrupadas em perfis estratigráficos, construídos a partir da montagem de sequências de fotos dos afloramentos. As amostras coletadas foram embaladas e codificadas para a análise no laboratório de sedimentologia do GEMA (UEM).

Os trabalhos de campo foram complementados com a checagem de imagens orbitais e com o registro fotográfico dos afloramentos e do relevo local. Eles foram realizados nos meses de julho de 2019, setembro de 2019, novembro de 2019, janeiro de 2020 e novembro de 2020, o que totalizou cinco campanhas em 16 dias e 80 amostras coletadas. O destino foi, principalmente, o afloramento na BR 487, Km 131, onde se realizou a coleta de amostras, a delimitação de três perfis verticais e demais análises de campo, conforme metodologia de Suguio (1973b). No sítio paleontológico de Cruzeiro do Oeste e em seu entorno, realizou-se a busca por novos afloramentos que complementassem a descrição litológica da região.

Em cada perfil, escavaram-se degraus para facilitar a coleta das amostras e descrição das estruturas visíveis. Os degraus foram limpos, fotografados, analisados manualmente, a olho nu, e, então, realizou-se a coleta das amostras. O afloramento possui dimensões aproximadas de 445 metros de comprimento e 13 metros de altura.

O último trabalho de campo realizado em novembro de 2020 contou com um trajeto de, aproximadamente, 400 km que visou a percorrer, de modo abrangente, a área de estudo, objetivando a realização de registros fotográficos e análises dos relevos das bacias hidrográficas selecionadas, bem como compreender o contexto regional de evolução do relevo.

4 CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE NATURAL

A característica que mais se destaca na região noroeste do Paraná, em termos geoambientais, consiste na fragilidade das coberturas pedológicas e dos depósitos quaternários, todos associados aos arenitos cretácicos que servem de substrato, e cujas características petrográficas e mineralógicas favorecem a erosão intensa, levando à formação de grandes voçorocas.

Os processos erosivos, além de extrapolar os limites do Estado do Paraná, causam sérios prejuízos financeiros, pois atingem parcelas expressivas de áreas agropastoris e até urbanas. Apesar desse fenômeno ser comum em solos arenosos frágeis e ter importância destacada em áreas que foram submetidas a uso intenso, na área da presente pesquisa, esse processo está presente, principalmente, junto à Formação Rio Paraná.

4.1 O Contexto Geoestrutural e as Unidades Geológicas do Noroeste do Estado do Paraná

A área de pesquisa é representada por um retângulo com, aproximadamente, 50.000,00 km² de área e compreende duas importantes unidades geotectônicas: a Bacia Sedimentar do Paraná e a Bacia de Sedimentação Bauru. Neste trabalho, denominaremos a segunda, apenas, como Bacia Bauru.

A Bacia Sedimentar do Paraná (Figura 9), com extensão de 1.400.000 km², abrange, parcialmente, os territórios do Brasil, do Uruguai, do Paraguai e da Argentina. Constitui uma bacia intracratônica, formada ao longo do Éon Fanerozóico, e preenchida por rochas sedimentar e ígneas, de idades que variam do Ordoviciano ao Cretáceo, e cuja evolução foi controlada por falhas herdadas do embasamento pré-cambriano (ZALÁN *et al.*, 1990).

O final da deposição da Bacia Sedimentar do Paraná se deu a partir de falhas, predominantemente, de direção NW-SE, durante o rompimento do supercontinente de Gondwana, que promoveu a injeção de corpos intrusivos ígneos e a geração de extenso derrame vulcânico, na maioria, de caráter básico, porém com domínios ácidos subordinados. Esse evento foi denominado, por Almeida (1967 *apud* JÚNIOR, 2007), reativação Wealdeniana ou evento Sul-Atlântico, por Schobbenhaus *et al.* (1984).

No noroeste do Paraná, esses derrames ígneos se encontram margeando o limite leste e sul da área de estudo, sendo formado por basaltos maciços ou amigdaloidais, de cor cinza-escura a negra e textura afanítica, com desenvolvimento de juntas e falhas horizontais e verticais. Segundo Cordani, Sartori e Kawashita (1980), esses basaltos são constituídos por plagioclásios (andesina-labradorita), piroxênios (augita e pigeonita), além de opacos e pequenas quantidades de material intersticial. Gordon Jr. (1943 *apud* FILHO; KREBS; GIFFONI, 2009) classificou essa sequência vulcânica como Formação Serra Geral.

A sequência ígnea da Formação Serra Geral desenvolveu um extenso pacote com até 1.700 m de espessura, o que propiciou abatimentos influenciados por altos internos, representados pelos alinhamentos dos rios Paranapanema e Tietê (FÚLFARO, 1974; COIMBRA *et al.* 1977).

O abatimento interno da Bacia Sedimentar do Paraná levou à formação, segundo Fúlfaro e Barcelos (1993), de extensa bacia fechada, de caráter endorréico (fase *rift*), através de grábens interiores, classificada por Kingston *et al.* (1983) como bacia do tipo intracratônica, continental interior e de subsidência simples.

A depressão originada por abatimento termal, formada no Cretáceo Superior, entre o Coniaciano e Maastrichtiano, foi denominada de Bacia Bauru e constituiu o sítio deposicional das coberturas suprabasálticas neocretáceas do Grupo Caiuá e do Grupo Bauru, abrangendo uma área de 370.000 km² e uma sequência sedimentar predominantemente arenosa, com espessura máxima preservada de 300 m.

Figura 9 - Localização da Bacia Bauru na América do Sul



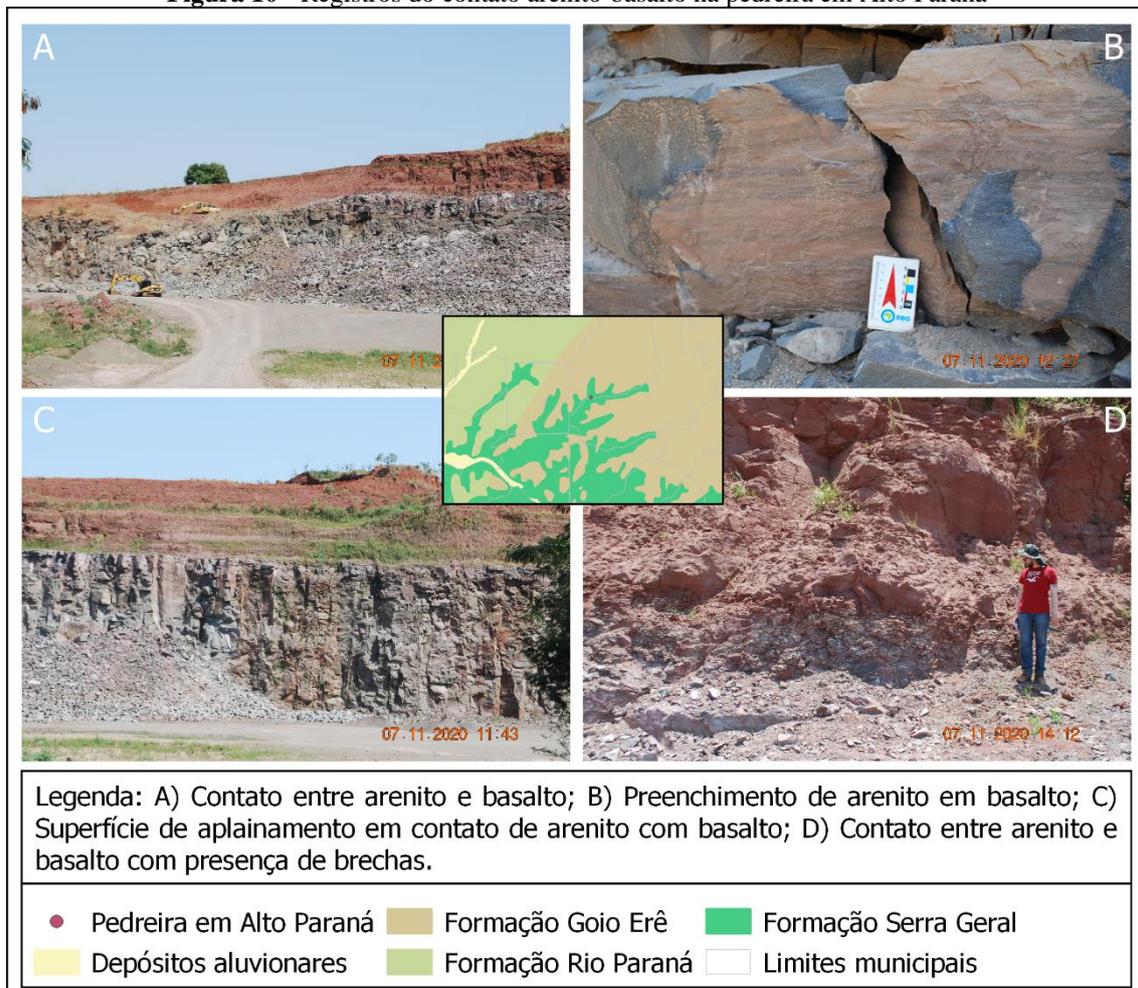
Fonte: Menegazzo (2016, p. 10).

No noroeste do Paraná, Ferreira (1982) destaca que o limite meridional da Bacia Bauru é coincidente com o alinhamento do Rio Piquiri, cuja expressão geomorfológica mais importante constitui as Sete Quedas, no Rio Paraná, hoje, inundada pelo lago de Itaipu, além de estruturas regionais, como o Arco de Ponta Grossa.

Um dos campos de reconhecimento da área de estudo resultou em uma contribuição importante quanto à compreensão do relevo norte-paranaense. Realizou-se uma visita a uma pedreira em Alto Paraná, na qual é possível verificar o contato entre o arenito e o basalto em uma altitude de, aproximadamente, 356 m (Figura 10), representando o substrato geológico da área de Paranaíba. Nesse registro, foi possível identificar uma superfície de aplainamento no contato arenito/basalto. O basalto se mostrou fraturado e, em alguns locais, preenchidos com fragmentos de arenito e fragmentos finos intermediários.

O Grupo Caiuá é formado por uma sequência arenosa, relacionada a ambiente eólico, no centro da bacia e áreas periféricas de *sand sea*, sujeitas à oscilação do nível freático raso (FERNANDES; COIMBRA, 1994).

Figura 10 - Registros do contato arenito-basalto na pedreira em Alto Paraná



Fonte: o autor (2020).

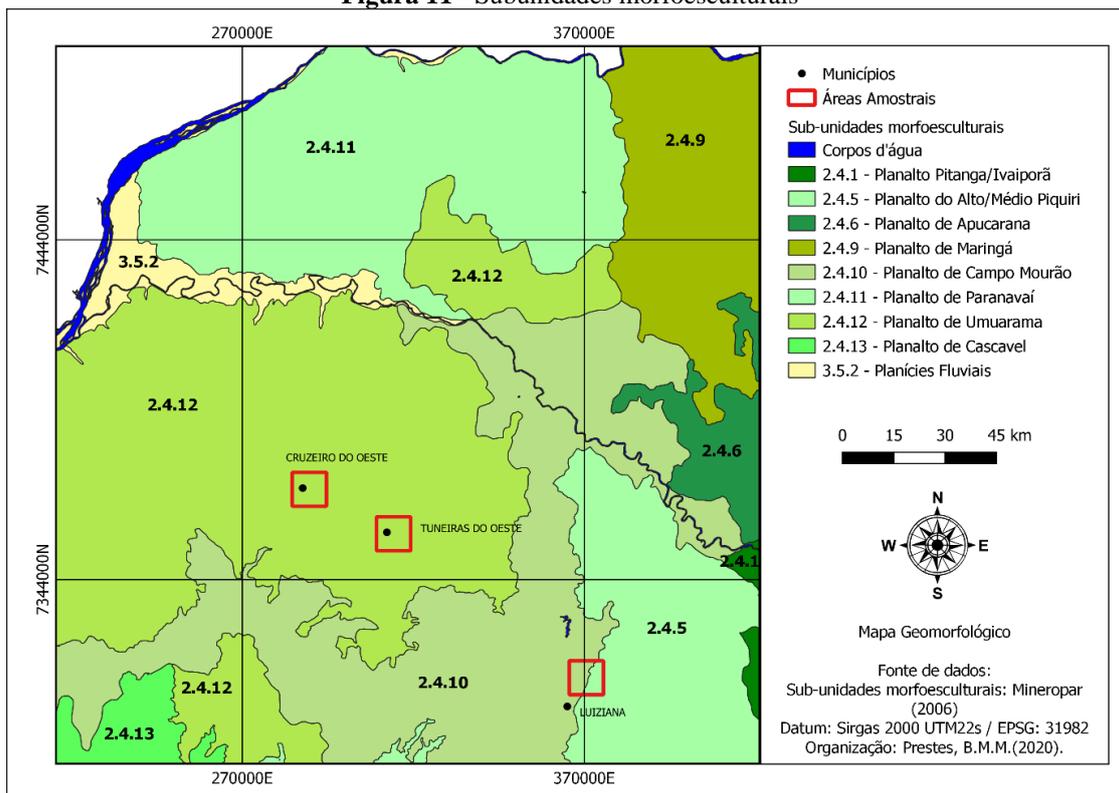
4.2 Aspectos Morfofisiográficos e Superfícies de Erosão no Contexto da Evolução Geomorfológica Regional

A região noroeste do Paraná se encontra inserida no Terceiro Planalto Paranaense (MAACK, 1968) e forma uma ampla superfície, com leve inclinação para oeste e norte, acompanhando a inclinação das camadas da Bacia Sedimentar do Paraná. Apresenta limites a partir dos fronts escarpados de *Cuestas*, a leste, e da calha do Rio Paraná, a oeste. A maior parte da área planáltica tem por embasamento os basaltos da Formação Serra Geral, sendo que os arenitos do Grupo Caiuá ocupam o setor noroeste.

A transição entre os planaltos basálticos, associados à Bacia Sedimentar do Paraná, e os planaltos areníticos, associados à Bacia Bauru, é transicional e sem mudanças topográficas bruscas. Contudo, o contato arenito-basalto é bastante irregular e relacionado à escavação pela drenagem, que propiciou o recuo erosivo dos arenitos na borda da Bacia Bauru, o isolamento dos arenitos junto aos topos e médias vertentes e os basaltos nos fundos de vale.

O noroeste do Paraná apresenta um mosaico de unidades de relevo (Figura 11) identificado pela MINEROPAR (2005a), quais sejam: a) Planalto Pitanga/Ivaiporã; b) Planalto do Alto/Médio Piquiri; c) Planalto de Apucarana; d) Planalto de Maringá; e) Planalto de Campo Mourão; f) Planalto de Paranavaí; g) Planalto de Umuarama; h) Planaltos Residuais da Formação Serra Geral; i) Planícies Fluviais.

Figura 11 - Subunidades morfoesculturais



Fonte: elaborada pelo autor (2020).

A despeito das variações litológicas que compõem o quadro geológico local, a área é caracterizada pela monotonia das formas de relevo, formadas por colinas baixas, com coberturas latossólicas no topo das vertentes e neossolos nos fundos dos vales, onde podem aflorar o embasamento rochoso. Esse relevo favorece a formação de coberturas pedológicas espessas, com destaque para os latossolos, argissolos, nitossolos e neossolos e, de modo esporso, os gleissolos, neossolos quartzarênicos, planossolos e organossolos (Figura 12).

Correlacionados aos topos das colinas, há os latossolos, solos, geralmente, bem intemperizados, ácidos, bem evoluídos, com pouca resistência ao intemperismo, bem drenados e muito profundos, apresenta constituição por material mineral com horizonte B latossólico, imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte diagnóstico superficial (SANTOS; FORTES; MANIERI, 2009). Pode-se encontrar esse tipo de solo bem distribuído pelos topos de relevo na área de estudo

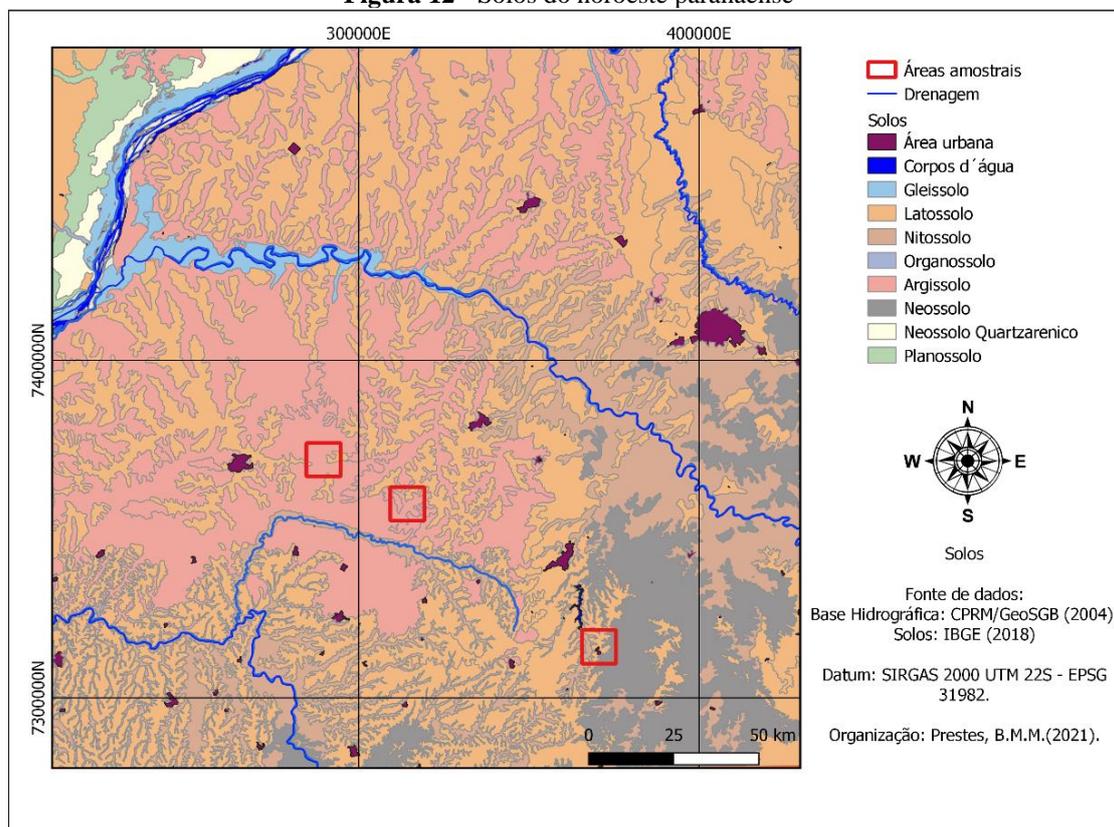
Os solos presentes, de maneira geral, nas médias vertentes são os argissolos, cuja profundidade é variável, apresentam drenagem forte a imperfeita. São constituídos por material mineral, com a presença de horizonte B textural de argila imediatamente abaixo

de qualquer perfil superficial. São solos mais frequentes nas planícies entre os cursos de água do Ivaí e Piquiri.

Os nitossolos, caracterizados por serem solos profundos e bem drenados, constituídos de material mineral, com horizonte B nítico e textura argilosa, podem ser encontrados, mais frequentemente, no montante do curso hídrico do Rio Ivaí, principalmente, sobre a Formação Serra Geral.

Mais concentrado a sudeste na área de estudo, principalmente, sobre a Formação Serra Geral, encontram-se os neossolos, característicos por se desenvolverem junto à baixa vertente e apresentarem constituição mineral ou horizonte orgânico pouco espesso, com pouca alteração do material originário.

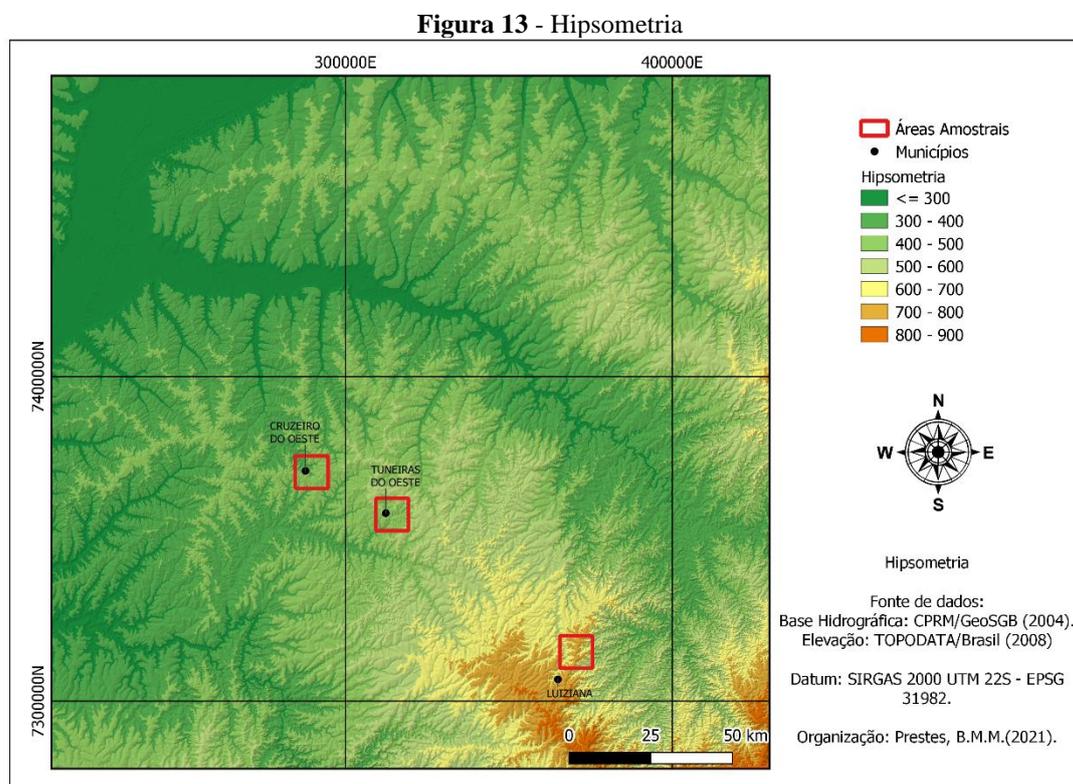
Figura 12 - Solos do noroeste paranaense



Fonte: elaborada pelo autor (2021).

Em relação ao relevo e à hipsometria (Figura 13), a área apresenta um gradiente de, aproximadamente, 650 m, com altitudes mínimas registradas em valores próximos a 250 m, e máximas, a 900 m sobre o nível do mar. As principais altitudes acima de 600 m estão localizadas na parte sul-sudeste da área, ao sul do município de Campo Mourão, marcando os divisores de águas dos rios Ivaí e Piquiri. As altitudes decrescem em sentido

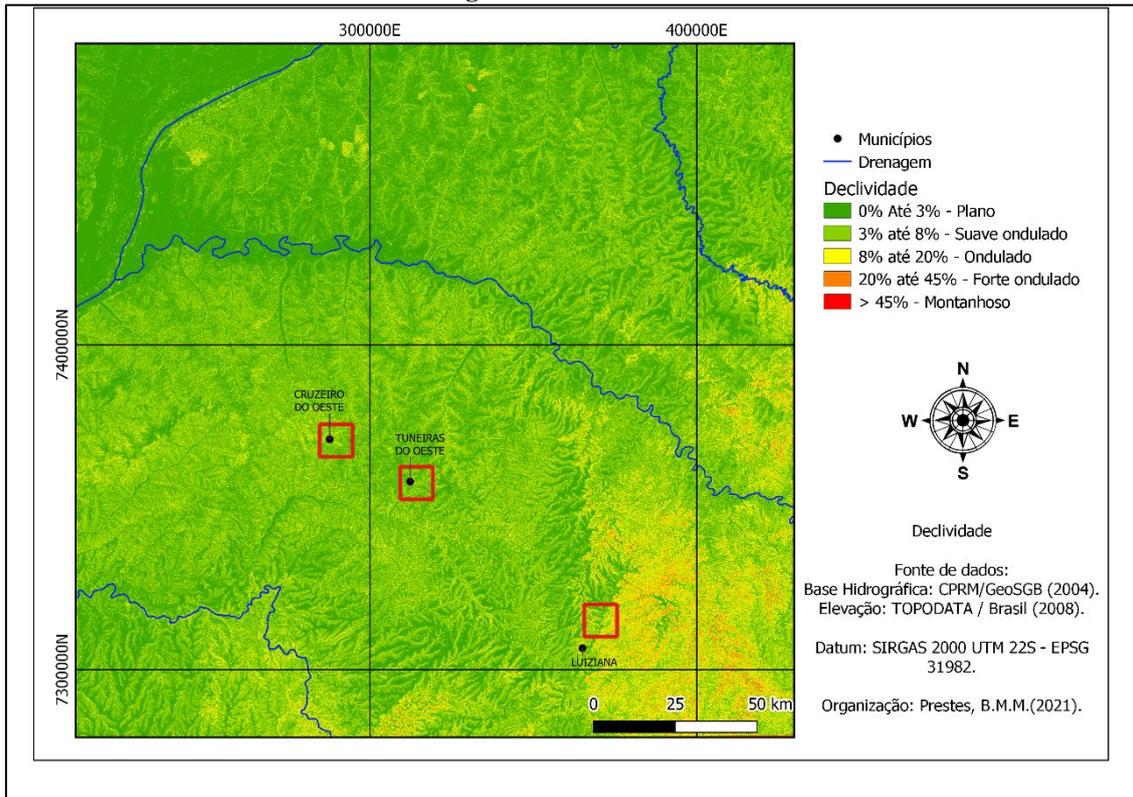
norte e oeste, entre 200 a 300 metros, que compreendem os vales do Rio Piquiri, ao sul, e os afluentes do Rio Ivaí, ao norte. Entre os rios Ivaí e Paranapanema, os divisores de águas não ultrapassam os 500 m, com poucas exceções nas proximidades do município de Maringá e dos Três Morrinhos, no município de Terra Rica.



Fonte: elaborada pelo autor (2020).

De modo geral, a declividade (Figura 14) se concentra entre os valores de 3 a 8%, por se tratar da região mais central da Bacia Sedimentar do Paraná. É possível observar valores mais baixos (0 a 3%) em calhas e várzeas de rios, como nos rios Paraná e Ivaí. Em menor quantidade, valores mais altos de declividade (20 a 45%) podem ser encontrados em um ponto isolado, identificado no município de Terra Rica, compreendido pelo Morro dos Três Irmãos, e ao sudeste da área de estudo, caracterizado por maiores altitudes e formação geológica basáltica, oriunda do Grupo Serra Geral.

Figura 14 - Declividade

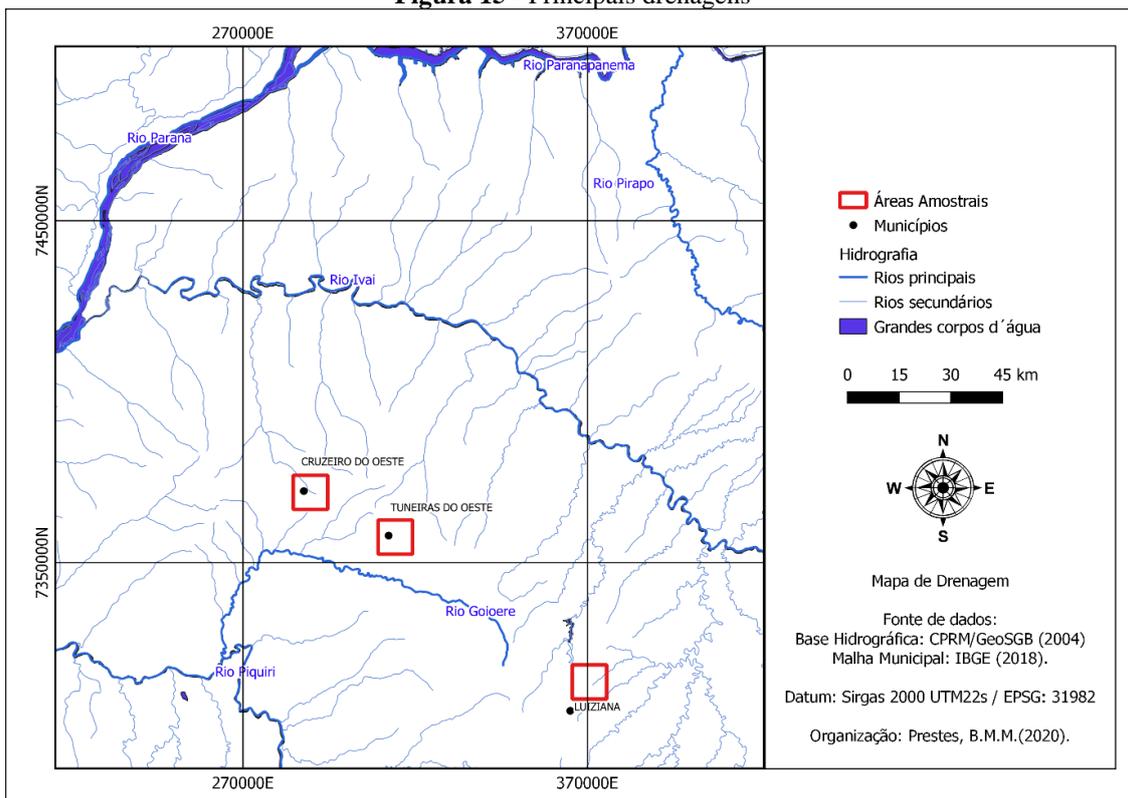


Fonte: elaborada pelo autor (2020).

O Rio Paraná é o principal sistema hidrográfico regional, constituindo o limite oeste e noroeste, e é associado a sistemas de falhas antitéticas, descritas por Fortes et al. (2007), em que o Bloco Alto se encontra representado pelos planaltos paranaenses, e o Bloco Baixo, pela planície do Rio Paraná, no Mato Grosso do Sul.

Os sistemas fluviais, representados pelos rios Paranapanema, Ivaí, Piquiri, Goio-Erê e Pirapó, constituem os principais cursos fluviais que drenam a área de estudo e cujos níveis de base se encontram na confluência do Rio Paraná (Figura 15).

Figura 15 - Principais drenagens



Fonte: elaborada pelo autor (2020).

5 CARACTERIZAÇÃO MORFOFISIOGRÁFICA DAS ÁREAS DE REFERÊNCIA

As áreas de referência compreendem três setores definidos por quadrados, com área de 100 km², localizados nos municípios de Luiziania, Tuneiras do Oeste e Cruzeiro do Oeste, todos próximos à borda sul da Bacia Bauru, no contato com a Bacia Sedimentar do Paraná.

Os três setores correspondem a pontos de referência cujo detalhamento geológico serviu como parâmetro para comparações com outras bacias hidrográficas distribuídas ao longo da região noroeste do Paraná.

A bacia hidrográfica de referência, selecionada na área junto ao município de Cruzeiro do Oeste (Rio das Antas), apresenta altitudes entre 300 a 500 metros. A bacia localizada na área junto ao município de Tuneiras do Oeste, denominada Rio Mouro, concentra seus valores de altitude entre 400 a 600 metros. O relevo na terceira bacia, de nome Rio Chupador, na área amostral, localizada no Grupo Serra Geral, apresenta um contraste na hipsometria, contendo altitudes que variam entre 480 e 810 metros (Figura 16).

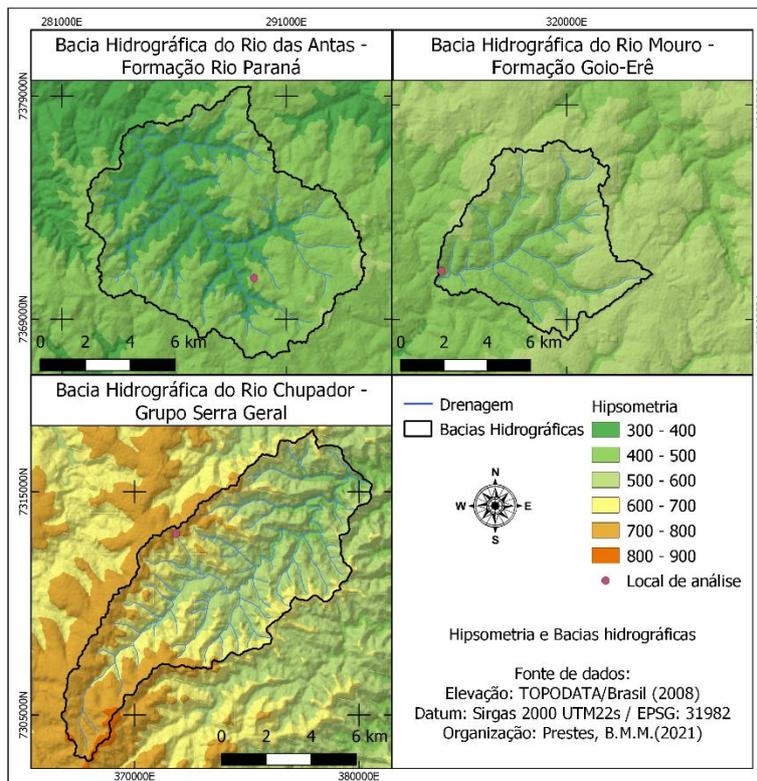
Todas as três áreas de referência encontram-se associadas ao divisor de águas das bacias do Rio Ivaí, localizado ao norte, e da bacia do rio Piquiri, ao sul. O Rio Goioerê, constitui o principal afluente do rio Piquiri e acompanha paralelamente as áreas de Tuneiras do Oeste e Cruzeiro do Oeste.

A despeito da monotonia do relevo nas três áreas amostrais, sem passagem brusca por variações topográficas importantes, as áreas são definidas por variações geológicas bem definidas, quais sejam: Formação Serra Geral no setor de Luiziania, Formação Goio-Erê em Tuneiras do Oeste e Formação Rio Paraná em Cruzeiro do Oeste.

Essas formações apresentam aspectos distintos em termos de resistência mecânica dos materiais que as compõem. No caso dos arenitos das formações Goio-Erê e Rio Paraná, essa resistência foi bem definida a partir de observações de campo e testes com reagentes, como o Peróxido de Hidrogênio, que constatou arenitos com presença de cimento carbonático, que empresta a esses materiais maior resistência quando comparado aos arenitos da Formação Rio Paraná, nos quais não foram detectados conteúdos significativos de carbonatos, conforme Lima (2019). A Formação Serra Geral corresponde à litologia que se destaca em relação às demais por se tratar rochas ígneas de caráter básico, ou seja, com teor de SiO² inferior a 50%, representada por basaltos

toleíticos, que, segundo Bitencourt e Nardi (1993), é caracterizada por uma associação toleítica-transicional para os basaltos situados ao norte do alinhamento do Rio Piquiri.

Figura 16 - Hipsometria das bacias hidrográficas das áreas amostrais



Fonte: elaborada pelo autor (2020).

5.1 Contexto Geológico da Área de Referência Luiziana

A área de referência Luiziana tem como principal curso fluvial o Rio Chupador, que forma a bacia homônima, com área de 83,26 km². Esta apresenta formato alongado ou elíptico, com comprimento axial de 22,37 km, e largura máxima de 7,1 km, com direção SW-NE, e apresenta altitudes que variam de 429 m a 820 m.

O relevo é caracterizado por colinas com declives fortes, e a declividade média é de 9°, porém com locais registrando 37,36° de declividade máxima. Os topos são convexos, com coberturas formadas por latossolos e neossolo de cor marrom, conforme mapeamento pedológico (Figura 12). Os fundos dos vales se caracterizam pela presença de neossolos, e alguns apresentam afloramentos de basaltos da Formação Serra Geral.

O principal ponto de análise e descrição do afloramento está representado por uma vertente com, aproximadamente, 10 metros de extensão e com altura de até 5 metros, situado em uma cabeceira da vertente, na área rural do município de Luiziana (Figura 17).

O afloramento é constituído por, aproximadamente, 1 metro de solo sobre uma espessa camada de basalto alterado em processo erosivo. A vertente apresenta um processo erosivo bem desenvolvido, podendo ser considerada início de uma voçoroca. Ela não aprofundou mais pois alcançou o arcabouço de basalto pedogenizado, apresentando maior resistência e impedindo o aprofundamento dessa erosão; no entanto, as margens, constituídas majoritariamente de latossolo, demonstram avanço erosivo local (Figura 18).

Figura 17 - Afloramento de basalto em fundo de vale com início de voçoroca



Fonte: o autor (2019).

Figura 18 - Processo erosivo na Formação Serra Geral



Fonte: o autor (2019).

A Formação Serra Geral foi denominada por Licht e Arioli (2018) como Grupo Serra Geral, e a Fácies Paranapanema foi elevada a Formação Paranapanema. Ela se localiza no noroeste do Estado do Paraná, suas rochas afloram numa extensa faixa do norte, nas margens do Rio Paranapanema, até a região de Foz do Iguaçu. No entanto, apesar da elevação de Formação para Grupo, nesta pesquisa, optou-se por manter o termo Formação Serra Geral.

Litologicamente, essa formação é composta por derrames do tipo *pahoehoe* (lavas com aspectos de corda), tabulares, com vários metros de espessura. Há o predomínio de tipos porfíricos, com quantidades subordinadas de texturas africanas e subafricanas. Há uma grande proporção de cristais sobre a matriz — matriz vítrea. Encontram-se, com frequência, pseudomorfos isolados ou agrupados de olivina. Os tamanhos de grãos mais frequentes são os microfenocristais, já os fenocristais são raramente encontrados. Dessa maneira, compreende-se um regime caracterizado por lentas perdas de temperatura e altas taxas de efusão (LICHT E ARIOLI, 2018).

A respeito dos parâmetros litoquímicos, essa formação é constituída, conforme o ITCG (PARANÁ, 2018), majoritariamente, por derrames de basaltos e andesibasaltos subalcalinos e, secundariamente, por traquibasaltos alcalinos do Tipo 1 CN — caracterizado por predomínio de lavas enriquecidas em elementos compatíveis, como Cr, Ni, Cu, V, Au, Pt e Pd, e empobrecidos em elementos incompatíveis).

A Formação Serra Geral compreende um extenso derrame de lavas assentado sobre os arenitos da Formação Botucatu. Cordani, Sartori e Kawashita (1980) ressaltam que esses arenitos estão presentes nos basaltos intercaladamente, representando a persistência do ambiente desértico no período de vulcanismo Serra Geral. Tal situação pode ser exemplificada pelo arenito incrustado no basalto exposto na Figura 9. Petrograficamente, esses autores apontaram que os basaltos dessa formação são compostos por minerais variados ao longo de sua área de abrangência, podendo ser constituídos por plagioclásios, piroxênios, pequenas percentagens de quartzo e feldspato alcalino e, raras vezes, olivina.

5.2 Contexto Geológico da Área de Referência Tuneiras do Oeste

A área de referência Tuneiras do Oeste tem como principal curso fluvial o Rio Mouro, que forma a bacia homônima, com área de 53,46 km². Esta apresenta formato

radial, com comprimento axial de 9,96 km e largura máxima de 8,7 km, com direção NE-SW, e apresenta altitudes que variam de 402 m a 582 m.

O relevo é caracterizado por colinas suave-onduladas, com vertentes convexas, e declividade média de 4°. Os topos são convexos, com cobertura de 2 a 2,5 m de espessura, formada de latossolos e argissolos de cor marrom. Os fundos dos vales se caracterizam pela presença de neossolos.

O principal ponto de análise e descrição dos componentes está representado por um corte de estrada com 445 metros de extensão e com altura de até 12 m, situado na rodovia BR-487, Km 131 (Figura 19). O afloramento é constituído por arenitos com variação destacada dos litossomas, cujo termo é aqui empregado, de maneira informal, para designar corpos de arenito de aspecto tabular, cuja formação está associada a diferentes condições de ambientes de sedimentação.

O afloramento é separado em dois planos por um corte existente no terreno. Esse corte, provavelmente, foi feito durante o processo de abertura da estrada e permaneceu para favorecer o escoamento da água da chuva.

No plano superior, concentram-se, em sua maioria, solos recentes e, em menor ocorrência, a unidade interdunas úmidas (di), contendo linhas de concreção que continuam no plano inferior.

No plano inferior, encontra-se a maior variedade de unidades litoestratigráficas. Na porção esquerda da Figura 19, não foi possível identificar a unidade presente; em sequência, para a direita na colagem, tem-se uma pequena exposição de *foresets* de dunas de médio a pequeno porte (df), junto com *Sabkhas* (Sb) nas margens de uma unidade, com acamamento em formato acanalado, denominado barras de canal (bc), apresentando linhas acanaladas de concreções ferruginosas, e seu contexto de unidade se encontra sobreposto a uma unidade, até o momento, não identificada.

Na porção central do plano inferior, encontra-se a continuação da unidade litoestratigráfica interduna úmida (di), com continuação de linhas de concreção.

Na parte direita do plano inferior, encontra-se uma concentração de barras de canal (bc), contendo acamamentos de ângulos variados, indicando deposições sedimentares de momentos distintos. Na sequência, é possível encontrar *foresets* de dunas de médio a pequeno porte (df), contendo angulações variadas de sedimentação. E, na continuidade, à direita desse perfil, novamente, tem-se uma unidade ainda não identificada, sem traços representativos de unidades similares.

Figura 19 - Corte de estrada com afloramento da Formação Goio-Erê, em que se destacam as variações de litossomas e a indicação dos perfis usados para análise



Fonte: o autor (2020).

Os arenitos afloram próximos ao topo da colina, na parte jusante da bacia hidrográfica, onde fazem contato em discordância com material pedogenizado arenoso, com cerca de 1,80 m de espessura. Apesar das variações de litossomas, não foram observadas variações significativas na morfologia da vertente, cuja convexidade é marcada pela ausência de rupturas de declive ou ombreiras.

O corte é representado por arenitos, em que predomina a areia fina e muito fina. A base é representada por feição tabular, com laminações maciças e plano-paralelas tênues e se distribui, lateralmente, ao longo de todo o afloramento, com intercalações de crostas carbonáticas, que se destacam em alto-relevo no perfil, indicando níveis freáticos bem demarcados sin e/ou pós-deposicionais (Figura 20). Entre as crostas, o arenito é maciço, porém estratos plano-paralelos tênues podem estar presentes onde a cimentação carbonática é mais expressiva. A presença de cimento carbonático ocupando os poros entre os grãos de areia, bem como a presença de estruturas sedimentares convolutas e de carga sugerem um ambiente interdunas úmidas.

Figura 20 - Crostas carbonáticas, com destaque em alto relevo, associadas a níveis freáticos pouco profundos em ambiente interduna úmida



Fonte: o autor (2021).

Os dados granulométricos desse litossoma não apresentaram uma consistência ordenada nas porcentagens (Tabela.1). O que se pode concluir é que a areia fina é predominante nessa litofácies; a areia muito fina, em conjunto com o silte, aparecem em valores percentuais menores; enquanto a areia média e a argila apresentaram valores baixos, com exceção de um pico de areia média na amostra A-5. A areia grossa não apresentou percentual representativo nessa litofácies.

O contato entre as sequências interdunas úmidas com a sequência superior se dá a partir de descontinuidade de 1ª ordem, em que faz limite abrupto para litossoma, com laminações plano-paralelas bem definidas. É constituído de arenito quartzoso, com película de óxido de ferro, sem a presença de cimentação carbonática, sugerindo condições deposicionais em ambiente interdunas secas.

A granulometria da sequência interdunas secas (Tabela 2) apresentou valores de porcentagem maiores para a areia fina, aproximadamente, entre 41% e 65%. O silte e a areia muito fina permaneceram com porcentagens aproximadas, entre 12% e 21%, e a areia média apresentou valores entre 2% e 25%

Tabela 1 - Porcentagem de cada fração granulométrica por amostra na litofácia interdunas úmidas

Frações granulométricas	Amostras																		
	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	A-7	A-8	A-9	A-10	A-11	A-12	A-13	A-14	A-15	A-16	A-17	A-18	A-19
Areia grossa	1,6%	0,1%	0,8%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,7%	0,1%	0%	0,2%	0%	0,1%	0%	0,1%	0%	0%	0,1%
Areia média	8%	6%	14,2%	9,1%	25,9%	10,6%	10,6%	0,5%	2,2%	0,5%	0,3%	4,3%	2,4%	9,5%	3,6%	13,3%	7%	1,6%	7,3%
Areia fina	34,4%	43,9%	35,4%	42%	32,8%	42,6%	37,3%	33,0%	37,1%	40,7%	40,8%	38,3%	43,5%	38,3%	42,1%	46,7%	41%	38,1%	37,4%
Areia muito fina	18,1%	15,9%	18,1%	16,2%	14,9%	15,4%	19,2%	21,4%	25,2%	19,6%	21,6%	20,3%	22,9%	22,4%	21,5%	15,8%	22,6%	22,7%	25,2%
Silte	25,3%	22,9%	20,2%	21,7%	18%	23,5%	26,1%	36,4%	27,1%	31,5%	31,6%	28,9%	24%	23,8%	26,3%	16,6%	20,3%	27,9%	20,3%
Argila	12,6%	11,3%	11,4%	11%	8,3%	8%	6,7%	8,6%	7,8%	7,5%	5,7%	8%	7,2%	5,9%	6,4%	7,4%	9%	9,7%	9,7%

Fonte: elaborada pelo autor (2021).

Tabela 2 - Porcentagem de cada fração granulométrica por amostra na litofácia interdunas secas

Frações granulométricas	Amostras																		
	A-39	A-40	A-41	A-42	A-43	A-44	A-67	A-68	A-69	A-70	A-71	A-72	A-73	A-74	A-75	A-76	A-77	A-78	A-79
Areia grossa	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0,2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Areia média	16,5%	8,8%	11,2%	6%	2%	6,3%	5%	18,9%	3%	17,5%	4,9%	20,7%	5,1%	25,8%	5,7%	11,8%	10,7%	13,5%	5,70%
Areia fina	28,2%	51,8%	37,1%	53%	46,1%	41,4%	65,9%	51,1%	64%	50,1%	59,6%	45,5%	65,7%	45,9%	65,6%	49,8%	53,1%	40,5%	49%
Areia muito fina	16,3%	12,9%	19,5%	13,2%	19,9%	23,4%	9,5%	10,4%	13,3%	12,7%	13,7%	14,8%	8,6%	9,60%	12,9%	16%	9,8%	17,6%	15,9%
Silte	16,5%	15,5%	18,6%	15,9%	21,1%	18,2%	11,9%	9,6%	8,9%	8,3%	9,1%	7,9%	12,9%	8,40%	6,6%	10,4%	13,8%	12,3%	19,8%
Argila	12,5%	10,9%	13,6%	11,8%	10,9%	10,7%	7,8%	10,1%	10,8%	11,3%	12,8%	11%	7,6%	10,3%	9,1%	12%	12,6%	16,2%	9,60%

Fonte: elaborada pelo autor (2021).

Na parte direita do corte, a sequência interduna seca se encontra sobreposta por *foresets* de dunas de médio porte, de cerca de 3,50 metros de altura, em contato transicional plano abrupto. Essa sequência é formada por arenito fino com estratificação cruzada e, internamente, por laminações cruzadas, tangenciais à base no contato com a sequência interduna seca, e, lateralmente, com sequências de lençóis de areia. O arenito é quartzoso de grãos finos a muito finos, sem cimentação, porém com abundantes estruturas sedimentares, como marcas onduladas na suíte de estratos basais, bem como de fluxos de grãos e micro-ondulações com formação de estruturas de arrasto em face frontal de duna (Figuras 21, 22 e 23).

Figura 21 - Litofácies de *foresets* de dunas com estratificação cruzada sobreposta a litofácies interdunas e sotoposta a litofácies de canal fluvial



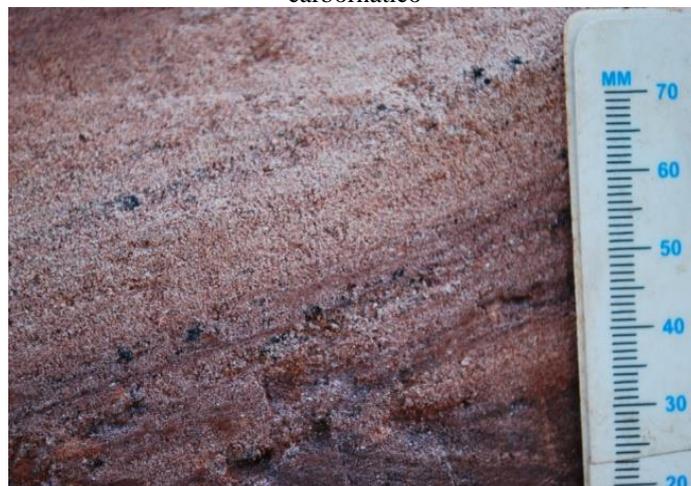
Fonte: o autor (2020).

Figura 22 - Laminações cruzadas de *foresets* de dunas sobrepostas a laminações plano-paralelas com estruturas de carga de ambiente interduna



Fonte: o autor (2020).

Figura 23 - Detalhe de laminações com mergulho de *foreset* de dunas, com ausência de cimento carbonático



Fonte: o autor (2020).

A litofácies *foreset* de dunas (Tabela 3) apresenta o predomínio de areia fina, com porcentagem variando de 29% a 75%. Secundariamente, ocorrem a areia muito fina, variando, aproximadamente, entre 6% e 30%, a areia média, entre 1% e 31%, o silte, entre 5% e 24%, e a argila, entre 6% e 12%.

Tabela 3 - Porcentagem de cada fração granulométrica por amostra na litofácia *foreset* de dunas no perfil 2

Frações granulométricas	Amostras										
	A-56	A-57	A-58	A-59	A-60	A-61	A-62	A-63	A-64	A-65	A-66
Areia grossa	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1,8%	0%	0%
Areia média	11,1%	1,1%	10,4%	4,2%	14%	2,5%	5,1%	8,8%	31,1%	4,3%	8,6%
Areia fina	57,9%	75,9%	59,5%	68,4%	59,1%	70,6%	52,2%	68,9%	33,8%	34,7%	29,4%
Areia muito fina	13,8%	8,7%	12,4%	9,6%	11,2%	9,7%	18,7%	6,5%	10%	24,6%	30,6%
Silte	10,4%	6,6%	6%	7,9%	7,6%	7,8%	12,1%	5%	15,2%	24%	18,6%
Argila	6,8%	7,6%	11,8%	9,8%	8,1%	9,3%	11,9%	10,8%	8,1%	12,5%	12,8%

Fonte: elaborada pelo autor (2021).

A sequência lençóis de areia ocorre sobreposta à sequência interduna seca, em contato lateral com *foresets* de dunas, em contato tangencial curvo e de aspecto cuneiforme. A sequência lençóis de areia forma um pacote tabular de arenito fino a muito fino, com ausência de cimentação carbonática.

As litofácies lençóis de areia apresentam, como fração granulométrica predominante, a areia fina, em porcentagens que variam entre 29% até 68%. Secundariamente, ocorrem a areia muito fina e o silte, cujos teores variam entre 5% e 30%. A areia média ocorre entre valores de 1% e 12%. O alto conteúdo de frações finas, do tamanho areia, é condizente com o ambiente eólico, associado a frentes de dunas (Tabela 4).

Tabela 4 - Porcentagem de cada fração granulométrica por amostra na litofácia de lençóis de areia no perfil 2

Frações granulométricas	Amostras					
	A-50	A-51	A-52	A-53	A-54	A-55
Areia grossa	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Areia média	4,1%	0,8%	3,8%	0,7%	7,6%	2,3%
Areia fina	59,5%	67,6%	61,6%	68,4%	58,3%	60,6%
Areia muito fina	15,2%	11,7%	13,9%	10,5%	14,3%	12,4%
Silte	9,9%	11,7%	13,9%	6,9%	8,2%	17,1%
Argila	11,4%	8,2%	6,9%	13,5%	11,6%	7,7%

Fonte: elaborada pelo autor (2021).

A sequência lençóis de areia transiciona, em direção ao topo, para litossoma de geometria acanalada, de arenito fino, com percentuais de areia média de até 22% (Figura 24). Não foi observada cimentação carbonática, porém o aspecto acanalado e as intercalações milimétricas de areia média sugerem um possível paleocanal, formado em condições de precipitação esporádica.

Figura 24 - Laminações plano-paralela de litofácies do canal fluvial



Fonte: o autor (2020).

A fração granulométrica predominante (Tabela 5) nessa litofácia de canal fluvial é a areia fina, com porcentagens que variam entre 38% e 62%. Secundariamente, ocorrem a areia média, que varia entre 5% e 22%, a areia muito fina, entre 11% e 17%, a argila, entre 8% e 18%, e o silte, entre 7% e 14%.

Todas as sequências sedimentares observadas no afloramento demonstram corpos areníticos, cuja gênese está associada a condições eólicas continentais, corroborando com estudos já realizados sobre a Formação Goio-Erê por Fernandes e Coimbra (1996).

A característica mais conspícua, observada para fins de análise comparativa com dados morfométricos, é a variabilidade de litossomas, cujos arenitos são marcados pela presença de cimentação carbonática, que confere maior resistência mecânica à rocha. A maior parte dos litossomas, porém, são de arenitos de caráter mais friável, com ausência de cimento carbonático, e representados pelas sequências estratigraficamente superiores.

Tabela 5 - Porcentagem de cada fração granulométrica por amostra na litofácia de canal fluvial

Frações granulométricas	Amostras																		
	A-20	A-21	A-22	A-23	A-24	A-25	A-26	A-27	A-28	A-29	A-30	A-31	A-32	A-33	A-34	A-35	A-36	A-37	A-38
Areia grossa	0%	0%	0%	0,1%	0,1%	0,1%	0%	0%	0,1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Areia média	16,2%	5,6%	10,5%	7,4%	22,7%	6,6%	18,9%	15,2%	21,5%	10,4%	20,4%	12,7%	14,0%	5,5%	16,6%	12,7%	16,8%	6,9%	20,5%
Areia fina	41,3%	52,2%	45,6%	54,3%	38,4%	58,8%	40,5%	47,1%	38,8%	52,5%	39,5%	44,6%	44,4%	62,9%	49,9%	53,2%	42,1%	60,9%	46,4%
Areia muito fina	16,6%	15,3%	17,8%	13,4%	16,1%	12,6%	17,2%	14%	15,1%	13,8%	14,8%	14,9%	17,2%	11,3%	13,6%	11,3%	18,4%	11%	14,5%
Silte	7,7%	11%	9,8%	9,6%	13,7%	9,8%	10%	7,9%	12,6%	7,4%	9,2%	11,7%	14,8%	7,4%	8,1%	13,9%	13,6%	12%	8,2%
Argila	18,1%	15,8%	16,3%	15,2%	9%	12,2%	13,3%	15,7%	12%	15,9%	16,1%	16,1%	9,6%	12,9%	11,9%	8,9%	9,1%	9,2%	10,4%

Fonte: elaborada pelo autor (2021).

5.3 Contexto Geológico da Área de Referência Cruzeiro do Oeste

A área de referência Cruzeiro do Oeste tem como principal curso fluvial um curso de primeira ordem, pertencente à bacia do Rio da Antas, que forma uma bacia hidrográfica com cerca de 93 km², com interflúvios baixos, de vertentes convexas e declividade média de 4,75°, porém pode alcançar um máximo de 19,17°, com coberturas arenosas e friáveis de latossolos e argissolos nos topos e nas médias vertentes, com afloramento de arenito nos fundos dos vales. As altitudes variam entre 300 e 500 m (Figura 25).

Figura 25 - Vista parcial da vertente com a estrada de acesso ao afloramento na parte direita da foto



Fonte: o autor (2019).

O afloramento utilizado como modelo de referência descritivo para subsidiar a análise das demais bacias hidrográficas está localizado na parte montante da bacia do Rio das Antas, entre dois canais de primeira ordem, que afloram em corte de estrada secundária, próximos à cidade de Cruzeiro do Oeste.

O arenito aflora da base da vertente até o topo, entre altitudes de 382 a 426 m, num desnível de relevo de 44 m, formando uma vertente convexa, com ruptura suave de declive na média encosta e outra mais acentuada na base. O afloramento se prolonga, em ambas as margens da estrada, com espessura que varia entre 2 a 3 metros, sotoposto a uma cobertura coluvial pedogenizada, de cor marrom e textura areno-argilosa, com presença de um nível de *stone line*, junto à ruptura de declive suave, que indica condições de paleorelevo local.

Ao longo de toda vertente, o arenito se encontra muito alterado, com presença frequente de pedotúbulos, associados a raízes atuais que se ramificam em profundidade e permitem a migração de material argilo-arenoso até níveis mais profundos (Figura 26).

Figura 26 - Pedotúbulos demonstram a profundidade de ação intempérica



Fonte: Lima (2019, p. 59).

Na média encosta da vertente, associada à ruptura de declive suave, ocorre um importante sítio paleontológico (Figura 27), constituído de fósseis de pterossauros da espécie *Caiuajara dobruskii gen. et sp. nov.*, pertencente ao grupo Tapejaridae (MANZIG *et al.*, 2014), de *Keresdrakon wilsoni gen. et sp. nov.* (KELLNER *et al.*, 2019), de fósseis de dinossauros terópodes (*Vespersaurus paranaensis*), além de um pequeno lagarto acrodonte, *Gueragama sul americana* (LANGER *et al.*, 2019).

Figura 27 - Níveis fossilíferos associados a estratos formados em ambiente interduna com fluxos esporádicos de água



Fonte: Lima (2019, p. 72).

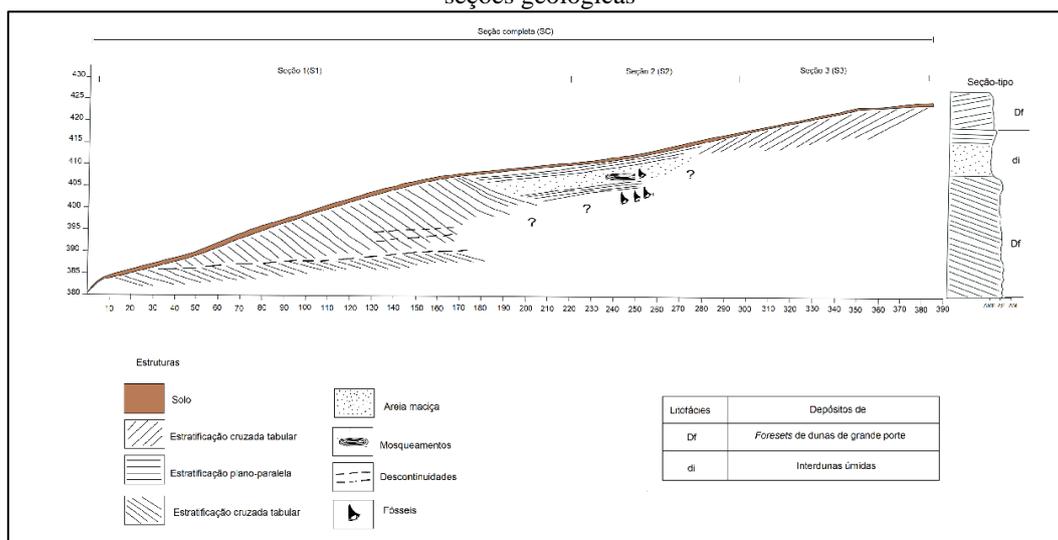
A descrição do afloramento tem como fundamento o trabalho realizado por Lima (2019), que realizou a contextualização do jazigo fossilífero em relação às litofácies locais. A referida autora determinou três seções geológica bem definidas ao longo da vertente e associadas a litossomas distintos, denominadas S1, S2 e S3 (Figura 29). O primeiro da base é representado por arenito fino, de geometria tabular e estratificação cruzada de grande porte, com ângulos de mergulho de 17° a 26°, condizentes com *foresets* de dunas de grande porte (Figura 28). O arenito é de cor avermelhada, com ausência de cimentação carbonática. Em todas as amostras, ocorrem o predomínio da areia fina, em valores que variam de 27% a 45%. Secundariamente, ocorrem a areia muito fina, de 11% a 21%, seguida por silte, de 14% a 19%, e a areia média, entre 1% e 7%.

Figura 28 - Afloramento de arenito com estratificação cruzada, associada a *foreset* de dunas, na seção 1



Fonte: Lima (2019, p. 59).

Figura 29 - Perfil lateral esquemático da vertente, com distribuição das unidades litoestratigráficas e das seções geológicas



Fonte: Lima (2019, p. 57).

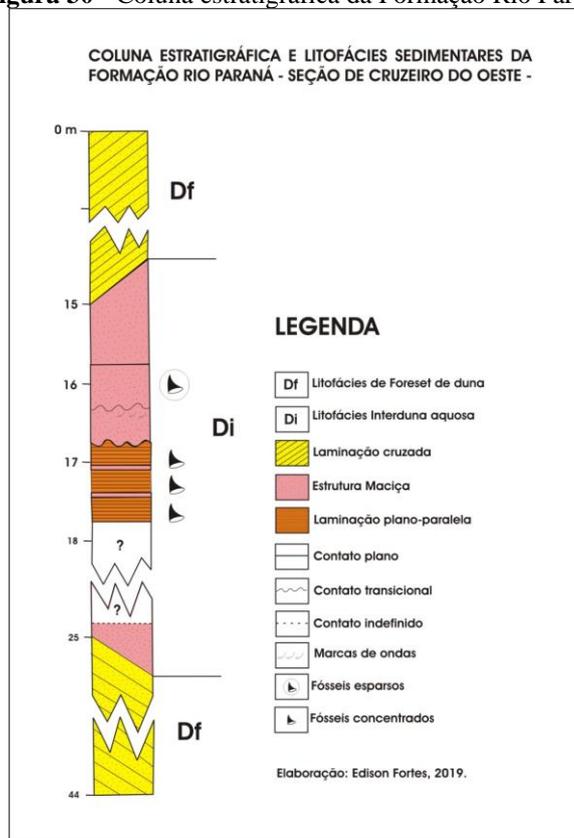
A seção S2, localizada na média vertente, foi definida por Lima (2019) como uma sequência sedimentar associada à zona interduna, com participação de canais efêmeros, que permitia a remobilização e transporte de animais que habitavam as margens e criava condições de fossilização. Segundo a autora, essa seção é constituída por pacotes de arenito na base, com estratificação e laminações plano-paralelas ricas em material fossilífero. Sobreposta a esses níveis e em contato abrupto, ocorrem pacotes de arenito maciço, com raros materiais fósseis. A autora anteriormente mencionada destaca a boa distribuição granulométrica entre todas as frações, com predomínio das frações de areia fina, com teores variando de 22% a 31%, seguido pelas frações de areia muito fina e silte, com teores de 22% e 32%. Ocorrem, também, baixas quantidade de argilas, entre 9% e 16%.

A seção S3, localizada no topo da vertente, está representada por laminações que formam um conjunto de estratificação cruzada e arenito fino avermelhado, que Lima (2019) associou a litofácies de *foresets* de dunas. Apresenta-se parcialmente destruída, na parte superior, por processos pedogenéticos, tornando o material fortemente friável. Segundo a referida autora, o material é constituído, predominantemente, por areia fina, em teores que variaram entre 28% e 47% da amostra total. Valores secundários de areia muito fina (21%) e areia média (12% a 17%) também foram registrados.

Para essa formação, elaborou-se uma coluna estratigráfica (Figura 30) que considera a compreensão litológica até aquele momento, compreendendo laminações cruzadas, estruturas maciças com presença de fósseis esparsos, laminações plano-

paralelas com fósseis concentrados, separados por contatos transicionais para novas estruturas maciças e laminações cruzadas.

Figura 30 - Coluna estratigráfica da Formação Rio Paraná



Fonte: cedida por Fortes *et al.* (2019).

6 ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS POR MEIO DOS CÁLCULOS DOS PARÂMETROS GEOMORFOMÉTRICOS

Os dados referentes à declividade, à hipsometria e às estatísticas hidrográficas foram extraídos por meio do Software QGIS, conforme detalhado nos procedimentos metodológicos, e se encontram organizados nas tabelas a seguir.

Referente à declividade (Tabela 6), observa-se que os valores mais altos se encontram nas bacias hidrográficas do Ribeirão Barbacena, Rio das Lontras e Rio Chupador, da Formação Serra Geral, com valores de 34,21°, 31,99° e 37,36°, respectivamente. Os valores médios de declividade nessas bacias, também, representam os maiores valores em comparação com as demais bacias, sendo eles 6,66°, 10,31° e 9,02°.

Excepcionalmente na bacia hidrográfica do Rio Guairaça, da Formação Rio Paraná, encontra-se uma declividade máxima de valor 38,51°, caracterizando o maior valor de declividade dentre as bacias analisadas. No entanto, ao observar a média de declividade, percebe-se que o valor 2,98° é inferior à maioria das bacias. Esses valores representam a presença de um morro em uma região relativamente plana, que é o caso dos morros de arenito silicificado de nome Três Morrinhos, localizados no município de Terra Rica.

Em contrapartida, nas bacias hidrográficas da Formação Goio-Erê, as maiores declividades registradas foram no Rio dos Índios e Ribeirão Fundo, com valores de 17,00° e 17,86°, representando baixos valores se comparados com os valores máximos das bacias das demais formações geológicas.

Referente à hipsometria, as maiores altitudes (Tabela 6) encontradas nas áreas são referentes às bacias da Formação Serra Geral, compreendendo 870,47 metros na bacia do Rio Tricolor e 727,94 metros na bacia do Rio das Lontras. A maior média da hipsometria nessa formação também se encontra na bacia do Rio Tricolor, com um valor de 728,26 m.

Na Formação Rio Paraná, a bacia do Rio Guairaça apresentou a maior altitude, com 629,76 metros. A menor altitude registrada dentre as bacias dessa formação foi no Ribeirão Tiradentes, com 269,61 metros. Os valores médios de hipsometria nas bacias selecionadas se encontram entre 369,90 e 421,17 metros.

A Formação Goio-Erê registrou 624,71 metros como o maior valor de hipsometria na bacia do Rio dos Índios, e a menor altitude na bacia do Rio Jacaré, com 301,57 metros.

A média hipsométrica nessa formação permaneceu entre os valores de 374,27 metros e 517,64 metros.

Ao analisar as médias de hipsometria entre todas as bacias, é possível perceber que as da Formação Rio Paraná apresentam os menores valores, as da Formação Serra Geral apresentam os maiores valores, e as da Formação Goio-Erê encontram-se com valores intermediários entre as duas formações, mas com uma tendência a valores maiores, mais próximos aos valores da Formação Serra Geral.

Tabela 6 - Parâmetros de relevo.

Parâmetros de relevo						
Formação	Bacias	Decliv. máx.	Decliv. média	Hipso. mín.	Hipso. máx.	Hipso. média
Goio-Erê	Rio Jacaré	16,36	4,24	301,57	471,61	374,27
	Rio do Salto	13,29	3,53	387,47	519,59	449,36
	Boi Mouro	12,52	3,45	382,13	568,92	457,62
	Rio dos Índios	17,00	4,26	400,98	624,71	516,18
	Córrego São Januário	16,47	3,65	438,11	587,29	517,64
	Ribeirão Bolívar	14,93	3,55	379,36	563,90	487,51
	Ribeirão Caxangá	14,02	3,22	419,77	588,63	508,83
	Ribeirão São Francisco	16,40	4,34	384,27	571,89	482,16
	Córrego da Cigarra	14,26	3,40	366,47	537,85	464,50
	Ribeirão Fundo	17,86	3,60	371,27	571,97	471,09
	Rio Mouro	14,92	4,05	402,67	582,59	496,26
Rio Paraná	Rio Pacaráí	13,40	3,94	273,89	461,17	377,10
	Ribeirão Tiradentes	15,07	3,65	269,61	463,78	369,90
	Ribeirão Piava	25,18	4,26	308,36	489,40	401,29
	Ribeirão Tapiracuí	17,07	3,91	325,94	536,21	446,70
	Rio Pacu	14,95	3,97	293,62	518,36	420,43
	Ribeirão Tamanduateí	10,87	2,78	300,58	497,10	390,37
	Rio Tigre	25,58	3,48	308,24	524,83	415,24
	Ribeirão Lica	14,72	2,98	324,43	527,20	430,06
	Ribeirão Areia Branca	11,99	2,74	307,68	496,80	398,67
	Rio das Antas	19,17	4,75	323,50	518,17	414,23
	Rio Guairaça	38,51	2,98	287,70	629,76	421,17
Serra Geral	Ribeirão Sarandi	26,31	3,90	421,89	682,35	548,06
	Ribeirão Paiçandu	22,04	4,03	321,05	569,49	431,80
	Córrego Água Bonita	17,14	4,45	266,57	497,90	365,80
	Ribeirão Ariranha	27,34	5,81	315,69	590,06	416,87
	Ribeirão Barbacena	34,21	6,66	352,76	663,18	502,40

Rio Tricolor	24,22	4,98	588,41	870,47	728,26
Rio Carajá	16,86	3,23	381,47	615,06	498,63
Rio dos Padres	18,60	4,56	297,87	574,23	441,91
Rio Azul	17,35	3,32	309,51	490,04	402,92
Rio das Lontras	31,99	10,31	333,95	727,94	504,21
Rio Chupador	37,36	9,02	429,76	820,05	618,48

Fonte: elaborada pelo autor (2020).

Legenda:

Azul: menor valor;

Vermelho: maior valor.

Para a realização dos cálculos geomorfométricos, foi necessário extrair uma série de informações e dados das bacias hidrográficas, sendo essas informações o número de rios ou canais (**N**), o comprimento total dos cursos d'água em quilômetros (**T**), o comprimento do canal principal em quilômetros (**Lp**), o comprimento vetorial do canal principal em quilômetros (**Lt**), a amplitude altimétrica em metros (**H**), o maior comprimento da bacia em quilômetros (**C**), a área em quilômetros quadrados (**A**), e o comprimento axial da bacia em quilômetros (**L**). Todas essas informações se encontram compiladas na Tabela 7.

Ressalta-se que o parâmetro para selecionar as bacias hidrográficas foi a geração de uma malha de 33 pontos automática dentro da área de estudo, a partir da qual foram selecionadas 11 bacias hidrográficas próximas a esses pontos em cada unidade geológica.

Tabela 7 - Valores geométricos extraídos das bacias hidrográficas

		Valores extraídos							
Formação	Bacias Hidrográficas	N (quant.)	T (km)	Lp (km)	Lt (km)	H (m)	C (km)	A (km)	L (km)
Goio-Erê	Rio Jacaré	53	76,42	19,68	15,38	170,04	16,27	71,47	18,08
	Rio do Salto	16	33,33	10,56	8,5	132,12	9,04	44,35	10,26
	Boi Mouro	35	48,97	10,73	8,16	186,79	9,64	65,48	10,38
	Rio dos Índios	41	66,21	15,29	12,59	223,73	13,85	74,80	13,88
	Córrego São Januário	33	44,11	11,54	9,16	149,18	10,48	59,44	10,67
	Ribeirão Bolivar	15	27,61	9,72	8,42	184,54	10,03	41,49	9,29
	Ribeirão Caxangá	20	53,09	12,62	11,84	168,86	13,22	104,11	12,26
	Ribeirão São Francisco	48	65,07	12,26	9,67	187,62	10,65	79,93	11,3
	Córrego da Cigarra	20	32	11,4	9,73	171,38	10,46	53,27	10,72
	Ribeirão Fundo	27	50,26	16,33	14,75	200,69	16,68	78,93	15,31
Rio Mouro	25	46,86	10,75	8,39	179,92	10,01	53,46	9,96	
Rio Paraná	Rio Pacarai	37	65,71	14,63	12,32	187,28	13,18	92,95	13,34

	Ribeirão Tiradentes	55	85,73	19,22	15,13	194,18	17,01	107,97	16,45
	Ribeirão Piava	78	96,99	14,33	11,49	181,04	12,49	95,77	12,95
	Ribeirão Tapiracui	42	66,72	14,66	13,2	210,27	13,98	98,59	13,53
	Rio Pacu	60	79,18	14,97	13,49	224,74	14,99	96,73	13,83
	Ribeirão Tamanduatei	20	38,07	13,68	12,29	196,53	13,74	91,83	13,08
	Rio Tigre	22	30,44	12,29	8,44	216,59	12,38	91,08	11,45
	Ribeirão Lica	15	29,9	8,44	7,38	202,77	10,13	98,94	8,18
	Ribeirão Areia Branca	10	24,27	11,33	9,81	189,12	11,31	73,21	10,74
	Rio das Antas	112	110,21	14,17	11,37	194,67	12,34	93,00	13,34
	Rio Guairaça	7	21,83	11,05	10,5	342,07	15,47	88,74	10,71
Serra Geral	Ribeirão Sarandi	48	63,48	17,84	12,56	260,47	14,08	90,14	15,5
	Ribeirão Paçandu	38	73,9	21,48	15,39	248,44	21,32	91,35	18,67
	Córrego Água Bonita	50	88,27	20,79	16,81	231,34	17,41	88,46	18,99
	Ribeirão Ariranha	116	129,59	24,4	15,84	274,37	17,38	90,17	19,64
	Ribeirão Barbacena	109	109,88	22,72	16,14	310,42	16,98	96,12	18,92
	Rio Tricolor	35	62,36	22,72	14,37	282,06	16,35	75,88	20,1
	Rio Carajá	23	61,9	32,23	24,36	233,59	25,81	96,97	27,42
	Rio dos Padres	46	87,86	34,41	22,32	276,36	22,67	90,92	25,29
	Rio Azul	38	69,04	16,89	14,09	180,54	15,08	102,01	14,73
	Rio das Lontras	130	133,92	32,49	18,09	393,99	18,22	79,89	23,69
	Rio Chupador	70	109,36	27,86	17,35	390,29	17,87	83,26	22,37

Fonte: elaborada pelo autor (2021).

Ao analisar, na Tabela 8, os valores de cada parâmetro calculado, pode-se realizar comparações com base nos valores de referência estabelecidos pelos autores de cada equação geomorfométrica, dessa maneira, realizam-se as seguintes interpretações.

A **densidade dos cursos d'água (Ds) [1]** compara a frequência da drenagem com a área da bacia. Porto, Zahed e Silva (1999) apontam que uma drenagem é eficiente quando possui um canal por km². A partir disso, observa-se que a bacia hidrográfica do Rio das Lontras, no Grupo Serra Geral, apresenta uma drenagem mais que eficiente, com 1,6 canal por km². Poucas são as bacias próximas da eficiência, sendo elas três no Grupo Serra Geral, de nomes Ribeirão Ariranha (1,2), Ribeirão Barbacena (1,1) e Rio Chupador (0,8), e duas na Formação Rio Paraná, de nomes Rio das Antas (1,2) e Ribeirão Piava (0,8). As demais bacias analisadas apresentaram valores inferiores a 0,8 canal por km², representando uma deficiência na quantidade de canais necessários para serem consideradas bacias hidrográficas ideais.

Pressupõe-se que um substrato rochoso mais friável e poroso é mais propício a uma densidade menor de cursos d'água, e um substrato menos friável e poroso (+ duro), uma densidade maior. Os valores obtidos por meio desse parâmetro confirmam essa

hipótese, pois sabe-se que o substrato rochoso arenítico das formações do grupo Caiuá são mais friáveis que os basaltos da Serra Geral.

Especialmente no Grupo Caiuá, verificou-se que as diferenças entre os valores das formações Rio Paraná e Goio-Erê foram relativamente pequenas (a média das bacias da Formação Goio-Erê foi 0,03 pontos a mais que a média das bacias da Formação Rio Paraná), assim o fato de a Formação Goio-Erê apresentar concreções carbonáticas — que dá a essa rocha uma característica mais dura — pode justificar ela ter maior média de densidade de cursos d'água que a Formação Rio Paraná.

Uma explicação plausível poderia ser as diferenças pluviiais existentes em cada local, no entanto, as bacias se encontram sob uma mesma classificação climática de Köppen, a Cfa (NITSCHE *et al.*, 2019), e não são distantes o suficiente para apresentarem índices pluviiais tão distintos, estes apresentam valores de pluviosidade média anual, em milímetros, entre 1.200 mm a 1.800 mm.

Tabela 8 - Resultado dos cálculos geomorfométricos

Parâmetros de área						
Formação	Bacias	Densidade dos cursos d'água	Densidade da drenagem	Sinuosidade do curso d'água	Razão do relevo	Razão de alongação
Goio-Erê	Rio Jacaré	0,742	1,069	1,280	0,0105	0,527
	Rio do Salto	0,361	0,751	1,242	0,0146	0,732
	Boi Mouro	0,535	0,748	1,315	0,0194	0,879
	Rio dos Índios	0,548	0,885	1,214	0,0162	0,703
	Córrego São Januário	0,555	0,742	1,260	0,0142	0,815
	Ribeirão Bolivar	0,362	0,666	1,154	0,0184	0,782
	Ribeirão Caxangá	0,192	0,510	1,066	0,0128	0,939
	Ribeirão São Francisco	0,600	0,814	1,268	0,0176	0,892
	Córrego da Cigarra	0,375	0,601	1,172	0,0164	0,768
	Ribeirão Fundo	0,342	0,637	1,107	0,0120	0,655
Rio Mouro	0,468	0,877	1,281	0,0180	0,828	
Rio Paraná	Rio Pacaráí	0,398	0,707	1,188	0,0142	0,815
	Ribeirão Tiradentes	0,509	0,794	1,270	0,0114	0,713
	Ribeirão Piava	0,814	1,013	1,247	0,0145	0,852
	Ribeirão Tapiracuí	0,426	0,677	1,111	0,0150	0,828
	Rio Pacu	0,620	0,819	1,110	0,0150	0,802
	Ribeirão Tamanduateí	0,218	0,415	1,113	0,0143	0,826
	Rio Tigre	0,242	0,334	1,456	0,0175	0,940
	Ribeirão Lica	0,152	0,302	1,144	0,0200	1,372
	Ribeirão Areia Branca	0,137	0,332	1,155	0,0167	0,899

	Rio das Antas	1,204	1,185	1,246	0,0158	0,815
	Rio Guairaça	0,079	0,246	1,052	0,0221	0,992
Serra Geral	Ribeirão Sarandi	0,533	0,704	1,420	0,0185	0,691
	Ribeirão Paiçandu	0,416	0,809	1,396	0,0117	0,577
	Córrego Água Bonita	0,565	0,998	1,237	0,0133	0,559
	Ribeirão Ariranha	1,286	1,437	1,540	0,0158	0,545
	Ribeirão Barbacena	1,134	1,143	1,408	0,0183	0,585
	Rio Tricolor	0,461	0,822	1,581	0,0173	0,489
	Rio Carajá	0,237	0,638	1,323	0,0091	0,405
	Rio dos Padres	0,506	0,966	1,542	0,0122	0,425
	Rio Azul	0,372	0,677	1,199	0,0120	0,773
	Rio das Lontras	1,627	1,676	1,796	0,0216	0,426
	Rio Chupador	0,841	1,314	1,606	0,0218	0,460

Fonte: elaborada pelo autor (2020).

Para analisar, estatisticamente, os resultados do parâmetro de densidade dos cursos d'água de modo comparativo a fim de descobrir se existe uma diferença significativa entre os três grupos de bacias hidrográficas, utilizou-se o teste ANOVA (Tabela 9). Com esse teste, verificou-se que o valor "F", que não ultrapassa o "F-Crítico", demonstrou não haver uma diferença significativa, desse modo, conclui-se que, apesar de existirem algumas bacias com densidade de cursos d'água eficientes, isso não é suficiente para diferenciar as três formações.

Tabela 9 - Teste ANOVA utilizando o parâmetro de densidade dos cursos d'água

Densidade dos cursos d'água						
RESUMO						
<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>		
Serra Geral	11	7,97909	0,725372	0,194789		
Rio Paraná	11	4,798958	0,436269	0,115791		
Goio-Erê	11	5,079449	0,461768	0,023378		
ANOVA						
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,563631	2	0,281816	2,531599	0,096393	3,31583
Dentro dos grupos	3,339578	30	0,111319			
Total	3,903209	32				

Fonte: elaborada pelo autor (2021).

A **densidade da drenagem [2]** indica a eficiência da drenagem na bacia hidrográfica. Quanto menor a densidade, mais pobre será a drenagem; e quanto maior a

densidade, a bacia será considerada bem dissecada ou com drenagem rápida (VILLELA; MATTOS, 1975). Ao analisar os dados obtidos, verifica-se que todas as bacias, apesar de apresentarem valores diferentes, ainda se classificam como bacias de baixa densidade de drenagem.

Comparando os valores obtidos nesse parâmetro, verifica-se que há uma tendência das bacias da Formação Rio Paraná apresentarem menores densidades com valores próximos a 0,5 — representando drenagens pobres a regulares —; das bacias da Formação Goio-Erê apresentarem densidades com valores próximos a 0,7 — representando drenagens regulares —; e uma tendência das bacias da Formação Serra Geral apresentarem valores maiores, próximos a 1,5 — representando drenagens regulares a boas e mais dissecadas. Por meio desse resultado, pode-se verificar que os sistemas de drenagem dessas bacias possuem um baixo grau de desenvolvimento, mas com grande área de contribuição, o que pode estar relacionado a uma alta permeabilidade do substrato rochoso e do solo nas drenagens pobres e regulares e a uma menor permeabilidade nas drenagens da Formação Serra Geral, consideradas regulares a boas.

Considerando o teste ANOVA (Tabela 10) para o parâmetro de densidade da drenagem, observa-se que o valor “F” é maior que o “F-Crítico”, demonstrando existir uma diferença significativa entre os grupos. Desse modo, ressalta-se a tendência das bacias da Formação Serra Geral apresentarem maior densidade de drenagem, seguidas das bacias das formações Goio-Erê e Rio Paraná, possivelmente, explicada por seu substrato rochoso mais duro ser originário dos basaltos.

Tabela 10 - Teste ANOVA utilizando o parâmetro de densidade da drenagem

Densidade da Drenagem						
RESUMO						
<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>		
Serra Geral	11	11,18452	1,016775	0,11564		
Rio Paraná	11	6,822592	0,620236	0,100201		
Goio-Erê	11	8,299353	0,754487	0,024002		
ANOVA						
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,894892	2	0,447446	5,59672	0,008598	3,31583
Dentro dos grupos	2,398436	30	0,079948			
Total	3,293328	32				

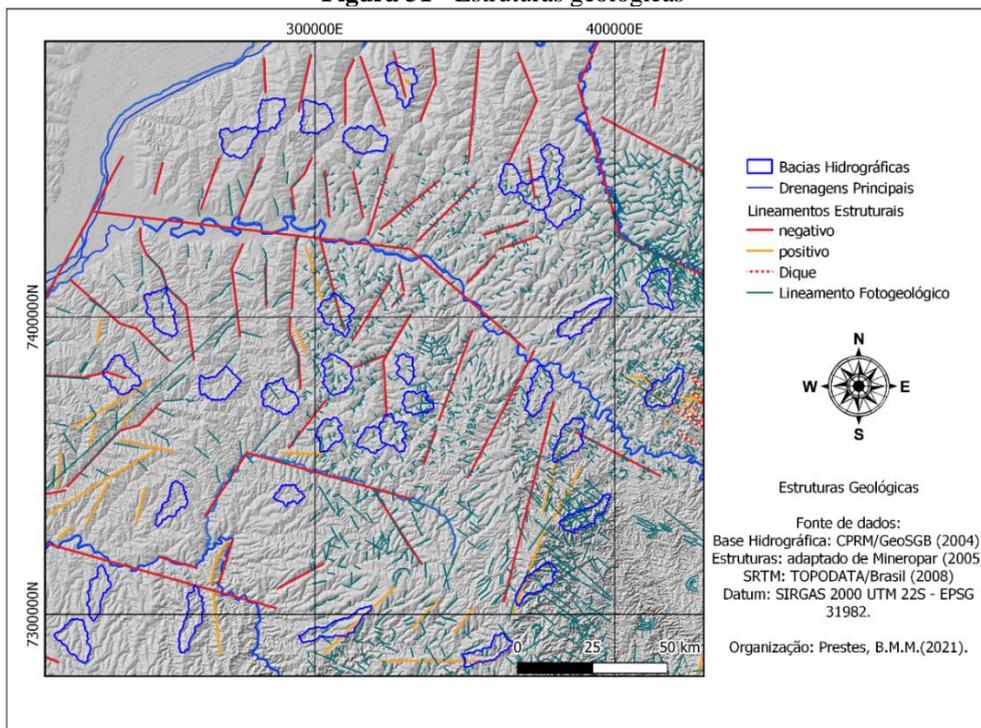
Fonte: elaborada pelo autor (2021).

A **sinuosidade do curso d'água [3]** está diretamente relacionada com a velocidade de escoamento da água na bacia hidrográfica, assim quanto mais regular o canal, mais rápido o escoamento; e quanto mais tortuoso, menor a velocidade de escoamento. Com base nisso e observando os resultados, nota-se que todos os canais apresentam valores entre 1 e 2, sendo, assim, considerados canais com tendências a serem transicionais, regulares e irregulares. Ao analisar a variação dos valores desse índice entre essas bacias, percebe-se um predomínio de valores próximos a 1 nas bacias da Formação Rio Paraná, indicando canais mais retilíneos; por outro lado, o Grupo Serra Geral englobou os valores mais altos, indicando maior irregularidade para os canais dessa unidade geológica.

Em vista disso, esse índice sugere uma velocidade de escoamento moderada e um baixo efeito de controle estrutural sobre a rede de drenagem da Formação Serra Geral, e uma velocidade de escoamento e efeito de controle estrutural maiores sobre a drenagem da Formação Rio Paraná.

Contudo, o resultado desse índice se mostra insatisfatório e necessita de maior investigação, pois sabe-se que existe uma forte relação de controle estrutural entre as drenagens e as estruturas geológicas lineares, como, por exemplo, diques e fraturas preenchidas por diabásio na Formação Serra Geral (PRESTES; VOLKMER, 2017). Então, dessa maneira, esse índice contradiz a hipótese de o maior número de fraturas do basalto condicionar a formação de canais mais retilíneos.

Em conjunto à análise desse índice, observando o mapa geológico estrutural (Figura 31) das bacias, pôde-se verificar que 61% dos lineamentos negativos da área estão localizados na Formação Rio Paraná. Em contrapartida, 62% dos lineamentos fotogeológicos se encontram na Formação Serra Geral.

Figura 31 - Estruturas geológicas

Fonte: elaborada pelo autor (2021).

Observando o resultado do teste ANOVA (Tabela 11), o valor de “F” é superior ao “F-Crítico”, logo existe diferença significativa entre os grupos. Ao conferir as médias das bacias, percebe-se que as oriundas das formações Rio Paraná, de valor 1,1, e Goio-Erê, de valor 1,2, demonstram uma tendência a canais retilíneos. Por outro lado, a média das bacias oriundas da Formação Serra Geral, de valor 1,4, demonstra canais nem retilíneos, nem sinuosos, ou seja, canais considerados transitórios.

Tabela 11 - Teste ANOVA utilizando o parâmetro de sinuosidade do curso d'água

Sinuosidade do curso d'água						
RESUMO						
Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância		
Serra Geral	11	16,04726	1,458842	0,030722		
Rio Paraná	11	13,09179	1,190163	0,012471		
Goio-Erê	11	13,35932	1,214484	0,006353		
ANOVA						
Fonte da variação	SQ	Gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	0,486	2	0,2429	14,707	3,54E-05	3,3158
Dentro dos grupos	0,495	30	0,0165			
Total	0,981269	32				

Fonte: elaborada pelo autor (2021).

A **razão do relevo (Rr)** [4] indica a relação altimétrica da bacia hidrográfica, de modo que quanto maior o valor obtido, mais movimentado é o relevo. Portanto, por meio da interpretação dos resultados encontrados, verifica-se que as bacias estudadas apresentam razões de relevo baixas, bem como uma baixa declividade total, o que sugere pouca quantidade de escoamento superficial de água, assim como uma menor velocidade de escoamento, fatores que favorecem a infiltração da água no solo.

Ao conferir o resultado do teste ANOVA (Tabela 12), verifica-se que o valor “F” é inferior ao “F-Crítico”, logo não há diferença significativa entre os grupos analisados.

Tabela 12 - Teste ANOVA utilizando o parâmetro de razão do relevo

Razão do relevo						
RESUMO						
<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>		
Serra Geral	11	0,171437	0,015585	1,82E-05		
Rio Paraná	11	0,176577	0,016052	8,76E-06		
Goio-Erê	11	0,170011	0,015456	8,26E-06		
ANOVA						
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	2,17E-06	2	1,08E-06	0,09231	0,91208	3,31583
Dentro dos grupos	0,000352	30	1,17E-05			
Total	0,000354	32				

Fonte: elaborada pelo autor (2021).

A **razão de alongação** [5] indica a capacidade de ocorrência de enchentes em uma determinada bacia por sua forma circular ou alongada. Fica evidente, por meio dos valores obtidos e da observação visual nos mapas, que a maioria das bacias do Grupo Serra Geral apresentaram valores baixos, representando bacias mais alongadas e menos propícias a enchentes; em contrapartida, as bacias da Formação Rio Paraná apresentaram valores altos, referentes a formas circulares e maiores possibilidades de enchentes; as bacias da Formação Goio-Erê apresentaram valores intermediários, porém com tendência a formas menos alongadas que as bacias da Formação Serra Geral e quase tão circulares quanto as bacias da Formação Rio Paraná.

Analisando o resultado do Teste ANOVA (Tabela 13) para esse parâmetro, verifica-se que o valor “F” foi superior ao “F-Crítico”, logo existe uma diferença significativa entre os grupos de bacias. Conforme apresentado pela média, a Formação Serra Geral apresentou os menores valores, caracterizando-a com bacias alongadas; a

Formação Rio Paraná apresentou a maior média, portanto, apresenta bacias mais circulares. A Formação Goio-Erê, no entanto, apresentou valor intermediário, representando bacias com formas intermediárias entre alongadas e circulares.

Tabela 13 - Teste ANOVA utilizando o parâmetro de razão de alongação

Razão de alongação						
RESUMO						
<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>		
Serra Geral	11	5,93535	0,539577	0,013449		
Rio Paraná	11	9,854589	0,895872	0,03043		
Goio-Erê	11	8,520853	0,774623	0,013885		
ANOVA						
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,721943	2	0,360971	18,7475	5,22E-06	3,31583
Dentro dos grupos	0,577631	30	0,019254			
Total	1,299574	32				

Fonte: elaborada pelo autor (2021).

6.1 Teste T de *Student* para Refinamento de Análise

A análise comparativa direta entre os grupos de bacias das três formações torna-se difícil devido à evidente diferença da Formação Serra Geral frente às demais formações, principalmente, devido aos seus aspectos geológicos e mineralógicos de sua composição serem tão diferentes. Esse destaque da diferença das bacias da Formação Serra Geral ofusca, de certa maneira, a percepção sobre as diferenças existentes entre as formações Goio-Erê e Rio Paraná, dificultando a detecção de variações entre elas.

Por conta disso, optou-se por realizar um refinamento das análises estatísticas, através da utilização do Teste T de *Student*. Esse teste só pode ser realizado entre os dados de dois grupos de bacias hidrográficas, portanto realizou-se três combinações diferentes entre os grupos disponíveis das formações Serra Geral, Goio-Erê e Rio Paraná, para que todos fossem comparados entre si.

Ao realizar a análise comparativa mais relevante, entre os grupos de bacias das formações Rio Paraná e Goio-Erê (Tabela 14), cujas características são muito similares, verificou-se que, apesar do teste “F” apresentar desigualdade entre as médias desses grupos nos parâmetros de densidade dos cursos d’água e densidade da drenagem, o teste T demonstrou não existir diferenças significativas em qualquer parâmetro entre os dois

grupos analisados. Portanto, deve-se ressaltar que as análises previamente realizadas apontando as tendências entre essas duas formações deve ser considerada com cautela, pois os dados apresentam variações muito tênues e quase imperceptíveis.

Tabela 14 - Teste T de *Student* entre as formações Rio Paraná e Goio-Erê

Resultado do Teste T de <i>Student</i>						
Formações	Variáveis	Densidade dos cursos d'água	Densidade da drenagem	Sinuosidade do curso d'água	Razão do relevo	Razão de alongação
Rio Paraná	Média	0,436	0,620	1,190	0,016	0,896
	Desvio padrão	0,340	0,317	0,112	0,003	0,174
Goio-Erê	Média	0,462	0,754	1,214	0,015	0,775
	Desvio padrão	0,153	0,155	0,080	0,003	0,118
Teste F		0,019	0,034	0,303	0,928	0,232
Variância (F crítico = 0,05)		Desigual	Desigual	Igual	Igual	Igual
Teste T		0,824	0,226	0,563	0,636	0,071
Existe diferença significativa		Não	Não	Não	Não	Não

Fonte: elaborada pelo autor (2021).

Os grupos de bacias das formações Rio Paraná e Serra Geral possuem diferenças geológicas evidentes. Quanto à comparação entre seus parâmetros geomorfométricos (Tabela 15), observa-se que, assim como o Teste ANOVA havia indicado, o Teste T demonstrou haver diferenças significativas entre esses dois grupos de bacias para os parâmetros de densidade da drenagem, sinuosidade do curso d'água e razão de alongação.

Tabela 15 - Teste T de *Student* entre as Formações Rio Paraná e Serra Geral

Resultado do Teste T de <i>Student</i>						
Formações	Variáveis	Densidade dos cursos d'água	Densidade da drenagem	Sinuosidade do curso d'água	Razão do relevo	Razão de alongação
Rio Paraná	Média	0,436	0,620	1,190	0,016	0,896
	Desvio padrão	0,340	0,317	0,112	0,003	0,174
Serra Geral	Média	0,725	1,017	1,459	0,016	0,540
	Desvio padrão	0,441	0,340	0,175	0,004	0,116
Teste F		0,425	0,825	0,171	0,264	0,214
Variância (F crítico = 0,05)		Iguais	Iguais	Iguais	Iguais	Iguais
Teste T		0,101	0,010	0,00036	0,769	0,00002
Existe diferença significativa		Não	Sim	Sim	Não	Sim

Fonte: elaborada pelo autor (2021).

Finalmente, a análise comparativa entre os parâmetros geomorfométricos dos grupos de bacias das formações Goio-Erê e Serra Geral (Tabela 16) aponta resultado similar ao obtido anteriormente, o Teste T demonstrou haver diferenças significativas entre esses dois grupos de bacias para os parâmetros de densidade da drenagem, sinuosidade do curso d'água e razão de alongação

Tabela 16 - Teste T de *Student* entre as formações Goio-Erê e Serra Geral

Resultado do Teste T de <i>Student</i>						
Formações	Variáveis	Densidade dos cursos d'água	Densidade da drenagem	Sinuosidade do curso d'água	Razão do relevo	Razão de alongação
Goio-Erê	Média	0,462	0,754	1,214	0,015	0,775
	Desvio padrão	0,153	0,155	0,080	0,003	0,118
Serra Geral	Média	0,725	1,017	1,459	0,016	0,540
	Desvio padrão	0,441	0,340	0,175	0,004	0,116
Teste F		0,002	0,020	0,020	0,228	0,961
Variância (F crítico = 0,05)		Desiguais	Desiguais	Desiguais	Iguais	Iguais
Teste T		0,085	0,035	0,001	0,934	0,0001
Existe diferença significativa		Não	Sim	Sim	Não	Sim

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

6.2 Correlação entre as Características Estratigráficas e os Parâmetros Geomorfométricos em Cada Área Amostral

A Formação Serra Geral, conforme estudos elaborados por Licht e Arioli (2018), é representada por rocha base de basalto, composta por derrames *pahoehoe*, tabulares com vários metros de espessura, de grande resistência e baixa infiltração.

A bacia selecionada para essa área amostral denomina-se bacia do Rio Chupador e apresentou os seguintes parâmetros geomorfométricos (Tabela 8): **densidade dos cursos d'água** de 0,841, apresentando quase eficiência, o que pode ser correlacionado com a característica da formação ser mais dura, menos friável e porosa. **Densidade da drenagem** de 1,314, sendo baixa densidade de drenagem, que confere à drenagem uma característica lenta e pobre. **Sinuosidade do curso d'água** de 1,606, representando canais mais sinuosos. **Razão do relevo** de 0,0218, sendo considerada baixa. **Razão de alongação** de 0,460, sendo considerada uma bacia alongada, característica de áreas mais influenciadas por estruturas geológicas. Por fim, sua área de 83,26 km² e 70 canais

hídricos se encontram em dimensões similares às demais bacias dessa formação, tornando seus resultados compatíveis.

Os resultados dos parâmetros geomorfométricos do grupo de bacias da Formação Serra Geral resultaram em predomínio de ineficiência dos cursos d'água, com menos de um canal por km² na maioria das bacias, com exceção de três bacias (Rio das Lontras, Ribeirão Barbacena e Ribeirão Ariranha), predomínio da baixa densidade de drenagem, predomínio de canais regulares com tendência a serem mais sinuosos, predomínio de baixa razão do relevo e predomínio de bacias mais alongadas e menos propícias a enchentes.

As características estratigráficas da área amostral de Cruzeiro do Oeste, na Formação Rio Paraná, conforme estudadas por Lima (2019), compreendem rocha base de arenito, com existência esparsa de *stone lines* no horizonte superior, com litofácia de frente de dunas com predomínio da fração areia fina (teores entre 27% a 45%), litofácia de interduna com predomínio das frações areia fina (22 a 30%), areia muito fina (22% a 32%) e silte (22% a 30%).

A bacia hidrográfica selecionada na área amostral para estudos dos parâmetros geomorfométricos é a mesma em que Lima (2019) realizou os estudos estratigráficos, a bacia do Rio das Antas. Ela apresentou as seguintes características geomorfométricas: **densidade dos cursos d'água** de 1,204, sendo eficiente; **densidade da drenagem** de 1,185, sendo lenta e pobre; **sinuosidade do curso d'água** de 1,246, tendo tendência a cursos retilíneos e pouco sinuosos; **razão do relevo** de 0,0158, sendo considerada baixa; e **razão de alongação** de 0,815, sendo considerada como de forma circular, com uma área de 93 km², e um número de rios equivalente a 112.

No entanto, um parâmetro não representa a área como um todo, pois a Formação Rio Paraná não apresenta eficiência da densidade de cursos d'água. O que pode explicar essa única diferença é o fato dessa bacia amostral apresentar um número de canais superior a todas as outras bacias dessa formação, mesmo tendo áreas semelhantes. Finalmente, infere-se que o predomínio de frações de areia fina, muito fina e silte proporciona esse padrão de resultados nos parâmetros geomorfométricos.

A Formação Goio-Erê, conforme análises realizadas na presente pesquisa, é composto por rocha base de arenito, com litofácies de interdunas com predomínio da fração areia fina (38% a 62%); litofácia de canal fluvial com predomínio da fração areia fina (45% a 59%); litofácia de lençóis de areia com predomínio da fração de areia fina

(58% a 68%); litofácie *foresets* de dunas com predomínio da fração areia fina (52% a 70%).

A bacia hidrográfica selecionada para a área amostral da Formação Goio-Erê foi a do Rio Mouro, que apresentou os seguintes parâmetros geomorfométricos: **densidade dos cursos d'água** de 0,468, representando meio canal por km², não alcançando a eficiência. A **densidade da drenagem** foi de 0,877, sendo lenta e pobre. A **sinuosidade do curso d'água** foi de 1,281, tendo tendência a cursos retilíneos e pouco sinuosos. A **razão do relevo** foi de 0,0180, sendo considerada baixa. A **razão de alongação** foi de 0,828, sendo considerada como de forma circular, com área de 53,46 km² e com 25 canais fluviais.

Os resultados dos parâmetros geomorfométricos para as demais bacias da Formação Goio-Erê resultaram em predomínio da ineficiência dos cursos d'água, da baixa densidade de drenagem, representando drenagens pobres, de canais menos sinuosos, de baixa razão do relevo, e de bacias com formas mais circulares por meio do cálculo de razão de alongação. Ao analisar a estratigrafia no local, percebe-se que há o predomínio da fração areia fina, em maior quantidade que na Formação Rio Paraná, e percebe-se que essa bacia apresenta menos canais hídricos, bem como uma menor área, podendo, assim, correlacionar a presença de mais frações de areia fina à influência do menor número de formação de canais de drenagem.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando o objetivo geral de identificar parâmetros geomorfométricos, litoestratigráficos e litoestruturais particulares de cada formação para que permitam diferenciar as unidades geológicas da borda sul da Bacia de Sedimentação Bauru, mais especificamente, sobre os arenitos das formações Rio Paraná e Goio-Erê, pertencentes ao Grupo Caiuá, e os basaltos da Formação Serra Geral, pertencentes ao Grupo São Bento, pôde-se realizar as seguintes conclusões.

Quanto à estratigrafia, ao observar as amostras entre as formações Rio Paraná e Goio-Erê, é possível notar que a Formação Goio-Erê possui concreções carbonáticas e apresenta maior quantidade da fração areia fina em suas litofácies, abrangendo teores de 60 a 70%, do que a Formação Rio Paraná, com suas porcentagens de areia fina não ultrapassando teores de 45%

Quanto à comparação dos parâmetros geomorfométricos, os grupos de bacias em cada formação geológica se mostraram eficazes em alguns parâmetros. O parâmetro de **densidade dos cursos d'água** não apresentou diferença significativa.

O parâmetro de **densidade da drenagem** apresentou resultado similar para todas as bacias, classificando-as como de baixa densidade, caracterizando-as como drenagens pobres e lentas, no entanto, percebe-se uma tendência nos valores obtidos, de modo que a Formação Serra Geral apresenta drenagens regulares a boas; a Formação Goio-Erê, drenagem regulares; e a Formação Rio Paraná, drenagens pobres a regulares.

Quanto ao parâmetro de **sinuosidade dos cursos d'água**, todas as bacias se classificaram como canais transicionais, no entanto, existe diferença significativa entre os grupos de bacias, e a tendência dos valores aponta que as formações Rio Paraná e Goio-Erê possuem canais mais retilíneos, e a Formação Serra Geral, canais mais sinuosos.

O parâmetro **razão do relevo** não se mostrou eficaz e não apresentou diferença significativa entre as formações.

O parâmetro de **razão de alongação** apontou maior circularidade para as bacias da Formação Rio Paraná e maior alongamento para as bacias da Formação Serra Geral. As bacias da Formação Goio-Erê se mostraram intermediárias, com formas mais circulares do que alongadas.

Portanto, é possível ressaltar, com apoio do Teste ANOVA, que existem diferenças muito tênues entre os grupos de bacias de cada formação, confirmando haver diferenças evidentes entre a Formação Serra Geral e as demais formações,

principalmente, sobre o parâmetro de razão de alongação. No entanto, existem diferenças muito pequenas entre as unidades Rio Paraná e Goio-Erê, principalmente, quanto aos parâmetros de densidade de drenagem, sinuosidade dos cursos d'água e razão de alongação. Uma justificativa plausível é a sua composição muito similar, com a diferença da existência de carbonatos na Formação Goio-Erê e uma maior porcentagem da fração de areia fina, porém o teste T de *Student* mostrou não haver diferenças significativas entre essas duas formações.

Quanto à participação da rede de drenagem na evolução do relevo, aponta-se que as redes de drenagem são importantes para a compreensão desse processo, principalmente, por ela atuar de maneiras distintas sobre distintos tipos de rochas, situação que se mostra evidente ao se observarem diversos pontos de processos erosivos e voçorocas no noroeste paranaense, principalmente, sobre os arenitos, os quais se mostraram voçorocas de grandes proporções se comparados aos processos erosivos observados na Formação Serra Geral, que apresentaram dimensões menores, no entanto, todas ocasionadas pela rede de drenagem.

Verificou-se que, a respeito da compreensão dos lineamentos estruturais e das formas de relevo, as bacias existentes no Grupo Serra Geral apresentam mais lineamentos fotogeológicos e uma maior movimentação do relevo, o que justifica a presença de canais mais irregulares e mais alongados. A Formação Goio-Erê apresentou uma quantidade menor de lineamentos fotogeológicos e um aumento nos lineamentos negativos; e a Formação Rio Paraná contempla poucos lineamentos fotogeológicos, mas grande influência de lineamentos negativos e positivos de grande escala.

De maneira geral, pôde-se compreender que existe correlação entre alguns parâmetros morfométricos obtidos e suas respectivas características estratigráficas, por exemplo: na Formação Serra Geral, a característica de rocha mais dura infere, no parâmetro de densidade dos cursos d'água, um resultado condizente com o esperado — ou seja, maior densidade com média de 0,72 —; e, entre as formações Rio Paraná e Goio-Erê, a densidades das bacias da Formação Goio-Erê foi levemente superior (0,46) que a da Formação Rio Paraná (0,43), possivelmente, por apresentarem dureza um pouco maior devido à existência de concreções carbonáticas na Goio-Erê.

Na densidade da drenagem, é possível verificar que as formações Rio Paraná e Goio-Erê apresentam bacias com densidades de drenagem menores que as bacias da Formação Serra Geral. Quanto à estratigrafia nessas unidades, verifica-se um aumento da característica da dureza entre as três formações. A Formação Rio Paraná apresenta

predomínio de areia fina, areia muito fina e silte, e seu parâmetro geomorfométricos indica uma drenagem pobre e regular. A Goio-Erê apresenta predomínio maior de porcentagens de areia fina, bem como concreções carbonáticas e drenagens mais regulares. Por fim, a Serra Geral, com maior dureza, é representada pelo substrato rochoso de basaltos, com drenagens classificadas como regulares a boas.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F. F. M.; BARBOSA, O. **Geologia das quadriculas de Piracicaba e Rio Claro, Estado de São Paulo**. Rio de Janeiro: DNPM: IBGE, 1953. 93 p.

ALVES, J. M. P.; CASTRO, P. T. A. Influência de Feições Geológicas na Morfologia da Bacia do rio Tanque (MG) baseada no estudo de Parâmetros Morfométricos e Análise de Padrões de Lineamentos. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 33, n. 2, p. 117-127, 2003.

ARID, F. M. A formação Bauru na região norte ocidental do Estado de São Paulo. **Boletim de Geociências da Faculdade de Filosofia e Letras de São José do Rio Preto**, n. 1, 1967. 126 p.

BATEZELLI, A. **Análise da sedimentação cretácea no Triângulo Mineiro e sua correlação com áreas adjacentes**. 2003. 183 f. Tese (Doutorado em Geociências) — Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2003.

BATEZELLI, A. *et al.* Análise estratigráfica aplicada à Formação Araçatuba (Grupo Bauru - Ks) no Centro-Oeste do Estado de São Paulo. **Geociências**, Rio Claro, v. 22, n. especial, p. 5-19, 2003.

BETTÚ, D. F. *et al.* Compartimentação estrutural e conectividade dos sistemas aquíferos Caiuá e Serra Geral no Noroeste do Paraná – Brasil. **Revista Brasileira de Geofísica**, São Paulo, v. 24, n. 3, p. 393-409, set. 2006. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-261X2006000300008&lng=pt&nrm=iso. Acesso em: 23 abr. 2021.

BITENCOURT, M. F.; NARDI, L. V. S. Late to Post-collisional Brasiliano granitic magmatism in southernmost Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciência**, v. 65, p. 3-16, 1993.

BRANDT NETO, M. **Estratigrafia da Formação Bauru na região do baixo Tietê**. 1977. 74 f. Dissertação (Mestrado) — Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1977.

BRASIL. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Topodata (Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil)**: variáveis geomorfométricas locais. 2008. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/>. Acesso em: 24 abr. 2021.

CAMPANHARO, W. A. **Diagnóstico físico da bacia do rio Santa Maria do Doce - ES**. 2010. 66 f. Monografia (Graduação) — Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2010.

CARAMINAN, L. M. *et al.* Mapeamento Geoambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Barra Preta, Paraná. **Caderno de Geografia**, Belo Horizonte, v. 29, n. 58, 2019.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Blucher, 1980.

Coimbra, A.M.; Brandt Neto, M.; Petri, S. 1977. **O alinhamento estrutural do Tietê**. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA REGIONAL, 1, São Paulo, 1977. SBG. p. 145-152.

COPEL/AGUASPARANÁ. **Base Hidrográfica MDT**. Curitiba, 2011. Disponível em: http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/DADOS%20ESPACIAIS/Instrucoes_Acesso_FTP_v2018.pdf. Acesso em: 10 set. 2019.

CORDANI, U. G.; SARTORI, P. L. P.; KAWASHITA, K. Geoquímica dos isótopos de estrôncio e a evolução da atividade vulcânica na Bacia do Paraná (Sul do Brasil) durante o cretáceo. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 52, n. 4, p. 811-818, 1980. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/directbitstream/a23f7cab-1073-4951-bf89-e4dbd2e5060c/1483748.pdf>. Acesso em: 27/04/2021

FERREIRA, F. J. F. **Integração de dados aeromagnéticos e geológicos: configuração e evolução do Arco de Ponta Grossa**. 1982. 169p. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 1982.

FERNANDES, L. A. **A Cobertura Cretácea Suprabasáltica no Paraná e Pontal do Paranapanema (SP): os grupos Bauru e Caiuá**. 1992. 129 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.

FERNANDES, L. A. **Estratigrafia e evolução geológica da parte Oriental da Bacia Bauru (Ks, Brasil)**. 1998. 216 p. Tese (Doutorado) — Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

FERNANDES, L. A. Mapa litoestratigráfico da parte Oriental da Bacia Bauru (PR, SP, MG), escala 1:1.000.000. **Boletim Paranaense de Geociências**, v. 55, p. 53-66, 2004.

FERNANDES, L. A., COIMBRA, A. M. O Grupo Caiuá (Ks): revisão estratigráfica e contexto deposicional. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 24, n. 3, p. 164-176, 1994.

FERNANDES, L. A.; COIMBRA, A. M. A Bacia Bauru (Cretáceo Superior, Brasil). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 68, n. 2, jan. 1996.

FERNANDES, L. A.; COIMBRA, A. M. Revisão Estratigráfica da Parte Oriental da Bacia Bauru (Neocretáceo). **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 30, n. 4, 2000.

FERNANDES, L. A.; COUTO, E. V.; SANTOS, L. J. C. Três Morrinhos, Terra Rica, PR – Arenitos silicificados de dunas do Deserto Caiuá testemunham nível de superfície de aplainamento K-T. In: WINGE, M. *et al.* **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil**. Brasília: CPRM, dez. 2012. 332 p. v. 3. Disponível em: <http://sigep.cprm.gov.br/sitio058/sitio058.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2021.

FILHO, V. O., KREBS, A. S. J., GIFFONI, L.E. Coluna White, Serra do Rio do Rastro, SC - Seção geológica clássica do continente gondwana no Brasil. In: WINGE, M. *et al.* **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil**. Brasília: CPRM, 2009. v.2. 515 p. disponível em: <http://sigep.cprm.gov.br/sitio024/sitio024.pdf>.

FOLK, R. L. *Petrology of Sedimentary Rocks*. Austin. **Hemphill Publishing Company**. 1980. 184 p.

FORTES, E. *et al.* Anomalias de drenagem e controles morfotectônicos da evolução dos terraços do baixo curso do rio Ivinhema – MS. **Geociências**, v. 26, n. 3, p. 249-261, 2007.

FORTES, E. *et al.* Reposicionamento e Contextualização Litoestratigráfica dos Vertebrados Fósseis do Grupo Caiuá, Município de Cruzeiro do Oeste, PR. *In*: CONGR. BRAS. DE PALEONTOLOGIA, 26., 2019, Uberlândia. **Anais [...]**. Campinas: Galoá, 2019.

FREITAS, R. O. Sedimentação, Estratigrafia e tectônica da série Bauru, São Paulo. **Boletim FFCLUSP Geologia**, São Paulo, n. 14, 1955. 179 p.

FÚLFARO, V. J. Geología del Paraguay Oriental. *In*: COMIN-CHIARAMONTI, P.; GOMES, C. B. (ed.). **Magmatismo Alcalino en Paraguay Central-Oriental Relaciones con Magmatismo Coeval en Brasil**. São Paulo: Edusp/Fapesp, 1996. p. 11-29.

FÚLFARO, V. J.; BARCELOS, J. H. Fase rifte na bacia sedimentar do Paraná: a Formação Caiuá. **Geociências**, v. 12, p. 33-45, 1993.

FÚLFARO, V. J. Tectônica do alinhamento estrutural do Paranapanema. **Boletim do instituto de Geociências**. Universidade de São Paulo, v. 5, p. 129-138, 1974

GARCEZ, L.N. **Hidrologia**. São Paulo: Edgard Blucher. 1974.

GEOsgb. Base de Unidades Litoestratigráficas/Geologia.gis. **CPRM**, 2004. Disponível em: <http://geosgb.cprm.gov.br/>. Acesso em: 10 set. 2019.

GOULART, A.; OLIVEIRA, J. G. de; SANTOS, L. J. C. Utilização do índice de concentração de rugosidade para identificação de feições erosivas na região noroeste do estado do Paraná. *In*: SINAGEO, 12., 2018, Crato. **Anais [...]**. [S. l.: s. n.], 2018. Disponível em: <https://www.sinageo.org.br/2018/trabalhos/9/9-305-1383.html#>. Acesso em: 24 abr. 2021.

HORN, B. K. P. Hill-Shading and the Reflectance Map. **Proceedings of the IEEE**, v. 69, n. 1, p. 14–47, jan. 1981. DOI 10.1109/PROC.1981.11918.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin**, v. 56, n. 3, p. 275-370, 1945.

IBGE. **Malha municipal e estadual do Paraná**. 2018a. Disponível em: <https://downloads.ibge.gov.br/>. Acesso em: 10 set. 2019.

IBGE. **Base de dados de solos do Paraná**. 2018b. Disponível em: <https://downloads.ibge.gov.br/>. Acesso em: 15 set. 2019

IBGE. **Resolução do Presidente n.º 1/2005, de 25 de fevereiro de 2005**. Altera a caracterização do Sistema Geodésico Brasileiro. Disponível em:

<https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-sobre-posicionamento-geodesico/sirgas/16691-projeto-mudanca-do-referencial-geodesico-pmrg.html?=&t=resolucoes-e-legislacao>. Acesso em: 28 abr. 2020.

INPE. **TOPODATA: Banco de dados Geomorfométricos do Brasil**. São José dos Campos: INPE, 2008. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/>. Acesso em: 09 jul. 2021.

JÚNIOR, A. V. S. A fragmentação do Gondwana na região meio-norte do Brasil durante o mesozóico. 2007. 197 p. Tese (Doutorado em Geologia). Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica. Belém, 2007.

KELLNER, A. W. A. *et al.* A new toothless pterosaur (Pterodactyloidea) from Southern Brazil with insights into the paleoecology of a Cretaceous desert. **An. da Acad. Bras. de Ciênc.**, Rio de Janeiro, v. 91, supl. 2, 2019.

KINGSTON, D.R.; DISHROON, C.P.; WILLIAMS, P.A. **Global Basin Classification System**. The American Association of Petroleum Geologists Bulletin. V.67. n. 12. 1983

LANDIM, P. M. B.; SOARES, P. C. Estratigrafia da Formação Caiuá. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29., 1976, Ouro Preto. **Anais [...]**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1976. v. 2. p. 195-206.

LANGER, M. C. *et al.* A new desert-dwelling dinosaur (Theropoda, Noasaurinae) from the Cretaceous of south Brazil. **Scientific Reports**, v. 9, 2019. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-019-45306-9>. Acesso em: 25 abr. 2021.

LEINZ, V. Contribuição à Geologia dos Derrames Basálticos do Sul do Brasil. **Boletim da Faculdade de Filosofia Ciências e Letras, Universidade de São Paulo. Geologia**, n. 5, p. 1-59, 1949.

LICHT, O. A. B.; ARIOLI, E. E. **Mapa Geológico do Grupo Serra Geral no Estado do Paraná** – Nota explicativa. Curitiba: ITCG, 2018. 316 p.

LIMA, R. N. **Fácies fossilíferas e aspectos paleogeográficos da Formação Rio Paraná na bacia hidrográfica do Rio das Antas – Cruzeiro do Oeste – PR**. 2019. 112 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) — Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Departamento de Geografia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2019.

LINDNER, E. A.; GOMIG, K.; KOBAYAMA, M. Sensoriamento remoto aplicado à caracterização morfométrica e classificação do uso do solo na bacia rio do Peixe/SC. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais [...]**. São José dos Campos: INPE, 2007. p. 3405-3412.

MAACK, R. **Geografia Física do Paraná**. Curitiba: Ed. José Olímpio, 1968.

MAACK, R. Breves Notícias sobre a Geologia dos Estados do Paraná e Santa Catarina. **Braz. Arch. Biol. Technol.**, Curitiba, v. jubilee, p. 169-288, dez. 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-89132001000500010>. Acesso em: 23 abr. 2021.

MANOEL, J. L. Levantamento e análise das densidades de drenagens das bacias hidrográficas dos Rios Aguapeí e Peixe. *In: ENCONTRO NACIONAL DE GEÓGRAFOS*, 18., 2016, São Luís. **Anais** [...]. [S.l.: s.n.], 2016. Disponível em: http://www.eng2016.agb.org.br/resources/anais/7/1467813868_ARQUIVO_DensidadedeDrenagem.pdf. Acesso em: 24 abr. 2021.

MANZIG, P. C *et al.* Discovery of a Rare Pterosaur Bone Bed in a Cretaceous Desert with Insights on Ontogeny and Behavior of Flying Reptiles. **PLOS ONE**, San Francisco, v. 9, n. 8, 2014.

MENDONÇA F. de A. A Degradação Ambiental do Noroeste do Estado do Paraná. Um processo de Desertificação Ecológica em Curso. **Pesquisas em Geociências**, v. 21, n. 1, p. 34-39, 1994. Disponível em: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/21248>. Acesso em: 21 abr. 2021.

MENEGAZZO, M. C. **Sedimentação da Bacia Bauru**: cenário tectônico, idade dos depósitos e ambientes paleodeposicionais. 2016. 292 f. Tese (Doutorado em Geociências) — Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro, 2016.

MEZZALIRA, S.; ARRUDA, M. R. Observações geológicas na região do Pontal do Paranapanema, Estado de São Paulo. **An. Acad. Bras. Cienc.**, Rio de Janeiro, v. 37, n. 1, p. 69-77, 1965.

MEZZALIRA, S. **Contribuição ao conhecimento da estratigrafia e paleontologia do Arenito Bauru**. São Paulo: Instituto Geográfico e Geológico, 1974. 163 p. (Boletim, n. 51).

MEZZALIRA, S. Aspectos bioestratigráficos e hidrogeológicos do Grupo Bauru. *In: ENC. GEOL. HIDROGEOL.: GR. BAURU EST. S. PAULO*, 1., 1981, São Paulo. **Anais** [...]. [S. l.: s.n.], 1981. p. 20-35.

MILANI, E. J.; WIT, M. J. de. Correlations between the classic Paraná and Cape-Karoo sequences of South America and southern Africa and their basin infills flanking the Gondwanides: du Toit revisited. **Geological Society, London, Special Publications**, v. 294, n. 1, p. 319-342, 2008.

MINEROPAR. **Base de dados das estruturas geológicas do estado do Paraná**. 2005a. Disponível em: <http://www.mineropar.pr.gov.br/>. Acesso em: set. 2019.

MINEROPAR. **Base de dados das unidades litoestratigráficas do estado do Paraná**. 2005b. Disponível em: <http://www.mineropar.pr.gov.br/>. Acesso em: set. 2019.

MOSCA, A. A. O. **Caracterização Hidrológica de Duas Microbacias Visando a Identificação de Indicadores Hidrológicos para o Monitoramento Ambiental do Manejo de Florestas Plantadas**. 2003. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) — Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

MUHLMANN, H. *et al.* **Revisão Estratigráfica da Bacia do Paraná**. Ponta Grossa: PETROBRÁS/DESUL, 1974. 186 p. (Relatório DESUL, n. 444).

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

NITSCHKE, R. *et al.* **Atlas climático do estado do Paraná**. Londrina, PR. Instituto Agrônômico do Paraná - IAPAR. 2019. Disponível em: <http://www.idrparana.pr.gov.br/Pagina/Atlas-Climatico>. Acesso em 26/04/2021

OLIVEIRA, J. B. de *et al.* **Mapa Pedológico de São Paulo: legenda expandida**. Campinas: Instituto Agrônômico; Rio de Janeiro: Embrapa-Solos, 1999. 64 p.

PERIÇATO, A. J.; SOUZA, M. L. de. O Estudo da Fragilidade Potencial e Emergente na Bacia Hidrográfica do Rio das Antas, Noroeste do Paraná. **Caderno de Geografia**, v. 29, n. 59, 2019. Disponível em: <http://periodicos.pucminas.br/index.php/geografia/article/view/19826>. Acesso em: 21 abr. 2021.

PIEDADE, G.C.R. **Evolução de voçorocas em bacias hidrográficas do município de Botucatu, SP**. 1980. (Tese de Livre Docência) - FCA/UNESP, Botucatu, 161 p. 1980.

PORTO, R. L.; ZAHED, K. F.; SILVA, R. M. **PHD 307 – Hidrologia Aplicada: bacias hidrográficas**. São Paulo: Depto. de Engenharia Hidráulica e Sanitária: Escola Politécnica da USP, 1999.

PRESTES, B. M. M.; VOLKMER, S. Geomorfologia e controle estrutural de diques na Região Centro-Norte do estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 3, p. 981-992, 2017.

RAI, P, K. *et al.* A GIS-based approach in drainage morphometric analysis of Kanhar River Basin, India. **Applied Water Science**, 2014.

SANTOS, F. R.; s, E.; MANIERI, D. D. Mapeamento geomorfológico e análise fisiográfica da paisagem da bacia do rio Ivaí-PR. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA*, 13., 2009, Viçosa. **Anais [...]**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2009.

SCHOBENHAUS, C., CAMPOS, D.A., DERZE, G.R., ASMUS, H.E. 1984. **Geologia do Brasil: Texto Explicativo do Mapa Geológico do Brasil e da Área Oceânica Adjacente incluindo Depósitos Minerais, Escala 1:2.500.000**. Brasília: DNPM, 93-127.

SILVA, F. de P. e *et al.* Perfis de Referência do Grupo Bauru (K) no Estado de São Paulo. **Geociências**, São Paulo, v. 22, n. especial, p. 21-32, 2003.

SILVA, F. de P. e *et al.* Estratigrafia de subsuperfície do Grupo Bauru (K) no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 35, n. 1, p. 77-88, 2005.

SILVA, F. de P. e *et al.* Sedimentation of the Cretaceous Bauru Group in Sao Paulo, Parana Basin, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 28, n. 1, p. 25-39, 2009.

SILVA, J. M. F. da; FIORI, C. O; SILVEIRA, C. T. da. Geomorfometria: uma análise de conceitos, métodos e aplicações em geografia física. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 10, n. 2, p. 558-583, 2017.

SOARES P.C. **O Mesozóico gonduânico no Estado de São Paulo**. Tese de Doutorado, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Universidade Estadual Paulista, 152p. 1973.

SOARES, P. C. *et al.* Ensaio de caracterização estratigráfica do Cretáceo no Estado de SP. *In*: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 2., 1979, Rio Claro. **Anais [...]**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1979. p. 30-31.

SOARES, P. C. *et al.* Ensaio de caracterização estratigráfica do Cretáceo no Estado de São Paulo: Grupo Bauru. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 10, n. 3, p. 177-185, 1980.

STEIN, D. P. *et al.* Geologia de parte dos vales dos rios Paraná e Paranapanema. *In*: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 2., 1979, Rio Claro. **Anais [...]**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1979. p. 291-306.

STEVAUX, J. C.; LATRUBESSE, E. M. **Geomorfologia Fluvial**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2017. 334 p.

STRAHLER, A. N. Hypsometric (area-altitude) – analysis of erosional topography. **Geological Society of America Bulletin**, v. 63, n. 10, p. 1117-1142, 1952.

STRUGALE, M. *et al.* Compartimentação estrutural das Formações Pirambóia e Botucatu na região de São Jerônimo da Serra, Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 34, p. 303-316, 2004.

SUGUIO, K. **Formação Bauru**: calcários e sedimentos detríticos associados. 1973. 236 p. Tese (Livre Docência) — Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1973a. 2 v.

SUGUIO, K. **Introdução à sedimentologia**. São Paulo: Edgard Blucher: Ed. da Universidade de São Paulo, 1973b. 317 p.

SUGUIO, K.; BARCELOS, J. H. Calcretes of the Bauru (Cretaceous) Brasil: petrology and geological significance. **Boletim Instituto Geológico**, São Paulo, v. 14, p. 49-54, 1983.

SUGUIO, K.; BARCELOS, J. H.; MATSUI, E. Significados paleoclimáticos e paleoambientais das rochas calcárias da Formação Caatinga (BA) e do Grupo Bauru (MG/SP). *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31., 1980, Recife. **Anais [...]**. Recife: SBG, 1980. p. 607-616.

TRAJANO, S. R. R. da S. *et al.* **Análise morfométrica de bacia hidrográfica**: subsídio à gestão territorial, estudo de caso no alto e médio Mamanguape. Campinas: Embrapa Gestão Territorial, 2012. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, v. 2).

VASCONCELOS, V. *et al.* Sistema de Classificação geomorfométrica baseado em uma arquitetura sequencial em duas etapas: árvore de decisão e classificador espectral, no Parque Nacional Serra da Canastra. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Brasília, v. 13, n. 2. 2012.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: Mc Graw-Hill do Brasil, 1975.

WASHBURNE, C. W. **Petroleum Geology of the State of São Paulo**. São Paulo: Inst. Geogr. Geológico, 1930. (Boletim, v.22).

WENTWORTH, C. K. A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments. **The Journal of Geology**, v. 30, n. 5, p. 377-392, 1922.

WHITE, I. C. **Relatório final da Comissão de Estudos das Minas de Carvão de Pedra do Brasil**. Rio de Janeiro: DNPM, 1908. 617 p.

ZALÁN, P. V. *et al.* The Paraná Basin, Brazil. **AAPG Memoir**, n. 51, p. 681-708, jan. 1990. Disponível em:
https://www.researchgate.net/publication/284534883_The_Parana_Basin_Brazil.
Acesso em: 25 abr. 2021.