UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
CURSO DE GEOLOGIA

Erick dos Santos Meier

CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA DAS ROCHAS E MORFOLÓGICA, FÍSICA E QUÍMICA DOS SOLOS VULCÂNICOS NA PORÇÃO NORTE DO MUNICÍPIO DE SÃO JOAQUIM, SANTA CATARINA

Florianópolis
2025

Erick dos Santos Meier

CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA DAS ROCHAS E MORFOLÓGICA, FÍSICA E QUÍMICA DOS SOLOS VULCÂNICOS NA PORÇÃO NORTE DO MUNICÍPIO DE SÃO JOAQUIM, SANTA CATARINA

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Geologia do Centro de Filosofia e Ciências Humanas da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Geologia

Orientador: Prof. Arcângelo Loss, Dr.
Coorientador: Erico Albuquerque dos Santos, Dr.

Florianópolis

2025

Meier, Erick dos Santos
Caracterização geoquímica das rochas e morfológica, física e química dos solos vulcânicos na porção norte do município de São Joaquim, Santa Catarina / Erick dos Santos Meier ; orientador, Arcângelo Loss, coorientador, Erico Albuquerque dos Santos, 2026.
116 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Graduação em Geologia, Florianópolis, 2026.

Inclui referências.

1. Geologia. 2. Neossolos. 3. Relação rocha-solo. 4. Serra Catarinense. 5. Grupo Serra Geral. I. Loss, Arcângelo. II. Santos, Erico Albuquerque dos. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Geologia. IV. Título.

Erick dos Santos Meier

CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA DAS ROCHAS E MORFOLÓGICA, FÍSICA E QUÍMICA DOS SOLOS VULCÂNICOS NA PORÇÃO NORTE DO MUNICÍPIO DE SÃO JOAQUIM, SANTA CATARINA

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de Bacharel em Geologia e aprovado em sua forma final pelo Curso de Graduação em Geologia.

Florianópolis, 09 de dezembro de 2025.

Documento assinado digitalmente
Roberto Sacks de Campos
Data: 20/03/2026 11:29:44-0300
CPF: ***.831.440-**
Verifique as assinaturas em https://v.ufsc.br
ICP-Edu

Prof. Roberto Sacks de Campos, Dr.
Coordenação do Curso

Banca examinadora

Documento assinado digitalmente
Arcangelo Loss
Data: 19/03/2026 20:04:17-0300
CPF: ***.005.567-**
Verifique as assinaturas em https://v.ufsc.br
ICP-Edu

Prof. Arcângelo Loss, Dr.
Orientador

Documento assinado digitalmente
Breno Leitao Waichel
Data: 24/03/2026 10:15:43-0300
CPF: ***.202.350-**
Verifique as assinaturas em https://v.ufsc.br
ICP-Edu

Prof. Breno Leitão Waichel, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Documento assinado digitalmente
GABRIEL PHELIPE NASCIMENTO ROSOLEM
Data: 20/03/2026 14:15:34-0300
CPF: ***.048.828-**
Verifique as assinaturas em https://v.ufsc.br
GOV.BR

Eng. Gabriel Phelipe Nascimento Rosolem, Dr.

Florianópolis, 2025.

Pelo imenso esforço tectônico, hoje afloro. Aos meus pais, dedico-lhes.

AGRADECIMENTOS

Gratidão é uma palavra tão curta e, ao mesmo tempo, tão densa.

Hoje estou aqui escrevendo estas palavras como se fosse a última página da minha caderneta de campo. Quando folheio essa caderneta, que comecei a escrever lá em 2019, e percebo onde cheguei hoje…

Lembro-me da minha primeira saída de campo em Geologia Geral: aquele olhar confuso em meio aos ignimbritos da Ponta das Campanhas, tentando anotar tudo o que a professora Lua dizia.

Os semestres foram passando, fui me adaptando ao ambiente, conhecendo a ilha, fazendo novas amizades.

E, por falar em amizade, quero dedicar este parágrafo à Luma e à Sofia. A graduação ao lado de vocês foi tão leve que nem vi o tempo passar. Digo que vocês foram, são e sempre serão as irmãs que eu não pude ter. Obrigado pelas mais de 700 horas de saídas de campo, pelos trios e duplas em cada relatório ou apresentação de seminário, pelos jantares de início e fim de semestre, pelos trilhões de gargalhadas que já demos juntos e pelas muitas que ainda daremos. É uma honra estar sobre o mesmo escudo cristalino que vocês e que a vida nos permita desbravar muitos outros escudos, crátons, bacias sedimentares, orógenos, mares… para sempre nós três.

Agradeço também todo e qualquer aprendizado que pude absorver dos meus professores durante a graduação, em especial à professora Luana pela impecável orientação nas nossas colaborações em trabalhos científicos e pelas conversas profundas sobre geologia, sempre regadas a café. Ao professor Arcângelo e ao Erico por terem aceitado me guiar durante a elaboração deste trabalho, e a todo o corpo docente do Departamento de Geologia da UFSC.

Estou ansioso para começar a escrever na minha nova caderneta… *keep rocking!*

“Na natureza nada se cria, nada se perde, tudo se transforma”.

(Lavoisier, 1789, p. [prefácio].)

RESUMO

O Grupo Serra Geral (GSG), principal unidade vulcânica da Bacia do Paraná (PB), é composto por extensos derrames de rochas basálticas, andesíticas, dacíticas e riolíticas, que estão distribuídos em sucessões estratigráficas desde a porção meridional do Brasil, até partes do Uruguai, Paraguai, Argentina e remanescentes na Angola e Namíbia. Na porção Norte do município de São Joaquim, Santa Catarina, afloram solos derivados do intemperismo dessas rochas, apresentando ampla variabilidade morfológica, física e química. Este trabalho integra dados de campo, análises laboratoriais e caracterização geoquímica das rochas para compreender as relações entre as litologias do GSG e o desenvolvimento dos solos vulcânicos na região. Foram analisados dez perfis representativos de solos e suas respectivas rochas de origem. Por meio das análises morfológicas, químicas e físicas, foram identificadas as classes dos Neossolos (n = 5) e Nitossolos (n = 4), além dos já mapeados Cambissolos (n = 2). As análises geoquímicas permitiram identificar magmas-tipo Urubici e Pitanga (A-Ti) e Esmeralda e Gramado (B-Ti) sendo possível relacionar variações nas composições geoquímicas das rochas diante à distribuição espacial das mesmas com as propriedades diagnósticas dos solos, como pH, acidez potencial, soma e saturação de bases, capacidade de troca catiônica (CTC), CTC da argila e composição textural. Os resultados evidenciam que solos desenvolvidos sobre rochas de composição básica a intermediária (B-Ti e A-Ti) apresentam menor acidez e maior saturação por bases, enquanto aqueles sobre litologias ácidas (B-Ti) exibem maior acidez e maior capacidade de troca catiônica. A identificação de Nitossolos, em proporção significativa, indica potencial agrícola superior ao indicado pelo mapeamento pedológico regional na escala 1:250.000, ressaltando a importância de revisões cartográficas mais detalhadas e do manejo adequado para o pleno aproveitamento das terras cultiváveis de São Joaquim.

Palavras-chave: relação rocha-solo, Grupo Serra Geral, Nitossolos, Neossolos, Serra Catarinense, análise integrada.

ABSTRACT

The Serra Geral Group (SGG), the major volcanic unit of the Paraná Basin, is composed of extensive basaltic, andesitic, dacitic, and rhyolitic lava flows arranged in stratigraphic successions that extend from southern Brazil into Uruguay, Paraguay, Argentina, and remnants in Angola and Namibia. In the north sector of the municipality of São Joaquim, Santa Catarina, soils derived from the weathering of these volcanic rocks crop out, displaying substantial morphological, physical, and chemical variability. This study integrates field observations, laboratory analyses, and geochemical characterization of the parent rocks to evaluate the relationships between SGG lithologies and the development of volcanic soils in the region. Ten representative soil profiles and their corresponding parent materials were analyzed. Morphological, physical, and chemical data allowed the identification of Entisols (n = 5) and Ultisols (n = 4), in addition to the Inceptsols (n = 2) previously mapped in the area. Geochemical analyses identified the Urubici and Pitanga (H-Ti) magma-types, as well as the Esmeralda and Gramado (L-Ti) magma-types, enabling the association between geochemical variations, spatial distribution of rock types, and diagnostic soil properties such as pH, potential acidity, sum and saturation of bases, cation exchange capacity (CEC), clay CEC, and textural composition. The results demonstrate that soils developed over basic to intermediate lithologies (L-Ti and H-Ti) show lower acidity and higher base saturation, whereas those derived from acidic compositions (L-Ti) exhibit higher acidity and increased cation exchange capacity. The identification of Ultisols in significant proportion indicates an agricultural potential higher than that suggested by the regional pedological map at the 1:250,000 scale, reinforcing the need for more detailed cartographic updates and proper land management to enhance the agricultural use of the cultivable areas of São Joaquim.

Keywords: rock–soil relationship; Serra Geral Group; Ultisols; Entisols; Southern Brazilian Highlands; integrated analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de localização dos pontos amostrados no município de São Joaquim – SC. 36
Figura 2 - distribuição global das LIP's após a formação do Supercontinente Pangea em 320 Ma. Idades anotadas denotam o início da fase principal ou primeiro pulso magmático. Linhas pontilhadas conectam LIP's oceânicas posteriormente separadas pela expansão do fundo do mar. O comprimento inferido de algumas LIP's é mostrado por uma linha tracejada. 20
Figura 3 - Classificação das LIP's 21
Figura 4 - Reconstrução da LIP da PMPE. A porção da PMP está subdividida em termos quimio-estratigráficos baseada nas distribuições originais apresentadas por Stewart et al. (1996). 23
Figura 5 - Tipos de morfologias conhecidas para lavas básicas e ácidas. 25
Figura 6 - Colocação de fluxos de lavas por inflação - Pouco após o extravasamento da lava, forma-se uma crosta superficial que isola termicamente o interior do fluxo. O crescimento do corpo de lava ocorre por injeção contínua de um novo pulso, que promove a inflação da crosta já resfriada — um processo que pode perdurar por dias, meses ou até anos. O fluxo de lava consolidado apresenta uma estrutura interna composta por um núcleo maciço com topo fraturado, rico em vesículas. 26
Figura 7 - Perfil esquemático mostrando em A) as fases iniciais eruptivas de magmas ácidos com fontes fumegantes contínuas, fornecendo lava para a construção de extensas pilhas vulcânicas. B) tempo 2 das erupções ácidas com destaque para a intumescência e a expansão lateral dos derrames. 27
Figura 8 - Perfis esquemáticos para a evolução do vulcanismo e a configuração final dos rele-vos vulcânicos, sendo A) tempo 1 da evolução do vulcanismo fissural típico de PBC's, seccionados por outros pulsos magmáticos mais jovens, originando diques e soleiras. B) tempo 2 da observação da construção do paleorelevo. C) tempo 3 da distribuição atual dos corpos vulcânicos intrusivos e intrusivos rasos submetidos aos processos de dissecação e basculamento regional do planalto sul. 28
Figura 9 - Demonstração dos Níveis de Hierarquia Taxonômica do Relevo. 30
Figura 10 - Representação esquemática das formas de relevo. 31
Figura 11 - Perfil esquemático de um solo com os principais horizontes e subhorizontes. 33

Figura 12 - Mapa geológico simplificado da Bacia do Paraná com destaque para a abrangência das supersequências que compõem o arcabouço estratigráfico da BP. 39
Figura 13 - Compartimentação fisiográfica do Estado de Santa Catarina. 46
Figura 14 - Diagrama TAS com a classificação das amostras. Em vermelho, A-Ti; em azul, B-Ti. 53
Figura 15 - Diagrama R_1–R_2 demostrando a semelhança composicional em relação ao TAS. Em vermelho, A-Ti; em azul, B-Ti. 54
Figura 16 - Diagramas binários demonstrando os critérios para discriminar diferentes tipos de magmas-tipo. A) MgO vs. TiO2. B) Ti/Y vs. Ti/Zr. Em vermelho, A-Ti; em azul, B-Ti. 55
Figura 17 - Diagramas bivariantes tipo Harker com TiO_2 no eixo X vs. (SiO_2, MgO, Al_2O_3, CaO, Na_2O, K_2O, P_2O_5 e FeOt). Em vermelho, A-Ti; em azul, B-Ti. 56
Figura 18 - A) Vista geral do afloramento. B) Localização na paisagem. C) Perfil de solo 57
Figura 19 - A) vista geral do afloramento. B) perfil de solo. C) localização do perfil na paisagem 60
Figura 20 – A) vista geral do afloramento. B) localização do perfil na paisagem. C) perfil de solo. 64
Figura 21 – A) vista geral do afloramento. B) localização do perfil na paisagem. C) perfil de solo. 67
Figura 22 - A) vista geral do afloramento. B) localização do perfil na paisagem. 69
Figura 23 - A) localização do perfil na paisagem. B) perfil de solo. 71
Figura 24 - A) vista geral do afloramento. B) localização do perfil na paisagem. C) perfil de solo. 73
Figura 25 - A) vista geral do afloramento. B) localização do perfil na paisagem. C) perfil de solo. 76
Figura 26 - A) vista geral do afloramento. B) localização do perfil na paisagem. C) perfil de solo 78
Figura 27 - A) localização do perfil na paisagem. B) perfil de solo. 81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Descrições morfológicas do perfil de solo LSJ-01. 58
Tabela 2 - Análises físicas e químicas do perfil LSJ-01. 59
Tabela 3 - Descrições morfológicas do perfil de solo LSJ-02. 61
Tabela 4 - Análises físicas e químicas do perfil LSJ-02. 61
Tabela 5 - Descrição morfológica do perfil de solo LSJ-03. 63
Tabela 6 - Análises físicas e químicas do perfil LSJ-03. 63
Tabela 7 - Descrições morfológicas do perfil de solo LSJ-04. 65
Tabela 8 - Análises físicas e químicas do perfil LSJ-04. 65
Tabela 9 - Descrição morfológica do perfil de solo LSJ-05. 67
Tabela 10 - Análises físicas e químicas do perfil LSJ-05. 68
Tabela 11 - Descrição morfológica do perfil de solo LSJ-06A. 69
Tabela 12 - Análises físicas e químicas do perfil LSJ-06A. 70
Tabela 13 - Descrição morfológica do perfil de solo LSJ-06B. 71
Tabela 14 - Análises físicas e químicas do perfil LSJ-06B. 72
Tabela 15 - Descrição morfológica do perfil de solo LSJ-07. 74
Tabela 16 - Análises físicas e químicas do perfil LSJ-07 74
Tabela 17 - Descrição morfológica do perfil de solo LSJ-08. 77
Tabela 18 - Análises físicas e químicas do perfil LSJ-08. 77
Tabela 19 - Descrição morfológica do perfil de solo LSJ-09. 79
Tabela 20 - Análises físicas e químicas do perfil LSJ-09. 79
Tabela 21 - Descrição morfológica do perfil de solo LSJ-10. 81
Tabela 22 - Análises físicas e químicas do perfil LSJ-10. 82
Tabela 23 – Comparação entre dados geoquímicos e pedológicos 84
Tabela 24 – Compilação dos dados geoquímicos das rochas, físicos e químicos dos solos e de altitude e relevo dos horizontes superficiais. 87
Tabela 25 - Compilação dos dados geoquímicos das rochas, físicos e químicos dos solos e de altitude e relevo dos horizontes subsuperficiais. 87

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

GSG	Grupo Serra Geral
SiBCS	Sistema Brasileiro de Classificação de Solos
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPAGRI	Empresa de Pesquisa Agropecuária de Extensão Rural de Santa Catarina
TAS	*Total Álcalis vs. Silica*
LIP's	*Large Igneous Provinces*
PBC's	Províncias Basálticas Continentais
PMPE	Província Magmática Paraná-Etendeka
A-Ti	Alto Titânio
B-Ti	Baixo Titânio
BP	Bacia do Paraná
ID-TIMS	*Thermal Ionization Mass Spectrometry Isotopic Dilution*
FVS	Formação Vale do Sol
FP	Formação Palmas
LabLam	Laboratório de Laminação
IGc	Instituto de Geociências
USP	Universidade de São Paulo
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
FRX	Fluorescência de Raios-X
ICP-MS	*Inductively Coupled Plasma Mass Spectometry*
CCA	Centro de Ciências Agrárias
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
GCDKit	*Geochemical Data Toolkit*
SB	Soma de Bases
m%	Saturação por Alumínio
V%	Saturação por Bases
C-org	Carbono Orgânico
pH	Potencial Hidrogeniônico

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 16
2 OBJETIVO GERAL 17
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 17
3 JUSTIFICATIVA 17
4 REFERENCIAL TEÓRICO 19
4.1.1 Grandes Províncias Ígneas (LIP's) 19
4.1.2 Gênese, morfologia e influência dos derrames vulcânicos na configuração de relevos 25
4.1.3 Formação de relevos vulcânicos 29
4.1.4 Processos de formação e evolução de solos vulcânicos 32
5 AREA DE ESTUDO 35
5.1.1 Localização e acessos 35
5.1.2 Clima 36
5.1.3 Vegetação 37
5.1.4 Geologia regional 38
5.1.4.1 Geologia local 43
5.1.5 Geomorfologia regional 45
5.1.5.1 Geomorfologia local 46
5.1.6 Pedologia regional 47
5.1.6.1 Pedologia local 48
6 MATERIAIS E METODOS 49
6.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 49
6.2 ETAPA DE CAMPO 50
6.3 ANÁLISE GEOQUÍMICA DAS ROCHAS 51
6.4 ANÁLISES MORFOLÓGICAS, FÍSICAS E QUÍMICAS DOS SOLOS 51
7 RESULTADOS 52
7.1 GEOQUÍMICA E DIAGRAMAS CLASSIFICATÓRIOS 52
7.2 CLASSIFICAÇÃO TAXONÔMICA DOS PERFIS DE SOLO 56
7.2.1 Perfil LSJ-01 57
7.2.2 Perfil LSJ-02 60
7.2.3 Perfil LSJ-03 62
7.2.4 Perfil LSJ-04 63

7.2.5 Perfil LSJ-05 66
7.2.6 Perfil LSJ-06A 68
7.2.7 Perfil LSJ-06B 70
7.2.8 Perfil LSJ-07 73
7.2.9 Perfil LSJ-08 76
7.2.10 Perfil LSJ-09 78
7.2.11 Perfil LSJ-10 81
8 DISCUSSÕES 83
8.1 CORRELAÇÕES ENTRE GEOLOGIA E PEDOLOGIA 83
8.1.1.1 Solos desenvolvidos sobre basaltos A-Ti da FVS 88
8.1.1.2 Solos desenvolvidos sobre andesitos basálticos B-Ti da FVS 89
8.1.1.3 Solo desenvolvido sobre dacito B-Ti da FP 90
8.1.2 Questionamentos 91
9 CONCLUSÕES 95
10 REFERÊNCIAS 98
APÊNDICE A – FRX NORMALIZADO EM BASE ANIDRA DAS AMOSTRAS DE ROCHA 116

1 INTRODUÇÃO

O município de São Joaquim, localizado na região serrana do estado de Santa Catarina, tem sua geologia composta por rochas vulcânicas (*e.g.,* basaltos, andesitos, dacitos e riolitos) do Grupo Serra Geral (Horn *et al.*, 2022). Estudos desenvolvidos no município têm destacado a importância das relações entre geologia e pedologia nos processos de formação dos solos vulcânicos da Serra Catarinense (*e.g.,* Santos *et al*., 2019; Santos *et al*., 2023; Santos, 2024; Santos *et al*., 2025).

No entanto, ainda há uma imprecisão no mapeamento pedológico de São Joaquim em decorrência da escala 1:250.000 do mapa pedológico do Estado de Santa Catarina (Potter *et al*., 2004) e uma lacuna no mapeamento geológico, principalmente na porção Norte do município, posto que estudos mais recentes foram realizados na porção central do município conhecida como “Platô de São Joaquim” (*e.g.,* Besser *et al*., 2015; Besser, 2017; Besser *et al*., 2018). Apesar destes avanços, ainda persistem limitações quanto ao reconhecimento integrado entre geologia, geomorfologia e pedologia, especialmente em áreas que demandam maior detalhe cartográfico e melhor correlação rocha-solo.

Diante desse cenário, realizou-se uma caracterização geoquímica detalhada das rochas da porção Norte do município de São Joaquim, bem como, análises físico-químicas dos solos representativos destas rochas, a fim de estabelecer uma relação mais precisa entre as propriedades geológicas e pedológicas. Além disso, foram comparadas as unidades geológicas com as unidades geomorfológicas e pedológicas do município, proporcionando um entendimento integrado e abrangente da influência das rochas na formação do relevo e dos solos.

Foram analisadas 11 amostras de rocha, predominantemente de composição básica, abrangendo os campos de basalto, andesito basáltico e dacito segundo o diagrama classificatório Total Álcali *versus* Sílica (TAS) de Le Bas *et al.* (1986). Da mesma forma, foram avaliados 11 perfis de solos correlacionados às amostras dessas rochas, com registro das características morfológicas de cada subhorizonte, conforme o Manual de Descrição de Solos no Campo (Santos *et al*., 2015) e análises físicas e químicas detalhadas de acordo com as metodologias da Embrapa (Teixeira *et al*., 2017) e Tedesco *et al*. (1995) culminando na classificação desses solos até o seu 4º nível categórico (ordem, subordem, grande grupo e subgrupo),

seguindo as diretrizes do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) (Santos *et al*., 2025).

Para orientar tais investigações, considerou-se, em especial, se a diversidade geoquímica das rochas do GSG se relacionam de tal forma com as propriedades morfológicas, físicas e químicas dos solos e ao desenvolvimento de horizontes diagnósticos, bem como se o mapeamento pedológico disponível reflete adequadamente as condições observadas em campo.

2 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo realizar uma caracterização geoquímica das rochas do Grupo Serra Geral e dos solos formados pelo intemperismo dessas rochas na porção Norte do município de São Joaquim para um melhor entendimento de como a geologia pode influenciar na pedologia.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

i. Caracterizar geoquímicamente e classificar as rochas;
ii. Descrever a morfologia, física e química e classificar os solos;
iii. Correlacionar as propriedades físicas e químicas dos solos com as propriedades geoquímicas das rochas;
iv. Comparar as unidades geológica e pedológica na porção Norte do município de São Joaquim;

3 JUSTIFICATIVA

A importância do presente trabalho reside na necessidade do aprimoramento do conhecimento geoquímico e pedológico da porção Norte do município de São Joaquim, para qual as informações fornecidas tanto pelo mapeamento pedológico do estado, elaborado em escala 1:250.000, quanto pelo mapeamento geológico na escala 1:1.000.000 se mostram insuficientes para representar a complexidade dos solos e a diversidade das rochas de São Joaquim.

Embora existam numerosos estudos sobre o Grupo Serra Geral (GSG), abordando aspectos como litoestratigrafia, geocronologia e geoquímica das rochas vulcânicas (*e.g*., Milani et al., 2007; Besser *et al*., 2015; Besser, 2017; Besser *et al*., 2018; Schobbenhaus *et al.,* 2022), as informações fornecidas pelo mapeamento geológico regional ainda são insuficientes para representar adequadamente a complexidade destas rochas vulcânicas e suas relações com os solos do município.

O mapeamento pedológico disponível atualmente (*e.g.,* Potter *et al.,* 2004) carece de correlações detalhadas que permitam relacionar com a precisão necessária os perfis de solos observados em campo com as rochas das quais eles são formados. Esta lacuna limita a compreensão dos comportamentos físicos e químicos dos solos e desalinha o mapeamento pedológico atual com a realidade geológica e geomorfológica da área de estudo.

A caracterização pedológica em detalhe possui relevante importância, especialmente devido ao potencial agrícola da Serra Catarinense, sendo influenciada diretamente pelas características dos solos, no manejo das terras e na sua produtividade. O desconhecimento detalhado das propriedades pedológicas limita a aplicação de tais práticas agrícolas e o aproveitamento pleno das capacidades dos solos.

Tendo em vista a incerteza na correlação direta entre as rochas e os seus produtos de alteração, os solos, algumas perguntas surgem como, por exemplo:

v. A variabilidade geoquímica das rochas vulcânicas do GSG influencia diretamente as características pedológicas dos solos da porção Norte do município de São Joaquim?

vi. Há correlação direta entre as composições geoquímicas específicas das litologias do GSG e as propriedades morfológicas, físicas e químicas dos solos formados?

vii. Como as características geoquímicas das rochas parentais influenciam no desenvolvimento dos horizontes diagnósticos observados nos perfis de solo estudados?

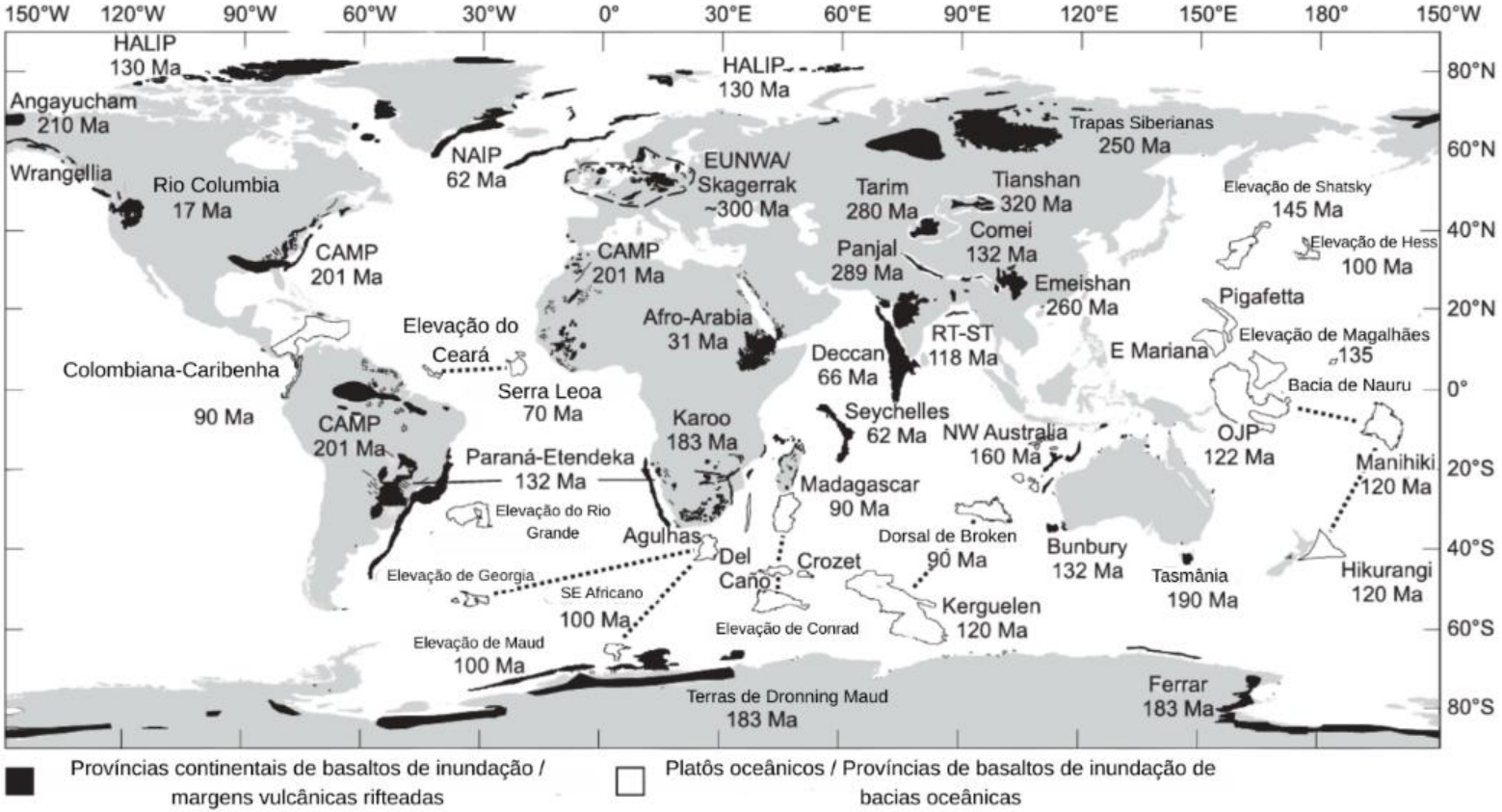
O mapeamento pedológico disponível reflete adequadamente a realidade observada em campo, ou será preciso propor ajustes adicionais?

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1.1 Grandes Províncias Ígneas (LIP's)

As Grandes Províncias Ígneas (LIP's – *Large Igneous Provinces*) são eventos magmáticos que se desenvolvem em ambientes geotectônicos intraplaca, com origem associada a esforços tensionais distensivos na crosta. São caracterizadas pela volumosa extrusão de magmas predominantemente máficos, geralmente superiores a 100 mil km³, frequentemente ultrapassando 1 milhão de km³ (Self *et al*., 1998; Bryan & Ernst, 2008; Ernst, 2014).

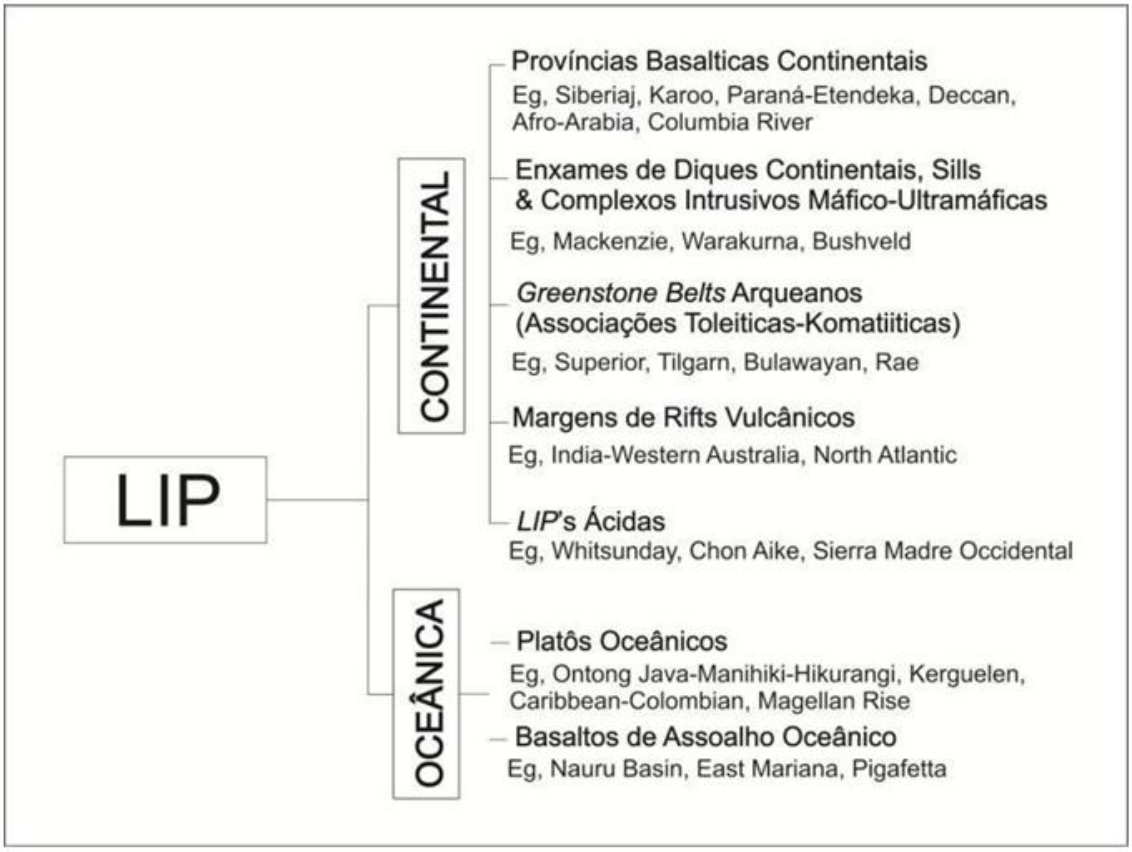
Figura 2 - distribuição global das LIP's após a formação do Supercontinente Pangeia em 320 Ma. Idades anotadas denotam o início da fase principal ou primeiro pulso magmático. Linhas pontilhadas conectam LIP's oceânicas posteriormente separadas pela expansão do fu ndo do mar. O comprimento inferido de algumas LIP's é mostrado por uma linha tracejada.



Abreviações em inglês: CAMP = *Central Atlantic Magmatic Province*; EUNWA = *European*, NW Africa; HALIP = *High Arctic Large Igneous Province*; NAIP = *North Atlantic Igneous Province*; OJP = *Ontong Java plateau*; RT-ST = *Rajmahal Traps-Sylhet Traps*.
Fonte: versão original de Bryan e Ernst (2008) e traduzido de Ernst (2014).

Estas manifestações geológicas (Fig. 2) ocorrem em ambientes continentais e oceânicos, destacando-se pela breve duração temporal, tipicamente inferior a 5 milhões de anos (Ernst, 2014; Machado *et al.,* 2018). As LIP's são fundamentais no entendimento da evolução geológica terrestre, frequentemente associadas a fragmentações continentais, mudanças ambientais globais, eventos de extinção em massa, além da formação de depósitos minerais e hidrocarbonetos (Mahoney e Coffin, 1997; Ernst, 2014).

Figura 3 - Classificação das LIP’s



Fonte: traduzido de Bryan e Ernst (2008) e retirado de Fontoura (2024).

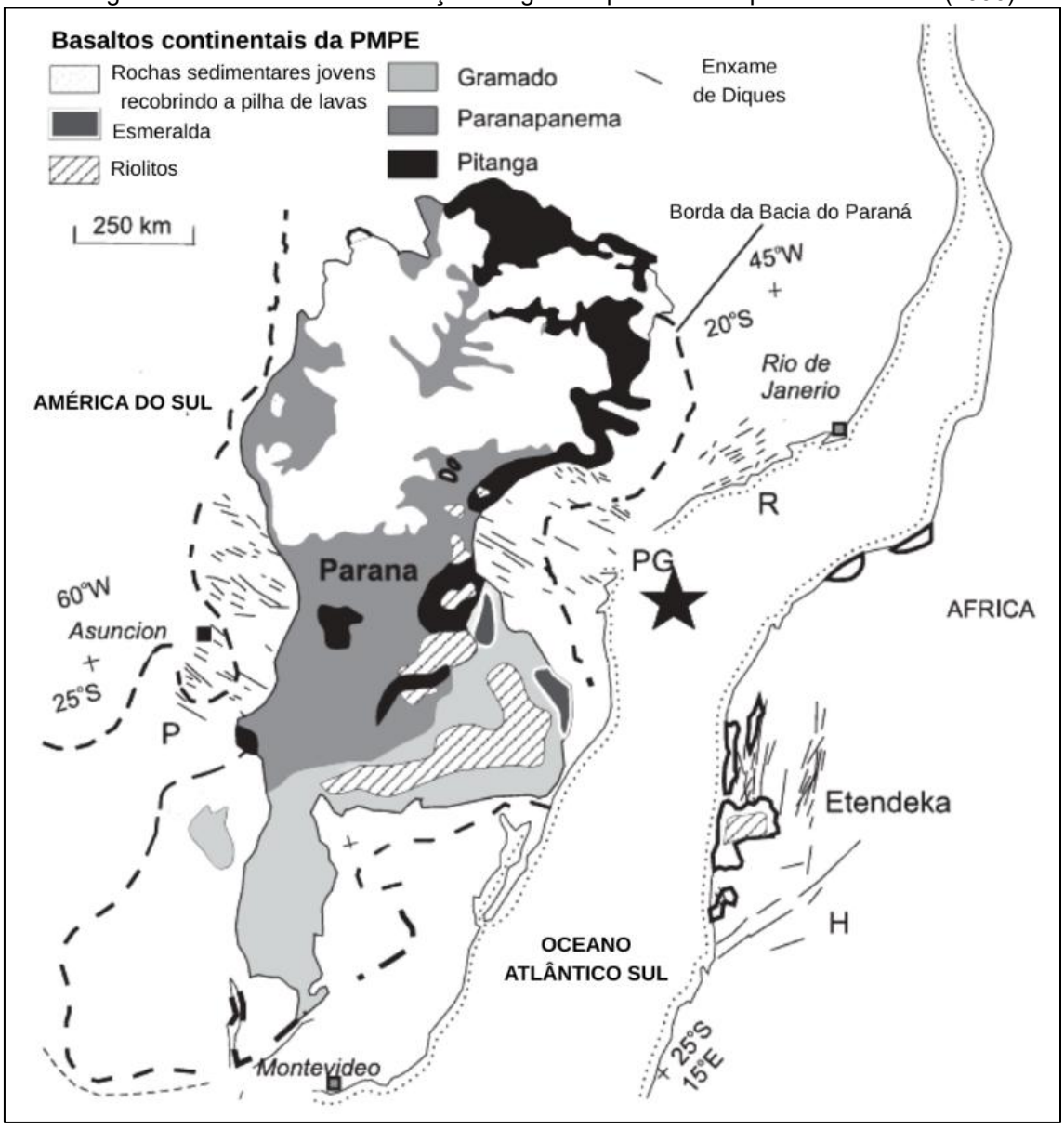
As Províncias Basálticas Continentais (PBC’s) compõem as LIP’s (Coffin e Eldholm, 1991; 1994) (Fig. 3) e são objetos de amplo estudo sobre os registros associados às rochas vulcânicas máficas ricas em Fe e Mg (Bryan e Ernst, 2008; Bryan *et al.,* 2010). Nas PBC’s há o predomínio de rochas básicas e ácidas, geralmente de afinidade toleítica que expressam as manifestações físicas dos processos mantélicos (Burchardt, 2018).

White e McKenzie (1995) propõem que algumas PBC's poderiam ter suas origens relacionadas a superplumas, ligadas a eventos distensivos pelo adelgaçamento crustal durante processos de rifteamento. Alguns autores (Campbell e Griffiths, 1990; Arndt e Christenses, 1992), seguindo o modelo de plumas, destacam que as assinaturas geoquímicas e isotópicas deveriam ser compatíveis com uma contribuição do manto astenosférico na geração dos basaltos.

Um exemplo emblemático dessas províncias é a Província Magmática Paraná-Etendeka (PMPE) (Fig. 4), considerada uma das maiores e mais significativas do mundo, abrangendo aproximadamente 1,1 milhão de km² na porção meridional do Brasil, incluindo partes do Uruguai, Paraguai, Argentina e cerca de 100.000 km² na costa oeste africana (e.g., Cordani e Vandoros, 1967; Erlank *et al.,* 1984; Bellieni *et al*., 1984b).

A pilha de lavas da PMPE é dominada por basaltos predominantemente toleíticos (> 90% em volume), embora ocorram também quantidades significativas de riolitos e riodacitos ao longo da margem continental brasileira e em Etendeka (Bellieni *et al.,* 1984b; Peate *et al.,* 1992; Hawkesworth *et al.*, 1992; Peate, 1997). Seis tipos principais de magmas tipo foram identificados com base em abundâncias de elementos maiores e traços: Urubici, Pitanga, Paranapanema (alto-TiO_2), Ribeira, Gramado e Esmeralda (baixo-TiO_2) (Peate *et al.,* 1992).

Figura 4 - Reconstrução da LIP da PMPE. A porção da PMP está subdividida em termos quimio-estratigráficos baseada nas distribuições originais apresentadas por Stewart et al. (1996).



Abreviações: H = Enxame de Diques da Baía de Hentis-Outjo; PG = Enxame de Diques do Arco de Ponta Grossa; R = Enxame de Diques do Rio de Janeiro; P = Enxame de Diques do Paraguai.
Fonte: modificado de Thiede e Vasconcelos (2010) e traduzido de Ernst (2014).

O evento principal do magmatismo da PMPE ocorreu entre 129–134 Ma (Peate *et al*., 1992; Hawkesworth *et al.,* 1992), sendo este, balizado por métodos de datações via ^{40}Ar–^{39}Ar e U–Pb, sendo o primeiro, responsável por definir um intervalo estreito para as erupções principais. Dados obtidos por Thiede e Vasconcelos (2010), confirmam resultados anteriores de 134,7 ± 1 Ma para a extrusão da PMPE (Renne *et al*., 1992; 1996a; 1996b; 1997), sugerindo que a duração do vulcanismo foi inferior a 1,2 Ma.

Mais recentemente, Gomes e Vasconcelos (2021) compilaram dados de ^{40}Ar–^{39}Ar *step-heating* e U–Pb em zircão/baddeleyita previamente publicados e re-analisaram as idades do vulcanismo da PMPE, obtendo valores entre 135,0 ± 0,6 Ma para os estágios iniciais da erupção, com os maiores eventos durando até 133,2 ± 0,3 Ma. Ainda para os autores, tal compilação e reanalise dos dados, confirma a brevidade de 1,6 a 3,0 Ma para a fase principal do vulcanismo da PMPE.

As assinaturas geoquímicas das LIP's frequentemente revelam composições enriquecidas em elementos incompatíveis, com altos valores iniciais de razões isotópicas de Sr e baixos valores de Nd, além de depleções em elementos como Nb e Ta (Mantovani *et al*., 1985; Hawkesworth *et al*., 1992; Peate *et al*., 1992; Arndt *et al*., 1993; Garland *et al.,* 1996; Machado *et al*., 2018). Essas características são indicativas de fontes mantélicas heterogêneas, resultantes de misturas entre componentes mantélicos profundos e litosféricos enriquecidos por processos metassomáticos prévios (Arndt *et al*., 1993; Garland *et al.,* 1996).

No caso da PMPE, os basaltos apresentam duas categorias geoquímicas principais: Alto e Baixo TiO_2, que refletem variações na profundidade e no grau de fusão parcial do manto (Cox, 1979; Bellieni *et al*., 1984; Peate *et al.,* 1992; Garland *et al*., 1996; Machado *et al*., 2018). Os basaltos de Alto-Ti são produtos de fusão parcial em maiores profundidades, enquanto os de Baixo-Ti são gerados por fusão parcial em profundidades mais rasas, resultando em diferenças significativas nas concentrações de TiO_2, P_2O_5, Sr e razões como Zr/Y.

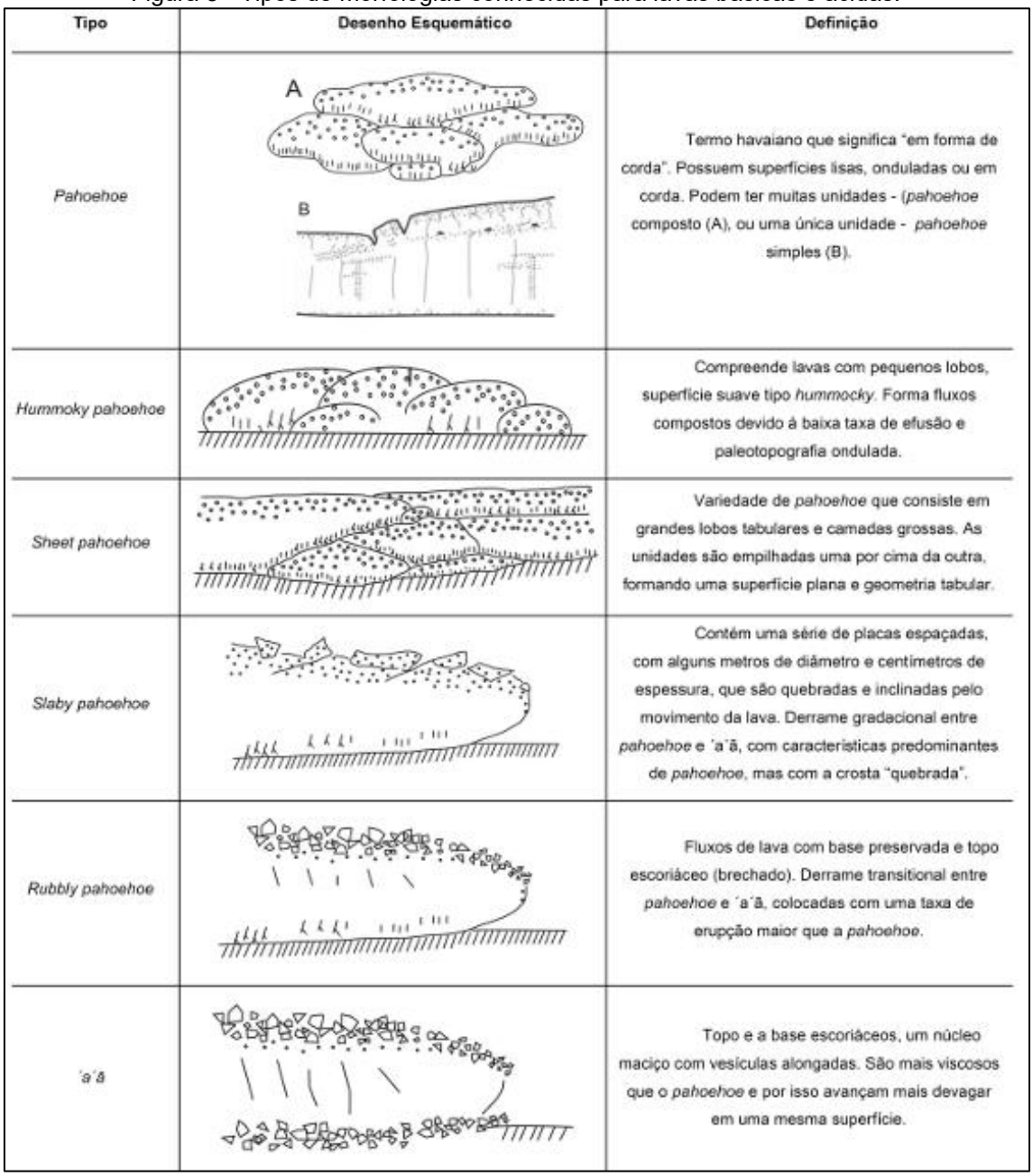
Outros autores ainda propõem a origem destas rochas no manto litosférico, com assinaturas geoquímicas e isotópicas distintas das plumas, para explicar características de basaltos A-Ti e B-Ti como nas rochas da PMPE (Piccirillo e Melfi, 1988; Peate e Hawkesworth, 1996; Marques *et al*., 1999; Florisbal *et al*., 2018).

Do ponto de vista petrográfico e geoquímico, as rochas das LIP's são produtos da cristalização fracionada dominada por minerais como: olivina, clinopiroxênio e plagioclásio. Estão frequentemente sob influência de assimilação crustal, como evidenciado pelos traços isotópicos enriquecidos (Cox, 1979; Fodor e Vetter, 1984; Cordani *et al*., 1988). Os estudos da PMPE revelam forte contaminação crustal, especialmente nos basaltos do tipo Gramado e Urubici, mostrando valores elevados de Sr isotópico e anomalias negativas em Nb-Ta, típicas de magmas derivados de fontes litosféricas (Fodor *et al*., 1985; Garland *et al*., 1996).

4.1.2 Gênese, morfologia e influência dos derrames vulcânicos na configuração de relevos

De acordo com Macdonald (1953), derrames basálticos podem ser discriminados com base em feições de superfície e suas feições estruturais, tais como: *pahoehoe*, *'a'ā* e lavas em bloco.

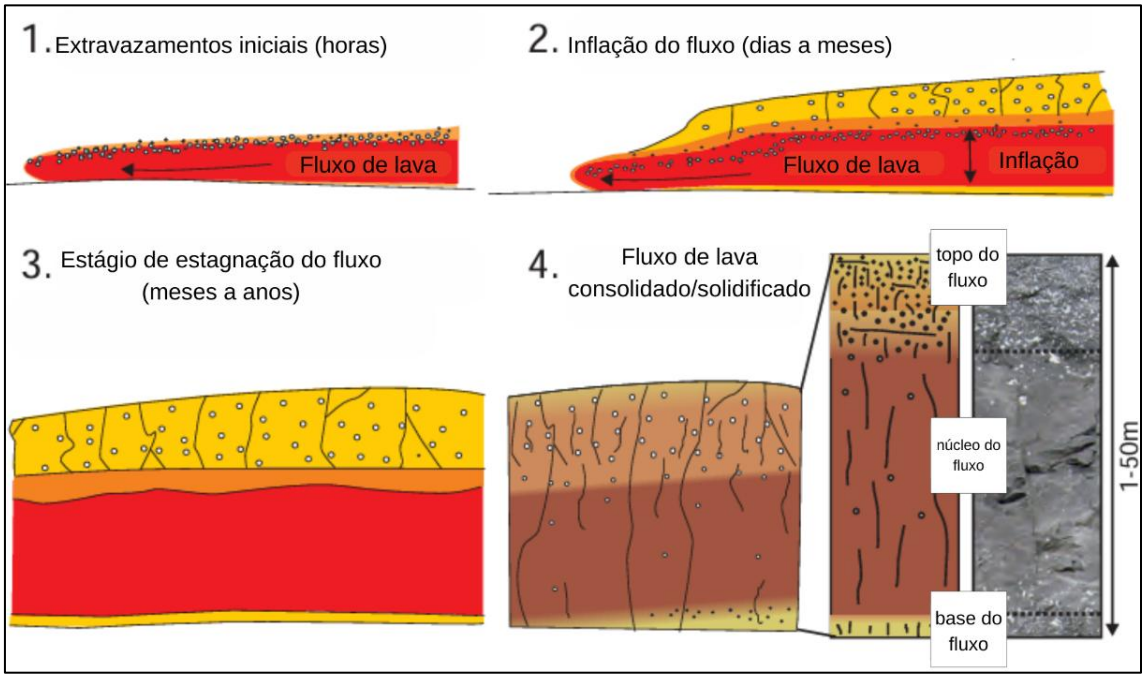
Figura 5 - Tipos de morfologias conhecidas para lavas básicas e ácidas.



Fonte: retirado de Besser (2017), adaptado de Duraiswami *et al.* (2014) e traduzido por Frozza (2015).

Derrames do tipo *pahoehoe* (Fig. 5) apresentam superfícies lisas, onduladas ou em cordas, formam-se com baixa taxa de efusão (< 5 - 10 m^3/s) (Rowland e Walker, 1990) e podem ser divididos de acordo com sua estruturação interna em: zona inferior, núcleo e zona superior (Macdonald, 1953; Aubele *et al*., 1988). O dinamismo deste tipo de derrame envolve, incialmente, um avanço na forma de lobos frontais e laterais de pequenas espessuras, onde a zona superior é rapidamente formada, podendo o fluxo ser posteriormente inflado devido a progressiva exsolução de gases se a base do derrame estiver sobre um gradiente de baixa inclinação (Hon *et al*., 1994) (Fig. 6).

Figura 6 - Colocação de fluxos de lavas por inflação - Pouco após o extravasamento da lava, forma-se uma crosta superficial que isola termicamente o interior do fluxo. O crescimento do corpo de lava ocorre por injeção contínua de um novo pulso, que promove a inflação da crosta já resfriada — um processo que pode perdurar por dias, meses ou até anos. O fluxo de lava consolidado apresenta uma estrutura interna composta por um núcleo maciço com topo fraturado, rico em vesículas.



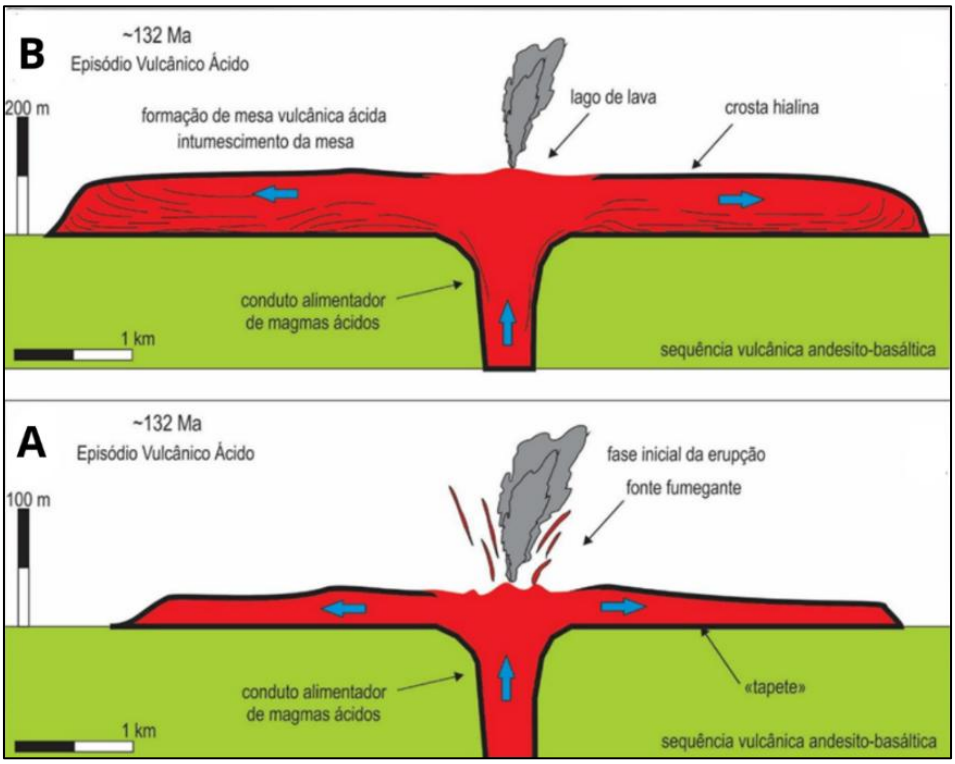
Fonte: adaptado de Self *et al.* (1997) por Jerram (2021) e traduzido pelo autor.

Já os derrames do tipo *'a'ā* (Fig. 5) podem ser discriminados de outros tipos de derrames por apresentar base e topo escoriáceos, vesículas alongadas e reentrâncias das zonas escoriáceas no núcleo maciço em função da migração do derrame (Macdonald, 1953; Kilburn, 1990) e são formados por taxas de fusão superiores (> 5 - 10 m^3/s) (Rowland e Walker, 1990). Este tipo de derrame é formado quando a lava é transportada por canais abertos, geralmente associados a altas

taxas de erupções (Macdonald, 1953; Pinkerton e Sparks, 1976; Rowland e Walker, 1990). Lavas em blocos possuem uma porção superior formada por fragmentos angulosos e irregulares (Macdonald, 1953), são geralmente formadas por magmas com maior viscosidade, de composição andesítica a riolítica (Schmimcke, 2004).

Segundo Besser (2017), erupções com maiores taxas de efusão podem alimentar derrames em escalas hectométricas por meio de fissuras extensas, formando amplas unidades de resfriamento como as documentadas em LIP's e na própria PMPE. A dificuldade em identificar tais fontes podem ser explicada pela reutilização e desobstrução dos condutos por pulsos magmáticos posteriores, especialmente aqueles de composição básica, conforme observado por Machado (2003) e Waichel *et al.* (2012). Ainda para o autor, a própria morfologia dos derrames vulcânicos de caráter ácido corrobora com a ideia de valores distintos de viscosidade, com base na composição do magma, permitindo mais ou menos escoamento e influenciando diretamente na arquitetura final de caráter tabular destes tipos de derrames (Fig. 7).

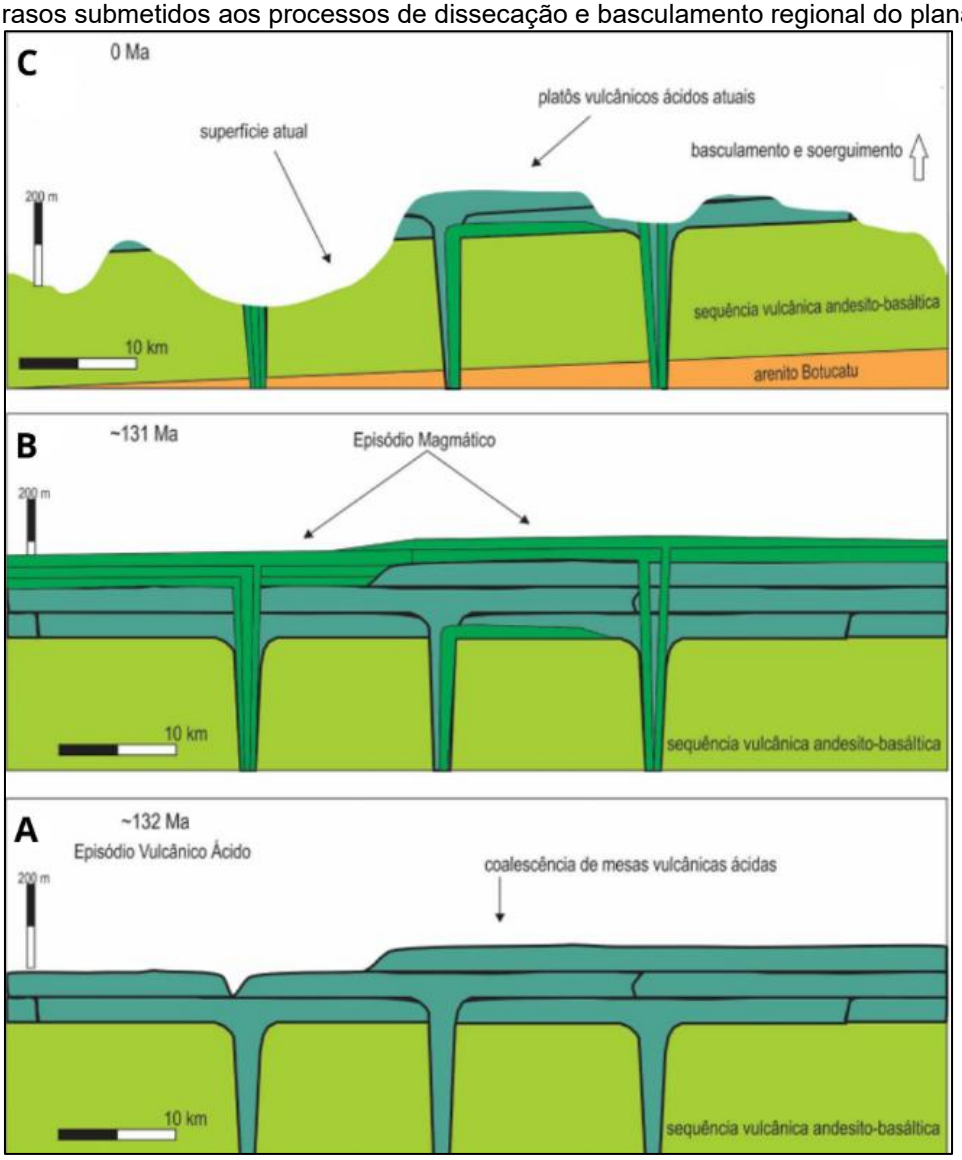
Figura 7 - Perfil esquemático mostrando em A) as fases iniciais eruptivas de magmas ácidos com fontes fumegantes contínuas, fornecendo lava para a construção de extensas pilhas vulcânicas. B) tempo 2 das erupções ácidas com destaque para a intumescência e a expansão lateral dos derrames.



Fonte: retirado de Besser, 2017.

Conforme essas pilhas de lavas eram alimentadas, novos pulsos magmáticos, ora de caráter básico, ora ácido, eram adicionados à estratigrafia (Fig. 8). A explicação para as extensões anômalas de alguns derrames seria a não solidificação completa de certos pulsos, nos quais, possivelmente, ocorreu a coalescência entre o pulso mais antigo e o mais jovem, conferindo o aspecto final de extensos derrames na paisagem (Besser, 2017).

Figura 8 - Perfis esquemáticos para a evolução do vulcanismo e a configuração final dos rele-vos vulcânicos, sendo A) tempo 1 da evolução do vulcanismo fissural típico de PBC's, seccionados por outros pulsos magmáticos mais jovens, originando diques e soleiras. B) tempo 2 da observação da construção do paleorelevo. C) tempo 3 da distribuição atual dos corpos vulcânicos intrusivos e intrusivos rasos submetidos aos processos de dissecação e basculamento regional do planalto sul.



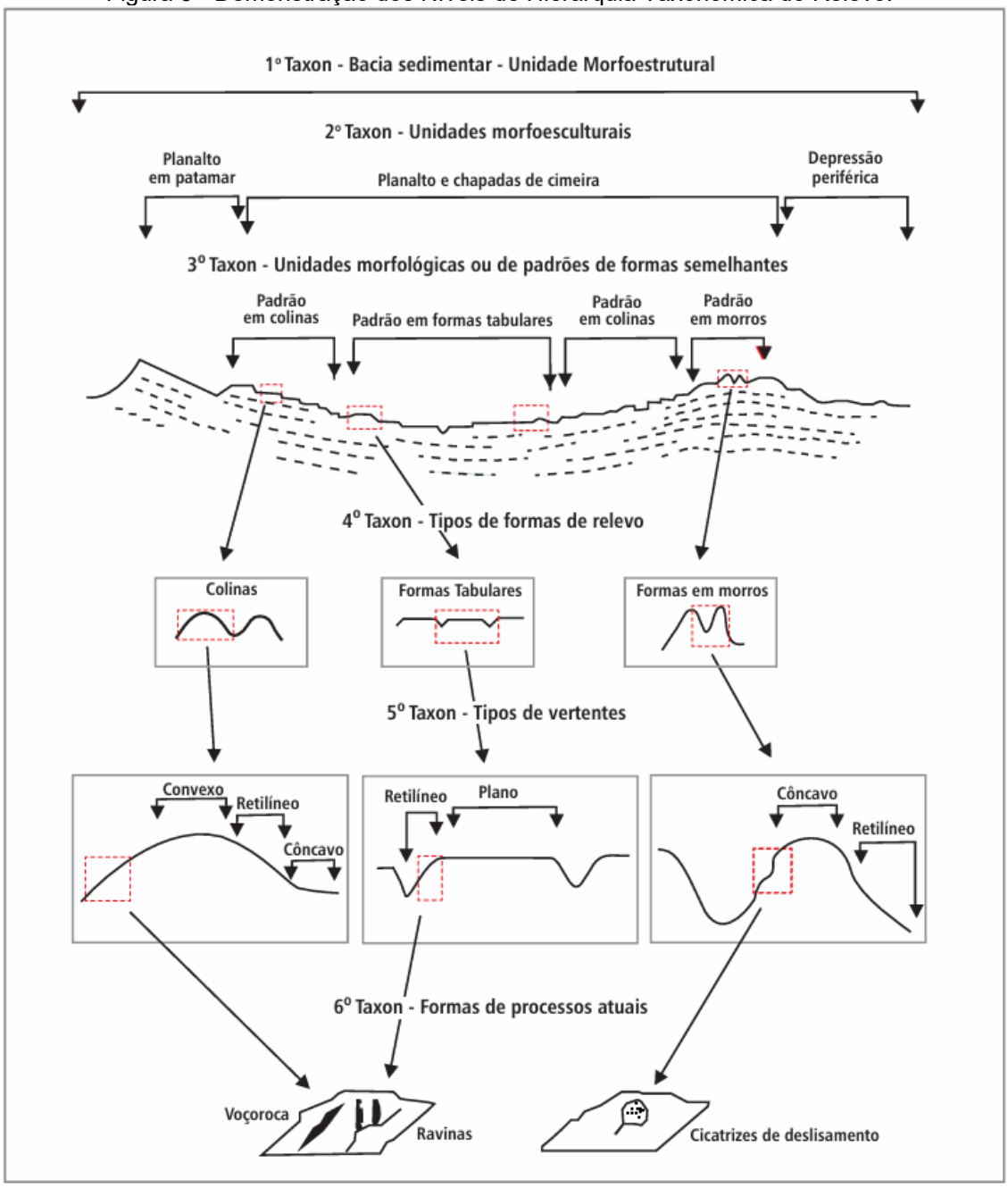
Fonte: retirado de Besser, 2017.

4.1.3 Formação de relevos vulcânicos

A evolução da paisagem geomorfológica em áreas vulcânicas resulta da ação integrada de processos pedogenéticos, morfogenéticos e tectônicos que interagem com distintas litologias e condicionantes estruturais (Tratz e Waichel, 2019). O mapeamento dos padrões de relevo do tipo planalto dissecado e platôs, foco do presente trabalho, representa, em linhas gerais, o 3° táxon hierárquico da metodologia proposta por Ross (1992), conforme observado na Figura 9.

Segundo Ab'Saber (1969), a compartimentação morfológica das paisagens é obtida pela análise empírica dos diversos conjuntos de formas e padrões de relevo proporcionados pelos diferentes níveis topográficos. Ainda para o referido autor, o entendimento da estruturação superficial das paisagens refere-se, sobretudo, ao estudo dos mantos de intemperismo, com materiais originados diretamente das rochas subjacentes (autóctones) e materiais transportados de outros locais (alóctones), essenciais para entender a gênese e evolução das formas de relevo.

Figura 9 - Demonstração dos Níveis de Hierarquia Taxonômica do Relevo.



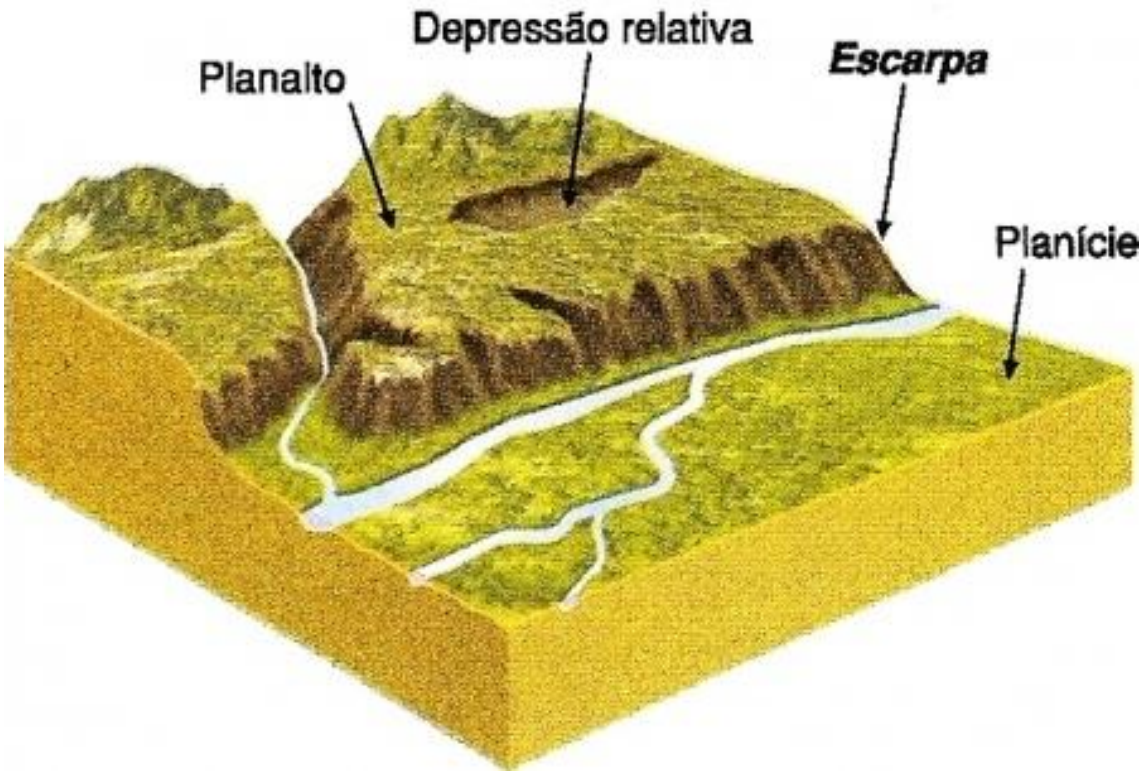
Fonte: retirado de Dantas *et al.* (2023), modificado de Ross (1992).

Os planaltos dissecados (Fig. 10) são caracterizados por amplitudes de relevo de 20 a 200 metros, com topo plano a suavemente ondulado, configurando declividades entre 3° a 10°, interflúvios arredondados e intercalados com encostas íngremes da ordem de 20° a 45°. Apresentam também vales profundos e relevos residuais, refletindo intensa atividade erosiva comandada por processos gravitacionais e drenagem superficial (Freitas *et al.,* 2003). O intemperismo químico das rochas basálticas e ácidas, típicas da PMP, impulsiona esses processos

potencializados por condicionantes estruturais como falhas e fraturas, que determinam áreas mais suscetíveis à erosão (Tratz e Waichel, 2019).

Os platôs, ou superfícies de cimeira, apresentam amplitudes de 10 a 50 metros com topo aplainado entre 0° e 5° decorrentes de processos erosivos prolongados e também são caracterizados por apresentarem maiores ocorrências de relevos residuais esparsos na paisagem e geralmente são sustentados por rochas vulcânicas ácidas. A evolução deste tipo de relevo pode indicar intensa pedogênese e menor atividade erosiva recente (Paisani *et al*., 2008; Tratz e Waichel, 2019; Dantas *et al.,* 2023).

Figura 10 - Representação esquemática das formas de relevo.



Fonte: retirado de Secretaria de Estado de Educação do Paraná.

Na formação dos relevos vulcânicos básicos a paisagem manifesta maior dissecação e declividade, configurando relevos fortemente ondulados a montanhosos. A maior quantidade de minerais ferromagnesianos presentes nestas litologias, em comparação com as rochas ácidas, contribuem para as diferenças na

suscetibilidade ao intemperismo, condicionando diretamente o compartimento geomorfológico (Tratz e Waichel, 2019).

Além disso, reativações de antigas zonas de falha exercem papel fundamental, especialmente na formação de degraus estruturais e no desenvolvimento desses tipos de relevo (Lima, 2020; Paisani *et al*., 2008). Ademais, os relevos de declividade variando de plano a suave ondulados têm um papel crucial na melhoria da infiltração da água no solo, com consequente aceleração da evolução dos solos por meio dos processos de intemperismo, principalmente o químico (Oliveira, 1993).

4.1.4 Processos de formação e evolução de solos vulcânicos

Sobre o conhecimento da definição de solos, pode-se afirmar que:

> O solo que classificamos é uma coleção de corpos naturais, constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicos, formados por materiais minerais e orgânicos que ocupam a maior parte do manto superficial das extensões continentais do nosso planeta, contêm matéria viva e podem ser vegetados na natureza onde ocorrem e, eventualmente, terem sido modificados por interferências antrópicas (Santos *et al*., 2025, p. 33).

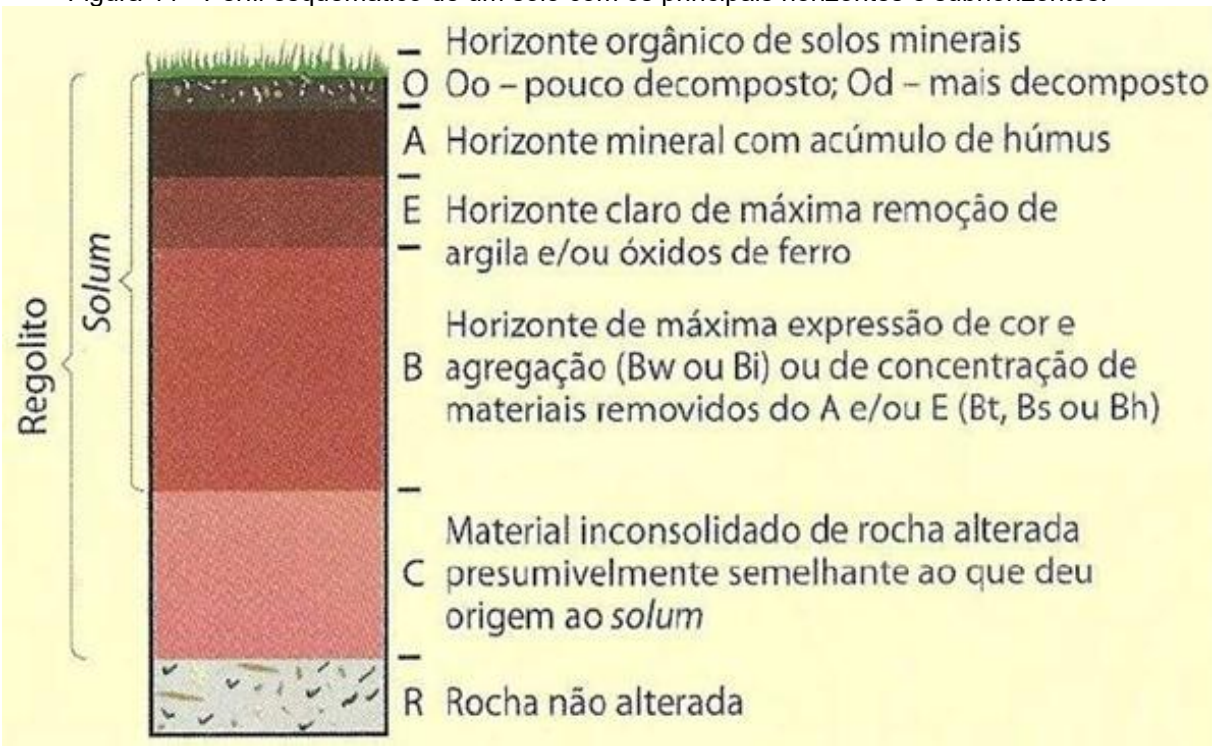
Tal corpo tridimensional, que faz menção à própria representação do solo, é chamado de *pedon*. A face deste corpo tem como limite superior a atmosfera, embora alguns solos possam ter uma coluna de água sobreposta (permanente ou periódica), desde que não haja nenhum tipo de impedimento ao desenvolvimento de raízes de plantas adaptadas a tais condições (Santos *et al.,* 2025). Ainda para os autores, o *pedon* constitui a unidade básica dos estudos pedológicos, sendo a sua face denominada de perfil de solo (Fig. 11).

Para Delmelle *et al.* (2015), solos vulcânicos correspondem aos perfis de solo que se desenvolvem a partir do intemperismo de materiais vulcanogênicos (*e.g.,* tefra, depósitos epiclásticos retrabalhados, derrames de lavas). Os Andossolos (Cambissolos ou Neossolos com propriedades ândicas), um tipo específico de solo vulcânico associado a um vulcanismo mais recente, geralmente apresenta baixa densidade do solo, combinada com elevada porosidade, alta capacidade de

retenção de água, predomínio de argila e silte e acúmulo de matéria orgânica. Em outros tipos de vulcanismo os solos vulcânicos podem apresentar outras características e serem classificados em outras classes de solo.

Um perfil de solo pode ser avaliado tanto em sua organização vertical, sendo separado em seções mais ou menos paralelas a superfície e denominadas de horizontes ou camadas, quanto na sua expressão lateral mínima. Tal avaliação possibilita estudar a variabilidade de atributos, propriedades e as características dos horizontes (Santos *et al*., 2025).

Figura 11 - Perfil esquemático de um solo com os principais horizontes e subhorizontes.



Fonte: retirado de Lepsch, 2010.

Jenny (1941) formulou uma equação conceitual para a gênese dos solos, segundo a qual o solo resulta da interação funcional entre os fatores clima, organismos, relevo, material parental e tempo. Essa abordagem permitiu compreender a influência relativa de cada fator de formação do solo, viabilizando a adoção de experimentos de isolamento de variáveis, conhecidos como estudos em sequência, nos quais se mantém constantes quatro fatores e se avalia a variabilidade de apenas um.

Segundo Delmelle *et al*. (2015), os solos de origem vulcânica podem se desenvolver sob uma ampla variedade de condições ambientais; contudo, a presença de quantidades expressivas de vidro à base de sílica no material de origem exerce papel determinante em sua formação. Embora a maior parte dos solos vulcânicos atualmente descritos derive do intemperismo de depósitos piroclásticos e/ou epiclásticos (Shoji *et al*., 1993), há casos nos quais sua origem está associada à alteração direta de fluxos de lava solidificada.

Ainda segundo os autores, a composição do material vulcânico original sobre o qual os solos se desenvolvem é bastante variável, abrangendo desde basaltos, caracterizados pelo baixo teor de sílica (SiO_2), até riolitos, com concentrações significativamente mais elevadas desse óxido. A maior parte dos solos vulcânicos estudados está associada a rochas de composição andesítica, dacítica ou riolítica. No entanto, aqueles derivados diretamente de fluxos de lava tendem a se originar predominantemente de rochas máficas, com menor teor de sílica, uma vez que derrames de natureza mais básica geralmente recobrem áreas mais amplas, favorecendo sua predominância na paisagem.

O material vulcânico, quando submetido ao intemperismo, tende a liberar silício (Si), alumínio (Al) e ferro (Fe) em solução e em concentrações que frequentemente resultam em rápida supersaturação com relação aos minerais secundários. A mineralogia dos sólidos que precipitam dessas soluções é fortemente condicionada pelas características do ambiente de lixiviação (Churchman e David, 2011).

Quando sob regimes de elevada precipitação, a intensa lixiviação provoca a redução das concentrações de sílica dissolvida, favorecendo a formação de aluminossilicatos de baixa cristalinidade, como a alofana e a imogolita (Parfitt, 2009). Em ambientes com pH ácido e alta concentração de matéria orgânica, o alumínio disponível tende a formar complexos organometálicos estáveis, diminuindo sua disponibilidade para reagir com o silício e formar minerais secundários (Shoji *et al.,* 1993; Parfitt, 2009).

A presença de argilas do tipo 2:1, como esmectita e vermiculita, pode exercer um efeito antialofânico, uma vez que esses minerais competem com a matéria orgânica e com os produtos amorfos pela fixação do Al em solução (Dahlgren *et al*., 2004). A formação de esmectita, em particular, pode estar associada ao

intemperismo de basaltos em climas tropicais e subtropicais, especialmente em condições de lixiviação limitada e presença de matéria orgânica. Esse cenário favorece o acúmulo de sílica dissolvida, que pode, eventualmente, precipitar como sílica amorfa ou contribuir para a neoformação de filossilicatos expansivos (Dahlgren *et al*., 2004).

Assim como o Si e o Al, o Fe também é prontamente mobilizado durante o intemperismo de materiais vulcânicos. As principais fontes de ferro são os minerais máficos primários, como piroxênio, anfibólios, biotita e olivina, além da matriz vítrea, que também contém Fe em proporções significativas (Churchman e David, 2011). Uma vez em solução, o ferro precipita inicialmente como ferri-hidrita, a qual, com o avanço do intemperismo e das condições de estabilidade, tende a transformar-se em goethita (Rasmussen *et al*., 2007).

De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos *et al*., 2025), os Neossolos representam a ordem de solos pouco desenvolvidos formados a partir de diferentes materiais de origem, sob condições de baixa temperatura e umidade. À medida que o intemperismo se intensifica, esses solos podem evoluir para outras classes, como Cambissolos, Nitossolos, Argissolos, Vertissolos ou Latossolos. Tal evolução está frequentemente associada à conversão gradual de aluminossilicatos amorfos em argilas cristalinas e em hidróxidos de alumínio mais estáveis, refletindo um estágio mais avançado de desenvolvimento pedogenético.

5 AREA DE ESTUDO

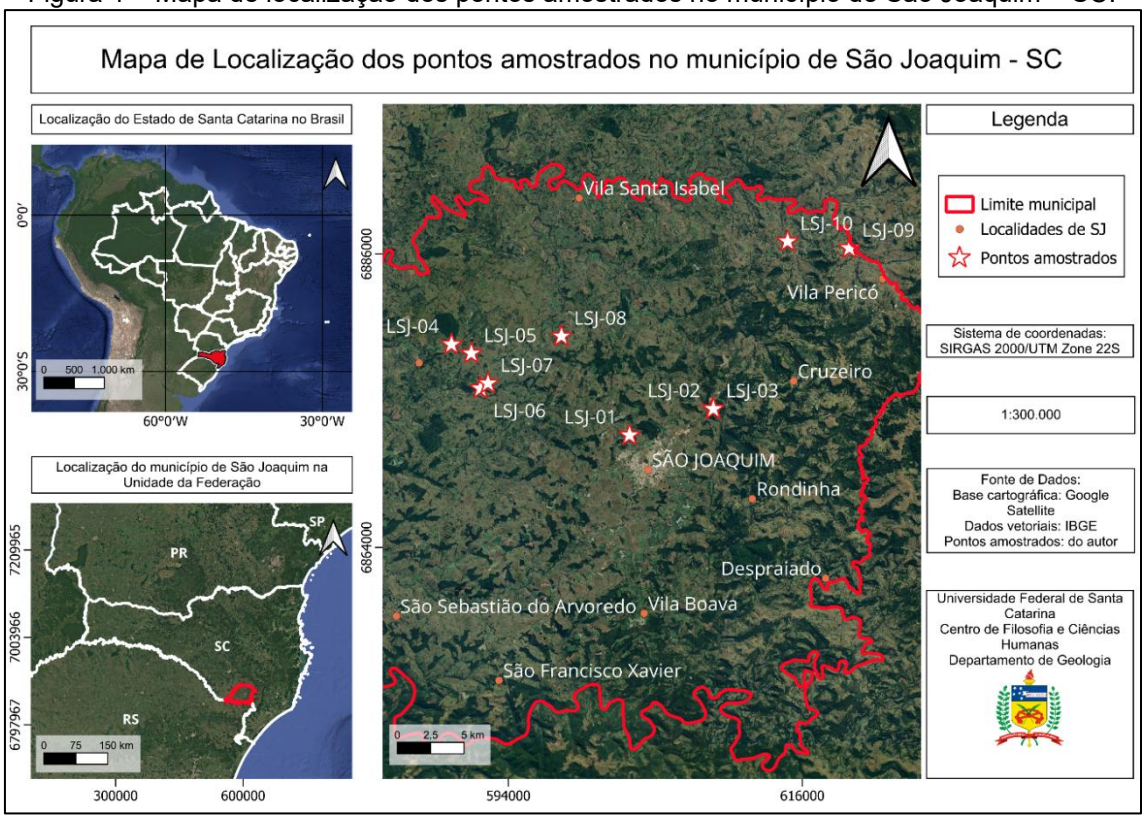
5.1.1 Localização e acessos

A área de estudo está situada na porção Norte do município de São Joaquim, região serrana do estado de Santa Catarina, aproximadamente 225 km a sudoeste da capital Florianópolis. Para chegar ao local de estudo, partindo de Florianópolis, deve-se seguir pela BR-101 sentido sul e posteriormente acessar a BR-282 sentido oeste até Bom Retiro, percorrendo aproximadamente 140 km. Em seguida, acessar a SC-110 em direção a Urubici, seguindo por mais 60 km até o centro de São Joaquim. A partir do centro do município, seguir pela SC-114 em direção a Painel por aproximadamente 7 km e, posteriormente, acessar as estradas rurais que levam às

localidades de Bentinho, Várzea e Vila Pericó, nas quais se encontram os afloramentos e perfis de solo analisados.

Os pontos específicos das amostras estão distribuídos ao longo dessas localidades rurais, exigindo deslocamento por vias secundárias e acessos locais, conforme ilustrado abaixo no mapa de localização da área do projeto (Figura 1).

Figura 1 – Mapa de localização dos pontos amostrados no município de São Joaquim – SC.



Fonte: elaborado pelo autor.

5.1.2 Clima

O clima é a sucessão habitual dos diversos tipos de tempo que compõem o cenário atmosférico de uma determinada região (Monteiro e Silva, 2016). Entende-se por tempo, condições momentâneas da atmosfera em relação à temperatura, umidade, vento, cobertura de nuvens e chuva.

Os elementos que constituem as condições momentâneas de tempo são denominados fatores climáticos, que por sua elevada diversidade, podem ser categorizados em primários, secundários e terciários, variando segundo o grau de influência que exercem sobre o clima (Monteiro e Silva, 2016).

Segundo Ab'Saber (2003), Santa Catarina está entre dois domínios morfoclimáticos, o de "mares de morros" florestados e o do planalto das araucárias. À medida que a temperatura diminui, a tropicalidade se dissipa, dando lugar ao domínio das araucárias.

Em Santa Catarina, o clima apresenta predominância do tipo mesotérmico úmido, sem estação seca definida e classificado segundo o Sistema de Classificação Climática de Köppen (1948) como (Cf) por apresentar temperaturas do mês mais frio entre 3 °C e 18 °C e não havendo indicies pluviométricos inferiores a 60 mm. Na região serrana, a altitude condiciona situações mais frias, favorecendo a ocorrência do clima tipo Cfb (Temperado – mesotérmico úmido com verão ameno e chuvas uniformemente distribuídas).

5.1.3 Vegetação

Considerando o relevo catarinense, pode-se subdividir a cobertura vegetal estadual em dois setores principais: a Vertente Atlântica e o Planalto Arenito-Basáltico. Tais domínios são resultados de uma diversidade de climas, solos e formas de relevo, que evoluíram e originaram uma cobertura vegetal rica e diversa (Veado e Pimenta, 2016).

No geral, a vegetação catarinense está compreendida no domínio da Mata Atlântica e suas diferentes formações, com destaque para a Floresta Ombrófila Mista, Floresta Ombrófila Densa, Floresta Estacional Decidual e Restinga, cuja distribuição apresenta forte relação com os fatores climáticos e edáficos (Uberti, 2005). Em Santa Catarina, a associação entre clima e vegetação é expressa de forma marcante, com registros de Floresta Ombrófila Mista vinculada ao clima tipo Cfb, sob forte controle do relevo e altitude (Uberti, 2005).

Na região serrana e no Planalto Sul, a Floresta Ombrófila Mista se estende por altitudes superiores a 500 m com espécies adaptadas ao frio (*e.g., Araucaria angustifólia*) (Dortzbach, 2016). Nessa região também ocorrem formações campestres, relacionadas aos Campos de Altitude, caracterizadas por agrupamentos herbáceos (*e.g.,* gramíneas, ciperáceas, leguminosas).

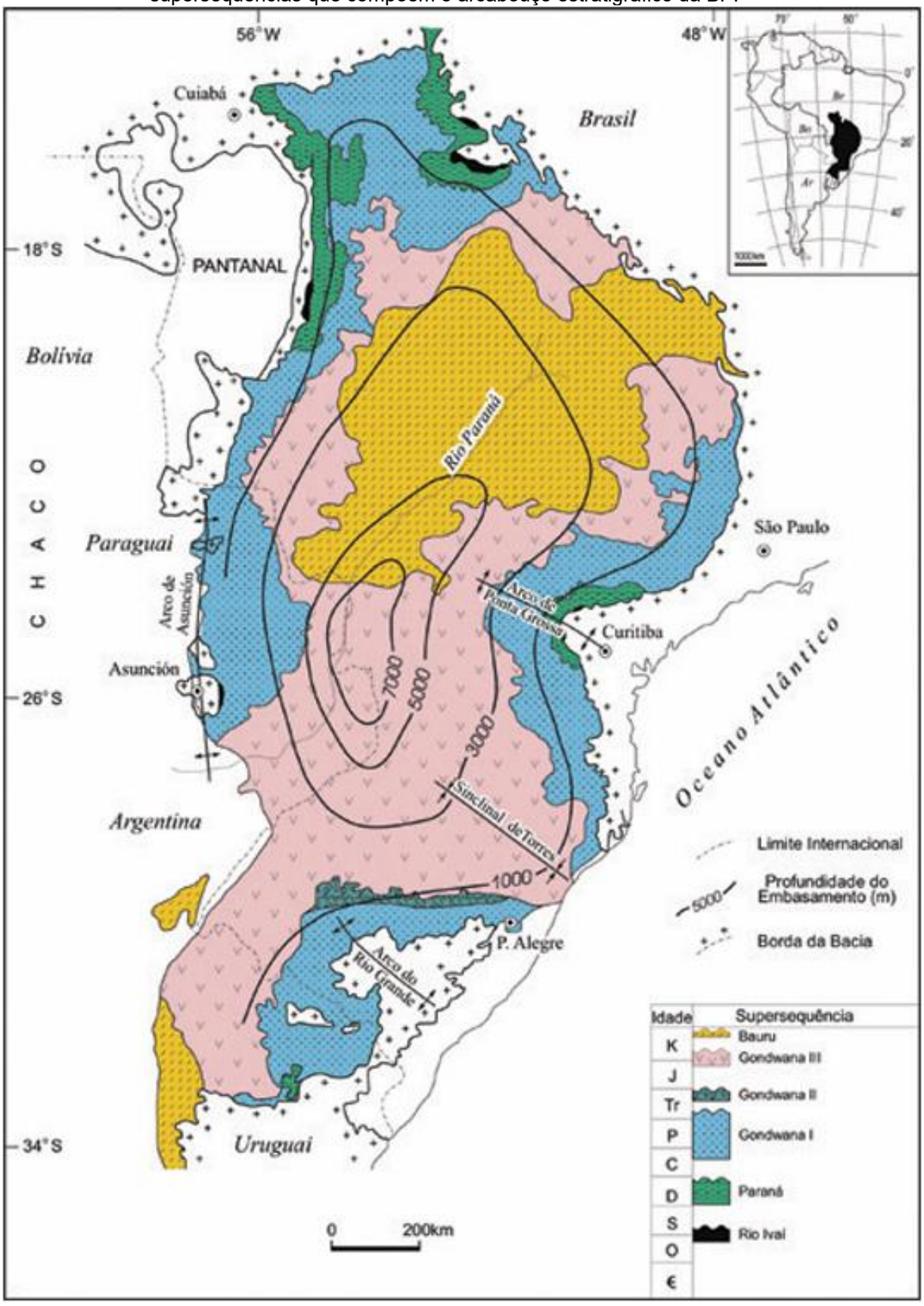
Especificamente em São Joaquim, há ocorrências de campos com pinheiros (*Pinus*) em altitudes superiores a 800 – 900 m, com presença marcante de

araucárias na forma de matas de galeria, além de espécies como canela (*Cinnamomum verum*) e erva-mate (*Ilex paraguariensis*), que reforçam a ligação entre as condições climáticas de altitude com a florística típica da Serra Catarinense. (Uberti, 2005).

5.1.4 Geologia regional

A Bacia do Paraná (BP) (Fig. 12) constitui uma das principais áreas sedimentares intracratônicas da América do Sul, abrangendo porções territoriais do sul, sudeste e centro-oeste do Brasil, metade oriental do Paraguai, a porção ocidental do Uruguai e a região das planícies e terras baixas a oeste do Rio Paraná e a leste do Rio Uruguai na Argentina, com aproximadamente 1,7 milhão de km² (Zalán *et al*., 1990; Milani, 1997; 2006; Milani *et al.,* 2007; Pereira *et al.,* 2012; Scherer *et al.,* 2023). Apresenta uma geometria alongada N-S em planta, e seu arcabouço estratigráfico pode atingir espessuras de até 7,5 km no seu depocentro, o qual coincide com a calha principal do Rio Paraná (Milani, 1997; Milani *et al*., 2007). Sua evolução geológica e tectônica é complexa e policíclica, compreendendo eventos desde o Ordoviciano até o Cretáceo, caracterizando-se por múltiplas fases de subsidência, sedimentação e magmatismo (Milani *et al*., 2007).

Figura 2 - Mapa geológico simplificado da Bacia do Paraná com destaque para a abrangência das supersequências que compõem o arcabouço estratigráfico da BP.



Fonte: retirado de Milani, 1997.

O embasamento da BP é caracterizado por uma complexa trama de elementos crustais, que foram consolidados por eventos tectonomagmáticos do Ciclo Brasiliano, ocorridos entre o Neoproterozoico e o Eopaleozoico (Almeida, 1980; Zalán *et al*., 1990; Milani, 1997). Este embasamento compreende blocos cratônicos, como o Cráton Paranapanema (Cordani *et al*., 1984; Mantovani e Brito-Neves, 2005; 2009) que atuaram como substrato rígido e cinturões móveis, incluindo o Ribeira e o Dom Feliciano, localizados na porção oriental, e o Paraguai-Araguaia na região norte-ocidental da BP (Almeida, 1967). A reativação dessas estruturas pré-cambrianas, particularmente por meio de movimentos transcorrentes e extensionais, exerceu forte influência na evolução tectônica e sedimentar da bacia, condicionando a implantação de feições estruturais, arcos e zonas de maior subsidência que definiram sua configuração estrutural e evolução estratigráfica subsequente (Zalán *et al*., 1990; Milani, 1997).

Historicamente, diversos autores têm contribuído para o entendimento da origem e evolução tectônica e estratigráfica da BP. Sanford & Lange (1960) relacionaram os ciclos sedimentares à orogênese paleozóica nas periferias do Gondwana. Almeida *et al*. (1980) interpretaram-na como uma unidade geotectônica autônoma, enquanto Fulfaro *et al*. (1982) sugeriram a existência de calhas aulacogênicas precursoras de sedimentação cratônica. Zalán *et al*. (1990), por sua vez, propuseram a contração térmica subsequente aos fenômenos do Ciclo Brasiliano como mecanismo inicial de subsidência. Posteriormente, Milani (1997) e Kloss (2012) destacaram a influência da flexura litosférica associada à carga tectônica marginal e à reativação de lineamentos estruturais pré-cambrianos.

O arcabouço estratigráfico da BP é definido nos princípios das Supersequências de Vail *et al*. (1977). O contexto deposicional destas supersequências variou ao longo da história geológica da bacia, com ciclos de oscilações do nível de base correlacionados aos deslocamentos da linha de costa, até eventos tectônicos, que marcaram o progressivo fechamento da bacia às incursões marinhas antigas. Posteriormente, Milani (1997) e Milani *et al*. (2007) compartimentaram esta sinéclise em seis supersequências de ampla escala e delimitadas por superfícies de discordância inter-regionais, sendo estas: Supersequência Rio Ivaí (Ordoviciano-Siluriano); Supersequência Paraná (Devoniano); Supersequência Gondwana I

(Carbonífero-Eotriássico); Supersequência Gondwana II (Meso a Neotriássico); Supersequência Gondwana III (Neojurássico-Eocretáceo) e Supersequência Bauru (Neocretáceo).

O GSG, unidade foco deste trabalho, representa derrames bimodais de caráter básico (90%), intermediário (7%) e ácido (3%) que constituem o vulcanismo fissural das lavas da PMPE (Piccirillo e Melfi, 1988; Peate, 1992). O magmatismo associado ao GSG está inserido nos domínios da Supersequência Gondwana III de Milani (1997) e Milani *et al*. (1998) e também está intrinsecamente ligado à abertura do Oceano Atlântico Sul durante o Cretáceo Inferior, marcando um período de intensa atividade ígnea (Bellieni *et al*., 1986; Peate *et al*., 1992; Renne *et al*., 1992; Ribeiro *et al*., 1999; Machado *et al.,* 2007).

A primeira menção formal às rochas do GSG, foi dada no trabalho de White (1908) onde o autor denominou como as “Eruptivas da Serra Geral”, descrevendo uma sucessão de rochas basálticas na porção oriental da Bacia do Paraná, além de inúmeras soleiras e diques que intrudem as rochas sedimentares da região. O trabalho de White se materializa na forma de uma seção-tipo ao longo da SC-438, entre as cidades de Lauro Muller e Bom Jardim da Serra. Mais recentemente, Ottmann (2024) propôs a reavaliação do patrimônio geológico associado à coluna White, apresentando um roteiro virtual atualizado que complementa e atualiza as informações dessa georota clássica (Ottmann e Florisbal, 2024). Posteriormente, estas rochas efusivas foram classificadas como Formação Serra Geral (Gordon Jr. *et al*., 1947) como uma unidade de rochas vulcânicas intercaladas com os arenitos eólicos da Formação Botucatu.

A geoquímica do GSG é complexa e indica a contribuição de diferentes fontes mantélicas e processos evolutivos (*e.g.,* Bellieni *et al*., 1984; Mantovani *et al*., 1985; Peate *et al*., 1992; Marques *et al*., 1999; Rossetti *et al*., 2021). Segundo Peate (1992) a sucessão vulcânica pode ser grosseiramente dividida em dois grandes setores: (1) ao sul, um campo de lavas com baixo teor de TiO_2 (Ti/Y < 310 ppm) e caracterizado por basaltos referentes ao magma-tipo Gramado sobrepostos por dacitos e riolitos do tipo Palmas. Ainda no setor sul, no topo da sequência, há ocorrência de basaltos do tipo Esmeralda que se intercalam com o tipo Ribeira (Peate *et al.,* 1992; Peate, 1997). O magma-tipo Urubici, de A-Ti, ocorre na forma de uma faixa estreita ao longo do limite nordeste das escarpas da região sul do Brasil. Este

magma-tipo é contemporâneo e se intercala com fluxos de lavas do tipo Gramado (Peate *et al*., 1999).

O setor (2) ao norte, representa um campo de lavas com alto teor de TiO_2 (Ti/Y > 310 ppm). Conforme proposto por Bellieni *et al*. (1984), Peate *et al*. (1992) e Peate (1997), são basaltos caracterizados pelos magmas-tipo Urubici, Pitanga e Paranapanema, respectivamente, recobrindo a sequência de B-Ti na direção noroeste da PMP. Algumas rochas vulcânicas de caráter ácido ocorrem na porção inferior do pacote de lavas A-Ti e recobrem o embasamento mais ao norte da PMP, entre Mato Grosso do Sul, Paraguai e oeste de São Paulo ou o topo das lavas B-Ti no centro da BP (Piccirillo *et al*., 1987; Peate *et al*., 1990; Janasi *et al.,* 2007). A pilha de lavas como um todo mostra uma tendência migratória para norte, com os magmas-tipo mais jovens sendo mais espessos no norte e adelgaçando-se em direção ao sul da BP (Peate *et al*., 1992).

Recentemente uma proposta de reavaliação estratigráfica da Formação Serra Geral para GSG foi proposta por Rossetti *et al.* (2018), considerando que o GSG pode ser subdividido em quatro unidades principais de lavas em sua porção sul: Formação Torres, Formação Vale do Sol, Formação Palmas e Formação Esmeralda.

Segundo Peate (1990) a partir da revisão de dados geocronológicos via Ar-Ar mostrou que a maioria das datações estão situadas entre 135 Ma a 115 Ma, já Turner *et al*., (1994) estabeleceram idades Ar-Ar entre 127 Ma a 137 Ma, assim pertencentes ao período de transição Juro-Cretáceo ou Cretáceo Inferior. Após compilações prévias e reanalise de dados via $^{40}Ar–^{39}Ar$ e U – Pb, Gomes e Vasconcelos (2021) publicaram novas idades para a fase principal do vulcanismo da PMPE, obtendo valores de 135,0 ± 0,6 Ma para o início do vulcanismo e durando até 133,2 ± 0,3 Ma. Além da pilha de lavas que recobre grande parte do Sudeste da América do Sul é sabido que extensos e complexos enxames de diques ocorrem desde o litoral do Rio de Janeiro até o litoral sul do Estado de Santa Catarina e funcionaram como o sistema alimentador desta pilha de lavas.

Em Santa Catarina, trabalhos como os de Florisbal *et al.* (2011; 2014) e Rocha *et al*. (2023) obtiveram idades U-Pb ID-TIMS de 134 - 132 Ma nos diques do Enxame de Diques de Florianópolis em Garopaba, Pinheira e na Ilha de Santa Catarina, coincidindo com o intervalo das idades encontradas por Peate (1990) e

Turner *et al*. (1994). Tais diques são geoquímicamente semelhantes às rochas do tipo Urubici e raramente apresenta termos ácidos associados ao tipo Palmas (Bellieni *et al*., 1984; Peate, 1992; Rossetti *et al*., 2018).

Morfologicamente, os derrames do GSG apresentam espessuras variáveis, de algumas dezenas a centenas de metros, sendo comuns os derrames tabulares e extensos, com estruturas colunares típicas em seu interior. Estas colunas foram formadas devido ao resfriamento rápido e uniforme da lava em contato com a atmosfera (Bellieni *et al*., 1984; 1986). Além disso, estruturas vesiculares frequentemente são observadas nas porções superiores dos derrames, indicando interação do magma com gases e fluidos durante seu resfriamento e solidificação (Waichel *et al*., 2012). Estudos detalhados de fácies vulcânicas realizados por Waichel *et al.* (2008; 2012) identificaram diferentes estilos de derrames associados a lavas do tipo *pahoehoe* (simples e compostas), *rubbly pahoehoe* e *'a'ā*, cada um com características morfológicas distintas e distribuídos em episódios eruptivos específicos ao longo da estratigrafia do GSG.

5.1.4.1 Geologia local

A área do presente estudo é marcada por afloramentos das formações Vale do Sol e Palmas. A Formação Vale do Sol (FVS) representa a unidade basal da sequência vulcânica na região e é composta por derrames toleíticos de composição andesi-basáltica, representada por derrames espessos com camadas que atingem entre 35 a 45 metros de espessura média e espessura máxima de 500 metros (Rossetti *et al*., 2021). São derrames predominantemente do tipo *rubbly pahoehoe* e subordinadamente *pahoehoe* compostos que apresentam estruturas internas características desta formação, tais como: base vesicular lisa; um núcleo maciço afanítico; crosta vesicular superior e presença de brechas autoclásticas no topo dos derrames. Essa formação caracteriza-se por lavas de coloração acinzentada a cinza esverdeada, com textura afanítica a porfirítica, e presença de microfenocristais de plagioclásio e clinopiroxênio (Waichel *et al*., 2012; Rossetti *et al*., 2018; 2021).

Sobreposta à FVS ocorre a Formação Palmas (FP), considerada a unidade superior da sequência vulcânica em São Joaquim. Embora apareça como unidade

de topo, dados de poços e seções estratigráficas obtidas por Bellieni *et al*. (1986) e Peate *et al.* (1992) indicam intercalações desta unidade ácida com os derrames básicos da FVS. É representada por rochas de composição ácida, majoritariamente riodacitos e riolitos segundo Bellieni *et al*. (1986). Apresenta estruturas típicas de derrames espessos, maciços e com fraturamento colunar em algumas seções que podem atingir espessuras de até 400 metros na porção leste da PMP, diminuindo para oeste e norte. As rochas da FP apresentam coloração mais clara e textura porfirítica a vitrofírica, com presença de fenocristais de plagioclásio e quartzo (Bellieni *et al*., 1986), indicando um grau mais evoluído de diferenciação magmática (Besser *et al.,* 2015; Waichel *et al*., 2008).

Do ponto de vista geoquímico, as rochas da FVS são classificadas como basaltos toleíticos de baixo titânio (BTi), com teores de TiO_2 < 2 %, característica típica dos basaltos da porção sul da PMP (*e.g*., Peate *et al.,* 1992; Bellieni *et al*., 1984). Peate *et al.* (1999) documentaram que além dos basaltos BTi, que compõem a FVS, há também ocorrências do magma-tipo Urubici ATi ocorrendo na forma de faixas estreitas, contemporâneas e intercaladas com lavas do tipo Gramado. Estudos subsequentes (Besser *et al*., 2015; Besser, 2017 e Santos, 2024) confirmaram novamente tais intercalações, onde os derrames do tipo Gramado apresentaram valores entre 1,34-1,75% de TiO_2, enquanto as intrusões basálticas do tipo Urubici superaram valores de 3,5%.

Já as rochas da FP possuem assinaturas geoquímicas condizentes com magmas mais diferenciados, ricos em sílica e com anomalias negativas em elementos compatíveis, como Cr e Ni, refletindo processos de cristalização fracionada a partir de magmas básicos (Nardy *et al*., 2008; Rossetti *et al*., 2021). De acordo com Peate *et al*. (1992) e Nardy *et al.* (2008), baseando-se na composição química e na abundância de elementos traço, os derrames da FP também podem ser subdivididos em 5 subgrupos distintos de acordo com o teor de TiO_2 e P_2O_5, sendo eles, da base para o topo: (1) Caxias do Sul; (2) Santa Maria; (3) Anita Garibaldi; (4) Jacuí e (5) Clevelândia.

5.1.5 Geomorfologia regional

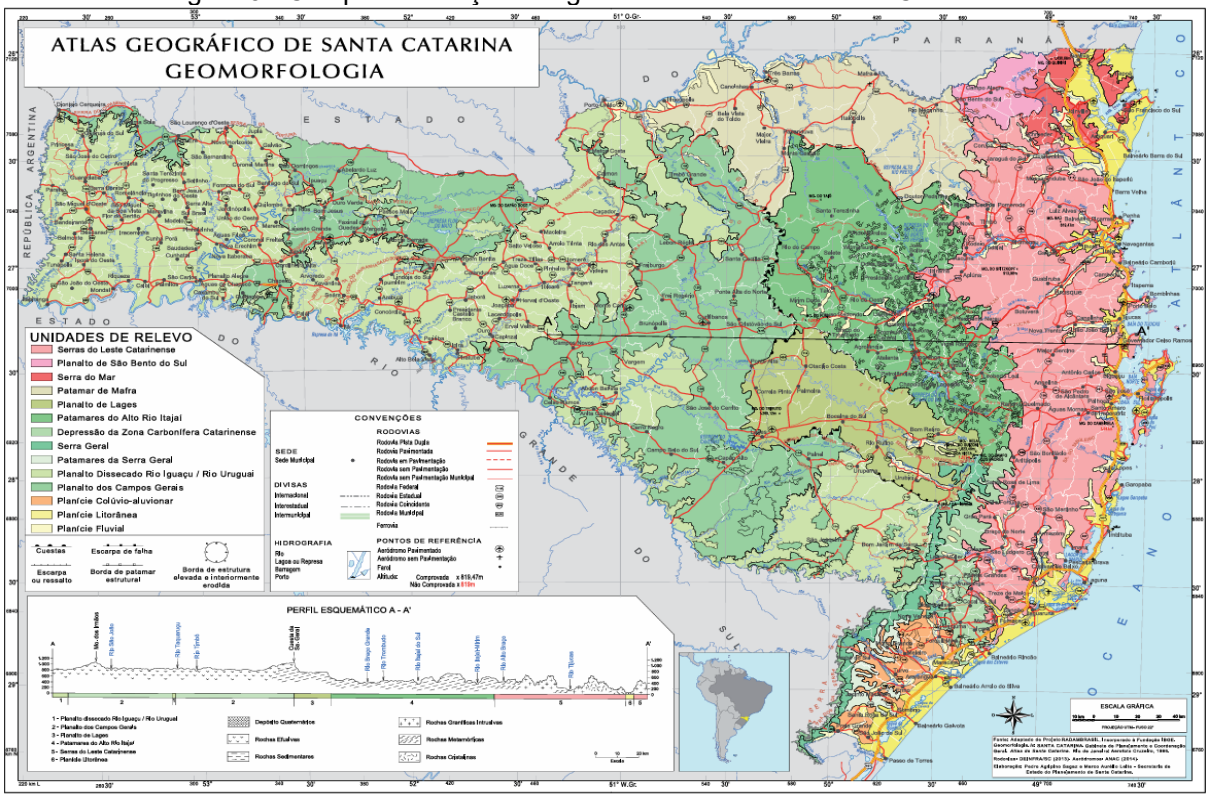
O estado de Santa Catarina possui diferentes paisagens criadas por formas de relevos distintas, sendo estas, o resultado da incessante ação dos agentes modeladores externos (Fig. 13). Eventos geológicos pretéritos tiveram um papel importante na conformação do relevo catarinense atual. Um destes eventos é a abertura do Atlântico Sul, ao final do período Jurássico, provocando a reativação de antigos sistemas de falhas e fraturas do pré-cambriano. Em função destes fenômenos, o território estadual apresenta grande quantidade de lineamentos estruturais que influenciaram diretamente na configuração dos divisores de água e de seus vales e rios (Luiz *et al.,* 2016).

Outro evento geológico de elevada importância para a estruturação da atual fisiografia do estado, foi o soerguimento epirogenético do lado leste do continente sul-americano. Este fenômeno elevou os processos erosivos, principalmente na borda leste do estado, onde também foi o local de maior soerguimento, expondo as rochas do embasamento cristalino. A erosão seguiu avançando de leste a oeste, com seu limite mais a oeste representando o grande divisor de águas do estado que é a Serra Geral, com altitudes que facilmente alcançam a cota de 1.800 metros acima do nível do mar. Devido a este soerguimento, as áreas da antiga BP e dos seus campos de lavas formam hoje um grande bloco de planalto que declina para sudoeste com variações de cotas entre 1.800 e 200 metros (Peluso Júnior, 1952; 1986). Na parte leste do estado, os relevos são modelados sobre as rochas cristalinas do embasamento e se apresentam intensamente dissecados, formando vales profundos e elevações na forma de morros e montanhas.

A primeira proposta de compartimentação do relevo estadual como se é conhecido atualmente foi elaborada por SANTA CATARINA (1986) onde o estado foi subdividido em treze compartimentos principais de relevo, sendo eles: Planícies Litorâneas; Planície Colúvio Aluvionar; Serra do Mar; Planalto de São Bento do Sul; Serras do Leste Catarinense ou Serras do Tabuleiro-Itajaí; Patamar de Mafra; Patamares do Alto Rio Itajaí; Planalto de Lages; Depressão da Zona

Carbonífera Catarinense; Patamares da Serra Geral; Serra Geral; Planalto dos Campos Gerais e Planalto Dissecado dos Rios Iguaçu e Uruguai.

Figura 3 - Compartimentação fisiográfica do Estado de Santa Catarina.



Fonte: retirado de Rocha *et al.* (2016).

5.1.5.1 Geomorfologia local

O município de São Joaquim está inserido no contexto da unidade morfoestrutural denominada Planalto das Araucárias, compondo a porção sul do Planalto Meridional Brasileiro. Tal unidade é caracterizada pelo relevo elevado, com altitudes superiores a 1.000 metros (Luiz *et al.*, 2016). Dentro desta unidade destacam-se duas subunidades que compõem a fisiografia de São Joaquim, o Planalto Dissecado do Rio Uruguai e o Planalto dos Campos Gerais (Fig. 13).

O Planalto Dissecado do Rio Uruguai compreende a maior parte do município e se diferencia do Planalto dos Campos Gerais por apresentar um relevo mais acidentado e fortemente dissecado pelas drenagens, resultando em vales profundos. As altitudes médias ficam entre 600 e 900 metros e suas elevações são representadas por formas de morros e montanhas de topo aplainado, seguindo a

estrutura dos derrames que moldam a região. Esta unidade é mais antiga e dissecada em relação a unidade de topo e este rebaixamento é visível nas vertentes que margeiam os platôs residuais, onde os solos são mais rasos e pedregosos (Luiz *et al*., 2016; Besser, 2017).

Já o Planalto dos Campos Gerais representa a unidade mais elevada e menos dissecada da região. Localmente pode ser utilizado o termo Platô de São Joaquim referindo-se a uma extensão mais local deste planalto, compreendendo cerca de 270 km^2 e sustentado pelos derrames ácidos da FP. O relevo é caracterizado como suave ondulado a ondulado, ocorrendo na forma de morros testemunhos e colinas tabulares, sendo o resultado da preservação parcial dos derrames que a compõem (Besser, 2017).

5.1.6 Pedologia regional

O estado de Santa Catarina apresenta uma grande diversidade pedológica definida por suas variações climáticas, geomorfológicas, florestais e litológicas. Os solos catarinenses são derivados, em sua maioria, das rochas vulcanossedimentares que capeiam a BP em boa parte do estado, além de solos formados pelo intemperismo das rochas do embasamento cristalino a leste (Heberle e Almeida, 2016).

Na porção oeste do estado, predominam solos desenvolvidos a partir das rochas básicas vulcânicas do GSG, caracterizados principalmente por Latossolos Brunos, Latossolos Vermelhos, Nitossolos Brunos, Nitossolos Vermelhos e Cambissolos (Potter *et al*., 2004). Esses solos geralmente apresentam textura argilosa a muito argilosa, altos teores de ferro e excelentes características físicas, favorecendo seu potencial agrícola.

Na região do Planalto Central e no Planalto das Araucárias, há predominância de Latossolos Brunos e Vermelhos, além de Cambissolos Húmicos e Nitossolos Brunos. Esta região possui solos profundos, com boa drenagem, ricos em matéria orgânica devido às condições climáticas mais frias e úmidas, proporcionando elevado potencial agrícola (Potter *et al*., 2004). A porção leste catarinense, caracterizada pela presença das Serras do Mar e do Tabuleiro, é marcada pela ocorrência de Cambissolos, Argissolos Vermelho-Amarelo e Neossolos Litólicos. Estes solos

são geralmente mais rasos, com relevo forte ondulado a montanhoso, o que limita seu uso agrícola intensivo (Potter *et al.,* 2004).

No litoral catarinense, predominam solos arenosos como os Neossolos Quartzarênicos, além dos Espodossolos, Organossolos e Gleissolos, refletindo as condições de deposição marinha e fluvial recente. Essas áreas apresentam solos com limitações para agricultura devido à textura predominantemente arenosa, baixa fertilidade natural e drenagem variável, demandando manejo específico para a maioria dos cultivos agrícola (Heberle, 2017; Rosolem, 2024).

5.1.6.1 Pedologia local

De acordo com o mapa de reconhecimento dos solos do Estado de Santa Catarina, elaborado por EMBRAPA (1998) em escala 1:250.000 e com apoio da EPAGRI, a região do município de São Joaquim apresenta duas associações de solos distintas. A associação de Cambissolos Húmicos predomina sobre as litologias de caráter mais básico, como os basaltos, e intensamente intemperizadas. Apresentam altos teores de matéria orgânica no horizonte A e predominam em relevo ondulado a fortemente ondulado. Segundo o levantamento realizado pela EMBRAPA (Potter *et al*., 2004) e de acordo com o SiBCS (Santos *et al*., 2018; 2025) no município destacam-se três associações de Cambissolos, são elas:

- CH20 (Cambissolos Húmicos Tb Distróficos + Neossolos Litólicos Distróficos + Nitossolos Brunos Distróficos);
- CH13 (Cambissolos Húmicos Distróficos + Neossolos Litólicos Distróficos + Gleissolos Melânicos Tb Distróficos);
- CH18 (Cambissolos Húmicos Tb Distróficos + Neossolos Litólicos Distróficos).[l]

[l] As siglas **CH20, CH13 e CH18** correspondem às unidades de mapeamento pedológico adotadas neste trabalho com base na atual nomenclatura do SiBCS (Santos *et al.,* 2018; 2025). No levantamento pedológico anterior do Estado, essas unidades eram representadas por siglas distintas (*eg.,* **Ca65, Ca66 e Ca76**) (EMBRAPA, 1998 e Potter *et al.,* 2004). As denominações antigas foram substituídas neste trabalho pelas siglas mais atualizadas, visando manter certa coerência taxonômica dos perfis de solo com o sistema classificatório vigente.

Já os Neossolos Litólicos Distróficos e Neossolos Regolíticos ocorrem em porções de relevo mais acidentado, ou em áreas de contato direto com a rocha sã. São solos que apresentam perfis pouco desenvolvidos e alta pedregosidade e podem ser subdivididos em quatro tipos de associações distintas, sendo elas:

- RL19 (Neossolos Litólicos Distróficos + Cambissolos Háplicos Tb);
- RL21 (Neossolos Litólicos Distróficos + Cambissolos Háplicos Tb + Nitossolos Brunos Distróficos);
- RL22 (Neossolos Litólicos Distróficos + Cambissolos Háplicos Tb + Neossolos Litólicos Eutróficos);
- RL24 - (Neossolos Litólicos Distróficos + Cambissolos Háplicos Tb + Neossolos Litólicos Eutróficos + Nitossolos Brunos/Nitossolos Vermelhos Eutróficos).[II]

6 MATERIAIS E METODOS

6.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A primeira etapa que compôs a pesquisa foi o levantamento bibliográfico em trabalhos de conclusão de curso, dissertações, teses, artigos científicos e livros anteriores ao presente estudo. A revisão conceitual foi elaborada com base nas necessidades relacionadas aos assuntos tratados no âmbito da caracterização das formas de relevo presentes na área de estudo, bem como na petrologia ígnea de rochas vulcânicas extrusivas, além do entendimento da geoquímica dessas litologias. O referencial teórico sobre os solos desenvolvidos a partir de rochas vulcânicas foi elaborado por meio da revisão do mapa pedológico do estado na escala 1:250.000 de maneira regional e local, bem como trabalhos anteriores elaborados por Santos et al. (2023) e Santos (2024).

[II] As associações pedológicas **RL19, RL21, RL22 e RL24**, utilizadas neste trabalho, seguem a mais atual das nomenclaturas propostas pelo SiBCS (Santos *et al.,* 2018; 2025). Em levantamentos pretéritos do Estado (EMBRAPA, 1998 e Potter *et al.,* 2004), essas unidades eram representadas pelas siglas **Rd3, Rd4, Rd5 e Rd7**. Tais siglas antigas foram substituídas pelas denominações mais atuais, visando assegurar certa coerência taxonômica com o SiBCS.

6.2 ETAPA DE CAMPO

A definição dos pontos amostrais e a condução da etapa de campo deste trabalho basearam-se nas metodologias adotadas na tese de Santos (2024), especialmente no que se refere às integrações entre metadados geoespaciais, mapas temáticos e observações de campo na região de São Joaquim. No entanto, diferentemente do escopo do trabalho de Santos (2024), a presente pesquisa teve como foco a porção norte do município, área que apresentou lacunas de dados tanto na caracterização pedológica (EMBRAPA, 1998 e Potter *et al.,* 2004) quanto na caracterização geológica disponível (Besser *et al*., 2015; Besser, 2017; Besser *et al*., 2018).

Desta maneira, a seleção dos pontos de amostragem teve como objetivo complementar e aprofundar as informações apresentadas em levantamentos anteriores, de forma a priorizar áreas onde o mapeamento indicava associações pedológicas muito amplas ou pouco detalhadas, bem como setores com indícios de variações litológicas que não estavam plenamente contemplados em produtos cartográficos já existentes. Assim, os pontos do presente estudo representam, em grande parte, as áreas não abordadas ou insuficientemente caracterizadas em trabalhos anteriores, permitindo que ocorra um refinamento das relações entre litologia, relevo e evolução pedogenética da porção norte do município de São Joaquim.

Esta etapa foi realizada entre os dias 24 e 26 de julho de 2024, consistindo na verificação dos pontos de interesse, descrição dos afloramentos e coleta de 11 amostras de rochas e 11 perfis de solos com seus respectivos horizontes, totalizando 42 amostras. Para a coleta das rochas, selecionaram-se afloramentos em bom estado de conservação, sendo a extração realizada nas porções mais bem preservadas, considerando as necessidades das análises geoquímicas. Os solos representativos dessas litologias foram coletados próximos ou imediatamente adjacentes aos locais onde as amostras de rochas haviam sido retiradas, com o intuito de representar fielmente o regolito derivado da litologia subjacente.

6.3 ANÁLISE GEOQUÍMICA DAS ROCHAS

Após a descrição dos afloramentos em campo, bem como a coleta, identificação e acondicionamento das amostras em melhor estado de conservação, as mesmas foram levadas ao Laboratório de Laminação (LabLam) da UFSC, onde foram serradas e fatiadas a fim de se obter a porção menos alterada e vesiculada possível.

As fatias devidamente identificadas foram encaminhadas ao Instituto de Geociências (IGc) da Universidade de São Paulo (USP), onde a preparação foi feita por um técnico através das seguintes etapas: (I) britagem das fatias, (II) pulverização em moinho planetário de ágata e (III) separação de cerca de 10 gramas do material pulverizado, necessário para as análises geoquímicas. As quantificações dos elementos maiores (Si, Al, Fe, Mg, Ca, Na, K, Ti, P, Mn e Cr) e traços (Sr, Rb, Zr, Ba, F e Cl) foram determinadas pelo método da Fluorescência de Raios-X (FRX). Os demais elementos traços, bem como os elementos ditos terras raras, foram obtidos via espectrometria de massa de plasma indutivamente acoplado (do inglês *Inductively Coupled Plasma Mass Spectometry* – ICP-MS).

Os dados geoquímicos foram normalizados em base anidra, importados e organizados no software Microsoft Excel versão 2016 (Microsoft Corporation, 2016). O tratamento dos dados, bem como a confecção de gráficos e diagramas, fora desenvolvido com o auxílio do software Geochemical Data Toolkit (GCDKit) versão 6.1, elaborado por Janoušek *et al*., (2006).

6.4 ANÁLISES MORFOLÓGICAS, FÍSICAS E QUÍMICAS DOS SOLOS

Em campo, cada horizonte e subhorizontes foram separados para realização da análise morfológica. Em seguida, amostras dos mesmos horizontes e subhorizontes foram coletadas, identificadas, acondicionadas em sacos plásticos e encaminhadas para o Laboratório de Manejo e Classificação de Solos do Centro de Ciências Agrárias (CCA) da UFSC para realização das análises físicas e químicas.

A descrição morfológica dos perfis foi realizada conforme o Manual de Coleta e Descrição de Solos no Campo (Santos *et al*.,2015). Dentre as características morfológicas, levou-se em consideração atributos como: cor úmida e seca com base

na carta de cores de Munsell para solos (2009), estrutura, cerosidade, consistência úmida e seca, plasticidade, pegajosidade e a transição entre cada horizonte ou subhorizontes.

As análises físicas e químicas foram realizadas conforme as metodologias empregadas pela EMBRAPA (Teixeira *et al.,* 2017) e Tedesco *et al*. (1995). Os atributos físicos e químicos analisados foram: pH em água, Ca^{+2}, Mg^{+2}, Al^{+3}, K^{+}, Na^{+}, H^{+}, P e carbono orgânico (C-org); e calculados a soma de bases (S.B. = Ca^{+2} + Mg^{+2} + K^{+} + Na^{+}), a $CTC_{efetiva}$ (= S.B. + Al^{+3}), a $CTC_{potencial}$ (= Ca^{+2} + Mg^{+2} + K^{+} + Na^{+} + Al^{+3} + H^{+}), o teor de matéria orgânica (M.O. = C-org*1,724), a CTC_{argila} (= ($CTC_{potencial}$)/%(argila)*100), a saturação por alumínio (m% = (Al^{+3}/$CTC_{efetiva}$)*100) e a saturação por bases (V% = (S.B./$CTC_{potencial}$)*100). Com a determinação dos teores de areia, silte e argila, realizou-se a classificação da textura do solo. Com os dados físicos e químicos, a classificação dos horizontes superficiais e subsuperficiais, bem como a classificação dos 11 perfis de solos se deu até o seu 4° nível categórico (ordem, subordem, grande grupo e subgrupo) com base nas diretrizes propostas pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) (Santos *et al.,* 2025).

Todos os dados morfológicos, além dos dados físicos e químicos, dos 11 perfis de solos com suas 42 amostras foram organizados, tratados e analisados no software Microsoft Excel versão 2016 (Microsoft Corporation, 2016). A tabela com os dados brutos da geoquímica das rochas pode ser consultada em anexo ao final deste trabalho.

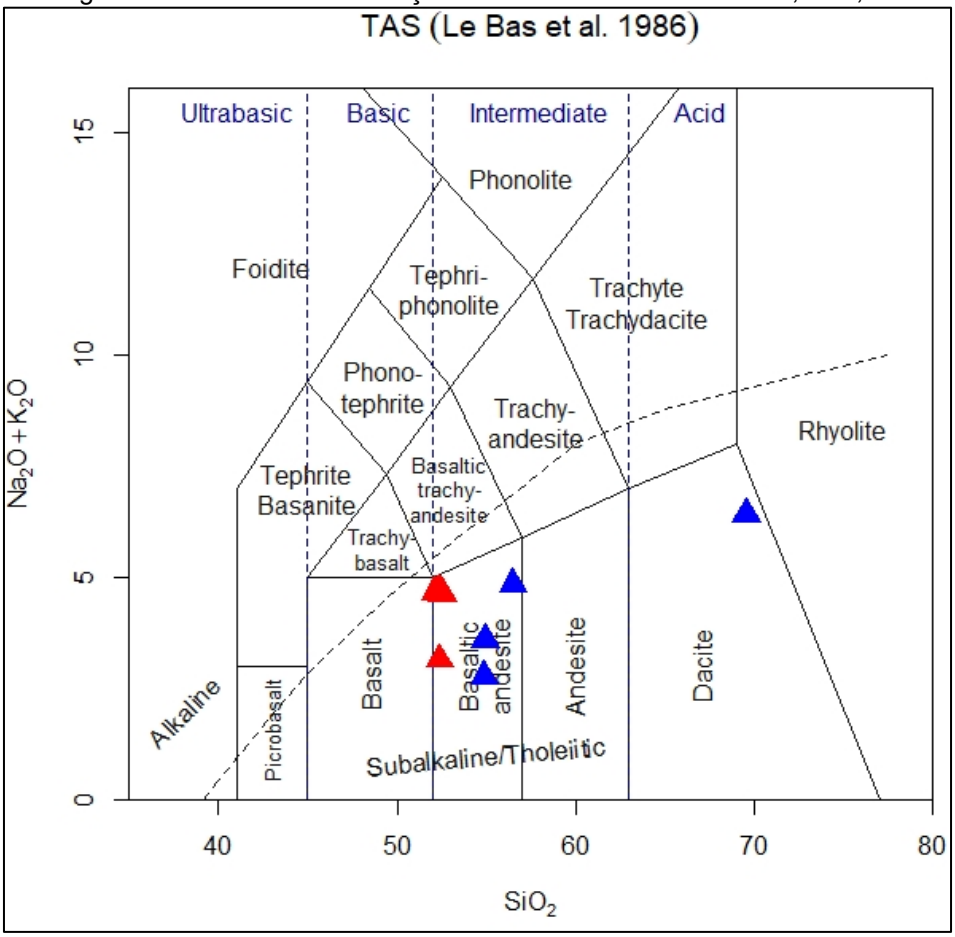
7 RESULTADOS

7.1 GEOQUÍMICA E DIAGRAMAS CLASSIFICATÓRIOS

Segundo o diagrama TAS de Le Bas *et al*. (1986), as amostras distribuem-se majoritariamente sobre os campos do basalto, basalto andesítico e um exemplar no campo do dacito. Todo o conjunto amostral se posiciona abaixo da curva de Miyashiro (1978), indicando um domínio subalcalino/toleítico. Os exemplares caracterizados como A-Ti (triângulos vermelhos) se concentram no campo do basalto, devido sua composição mais básica com teores de SiO_2 entre 51,43 – 51,89 peso%,

ao passo que as rochas de B-Ti (triângulos azuis) avançam no diagrama para composições intermediárias a ácidas com teores de SiO_2 variando entre 54,33 – 69,20 peso%.

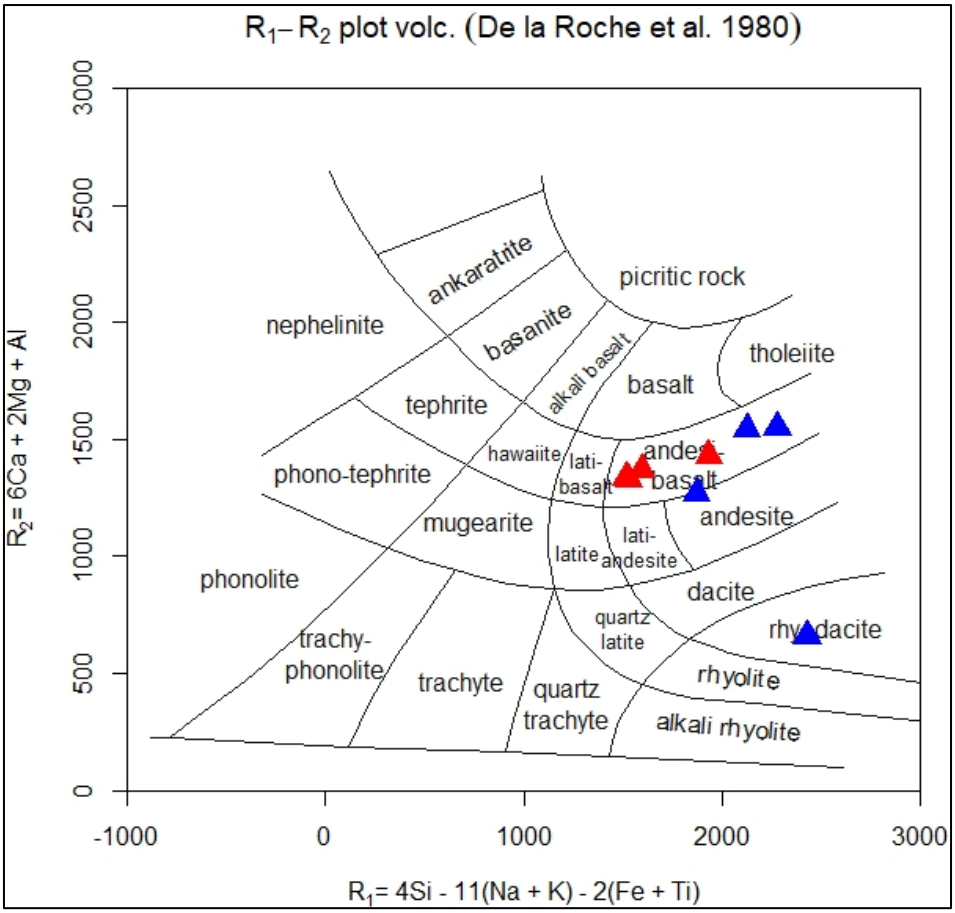
Figura 4 - Diagrama TAS com a classificação das amostras. Em vermelho, A-Ti; em azul, B-Ti.



Fonte: elaborado pelo autor.

Já no diagrama R_1-R_2 de La Roche *et al*. (1980), as amostras ocupam os campos do andesi-basalto, andesito e riodacito com tendências alinhadas ao setor mais toleítico do diagrama. A distribuição interna do conjunto amostral como um todo reforça o contraste observado no diagrama TAS, onde as amostras A-Ti (triângulos vermelhos) aparecem agrupadas em termos mais básicos, da mesma forma que as B-Ti (triângulos azuis) apresentam uma maior dispersão, que ruma para termos mais intermediários a ácidos.

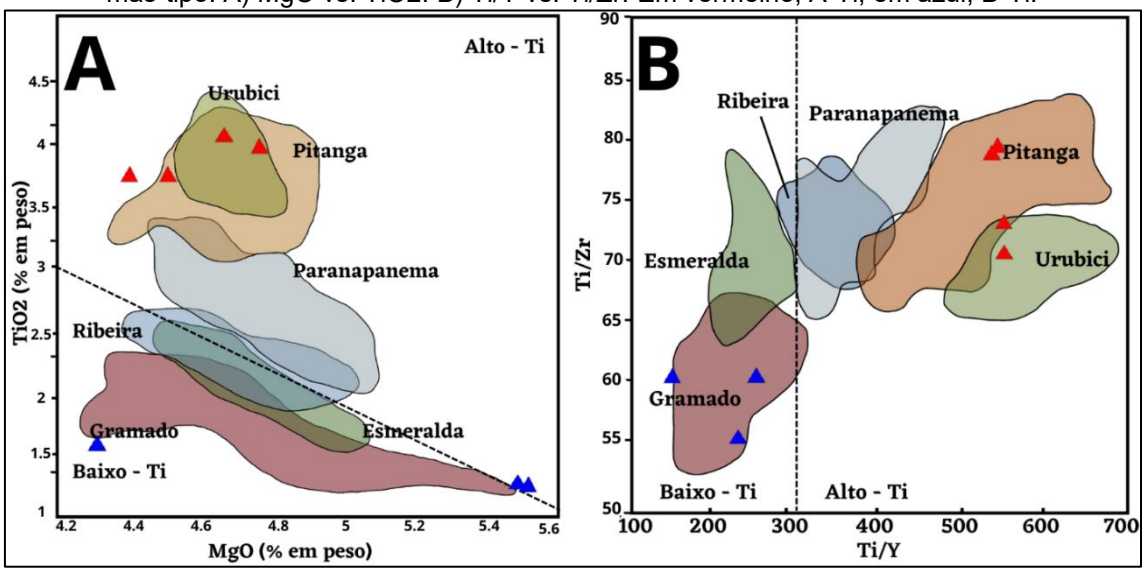
Figura 5 - Diagrama R_1–R_2 demostrando a semelhança composicional em relação ao TAS. Em vermelho, A-Ti; em azul, B-Ti.



Fonte: elaborado pelo autor.

Também foram usados diagramas discriminatórios com relação aos magmas-tipo da PMP, elaborado por Peate *et al*. (1992), para classificar as amostras. No diagrama binário MgO peso% *vs*. TiO_2 peso% (Fig. 16A) 1 das 3 amostras de B-Ti se concentra no campo do magma-tipo Gramado, ao passo de que as outras duas amostras se deslocaram para a extremidade limite entre os campos dos magmas-tipo Gramado/Esmeralda devido ao alto valor em MgO. A 4° amostra de B-Ti foi tratada como *outlier* por ter caráter ácido e não se enquadrar no diagrama proposto abaixo, mas está dentro dos critérios classificatórios de Peate *et al*., 1992. As 4 amostras que apresentam A-Ti migram entre o magma-tipo Urubici para Pitanga à medida que os valores de MgO diminuem, algo semelhante ocorre na Figura 16B, quando os valores da razão Ti/Zr se elevam e as amostras passam a compor o campo do magma-tipo Pitanga.

Figura 6 - Diagramas binários demonstrando os critérios para discriminar diferentes tipos de magmas-tipo. A) MgO vs. TiO2. B) Ti/Y vs. Ti/Zr. Em vermelho, A-Ti; em azul, B-Ti.

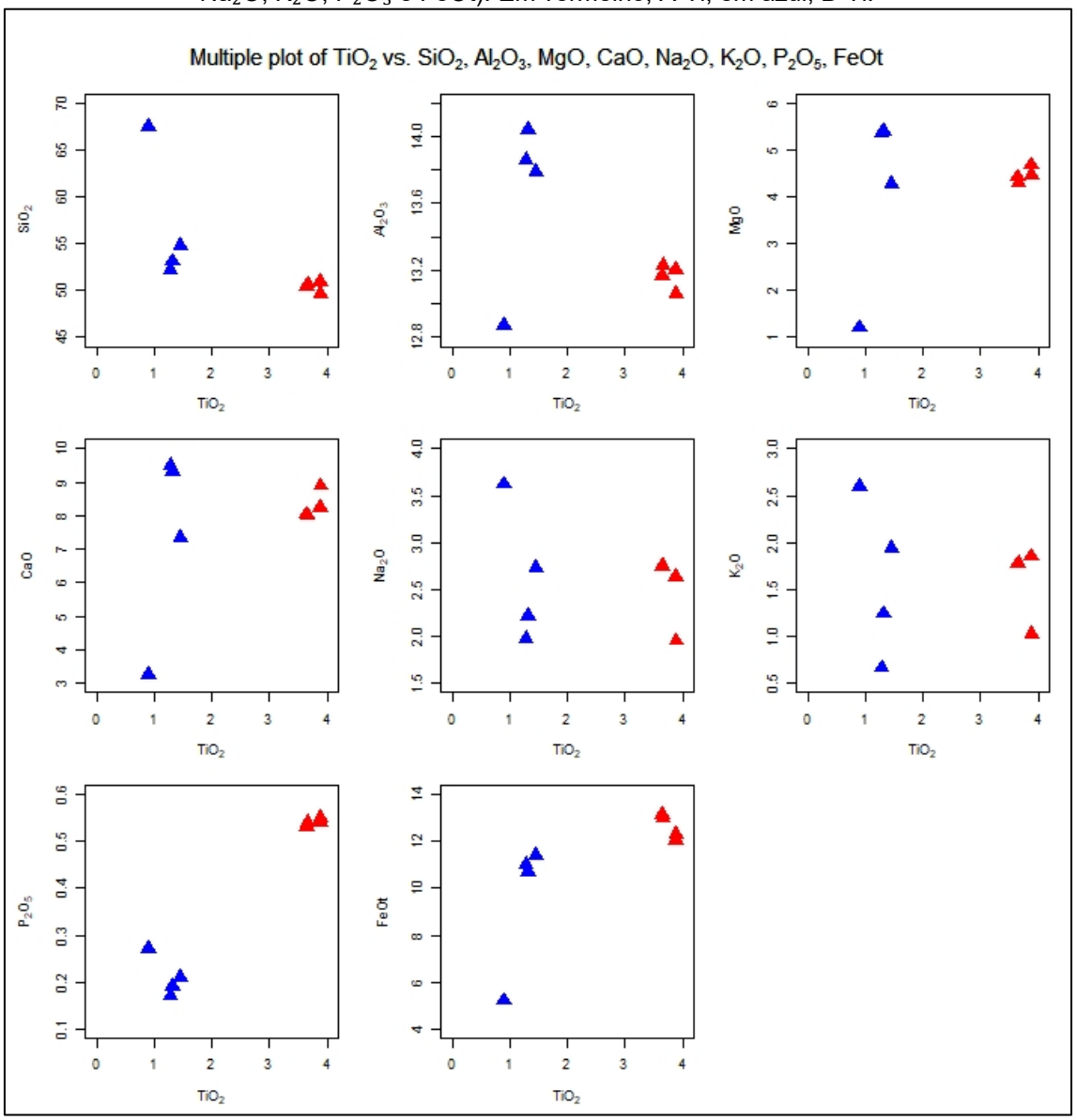


Fonte: modificado de Peate *et al.* (1992).

Com a análise dos elementos maiores em diagramas bivariantes tipo Harker (Fig. 17), utilizando TiO_2 como índice de diferenciação, pode-se observar diferenças sistemáticas na química de todas as amostras. Os diagramas gerados confirmam a evolução toleítica das amostras, além da clara segregação de dois conjuntos amostrais bem definidos, interpretados como B-Ti e A-Ti. Há fortes covariâncias entre os óxidos maiores como, por exemplo, à medida que a porcentagem de TiO_2 aumenta, o SiO_2 diminui e uma forte segregação entre TiO_2 e P_2O_5, podendo indicar um certo controle entre os óxidos de Fe e Ti no fracionamento e cristalização magmática.

As amostras A-Ti aparecem agrupadas e apresentam tendências elevadas em MgO (4 - 5,5%) com TiO_2 (3,6 – 3,9%), P_2O_5 (0,5 – 0,6%) e FeOt (13 – 14%), contrastando com as de B-Ti que vão na contramão destes resultados. As amostras B-Ti ocupam uma faixa composicional mais ampla em relação aos exemplares de A-Ti, apresentando valores de TiO_2 entre 0,90 – 1,46%, além de P_2O_5 entre 0,1 – 0,2% e FeOt variando de 5 – 12% conforme a composição da amostra dos membros mais evoluídos quimicamente.

Figura 7 - Diagramas bivariantes tipo Harker com TiO_2 no eixo X vs. (SiO_2, MgO, Al_2O_3, CaO, Na_2O, K_2O, P_2O_5 e FeOt). Em vermelho, A-Ti; em azul, B-Ti.



Fonte: elaborado pelo autor.

7.2 CLASSIFICAÇÃO TAXONÔMICA DOS PERFIS DE SOLO

A seguir são apresentados os resultados de cada perfil de solo, destacando os principais atributos morfológicos e as tendências observadas através dos resultados das análises físicas e químicas necessárias para sustentar o enquadramento taxonômico correspondente de cada perfil de solo. Na área de estudo predominam solos da classe dos Neossolos, representados principalmente por Neossolos Litólicos Húmicos típicos e Neossolo Litólico Chernozêmico típico, associados a porções superiores do relevo e a perfis rasos. Destacam-se também solos da classe dos

Nitossolos, com ocorrência expressiva de Nitossolos Háplicos Distróficos típicos e Nitossolos Brunos Distróficos típicos, desenvolvidos sobre unidades mais estáveis de relevo e apresentando o maior grau de desenvolvimento pedogenético dentre todas as classes de solos. Ocorrem, de forma subordinada, solos da classe dos Cambissolos, representados por Cambissolos Háplicos Distróficos típicos e Cambissolos Húmicos Distróficos típicos, caracterizando perfis em estágio intermediário de desenvolvimento.

7.2.1 Perfil LSJ-01

O perfil está localizado em terço médio de paisagem, inserido na unidade geomorfológica do Planalto Dissecado do Rio Uruguai. O relevo varia de ondulado a forte ondulado, com declividade média de aproximadamente 32 % e altitude em torno de 1.319 m (Fig. 18A), há presença de pedregosidade e rochosidade evidenciada por matacões rolados distribuídos na paisagem (Fig. 18B), apesar disso o perfil apresenta profundidade superior a 85 cm e cores brunadas (Fig. 18C). Texturalmente varia de francossiltosa a francoargilosa entre A1 e AB, passando para argila em BA até BC e com predomínio de estrutura de grau moderado, tipo blocos subangulares de tamanho médio para todo o perfil (Tab. 1).

Figura 8 - A) Vista geral do afloramento. B) Localização na paisagem. C) Perfil de solo.



Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 1 - Descrições morfológicas do perfil de solo LSJ-01.

Horizontes	Descrição
A1	0 - 10 cm, bruno muito escuro (7,5YR 2,5/2, úmida); bruno escuro (7,5YR 3/2, seca); francossiltosa; moderada pequena blocos subangulares; dura; firme; plástica e pegajosa; transição clara e ondulada.
A2	10 - 20 cm, bruno muito escuro (7,5YR 2,5/2, úmida); bruno escuro (7,5YR 3/2, seca); franco-argilossiltosa; moderada pequena a média blocos subangulares; dura; firme; plástica e pegajosa; transição ondulada e clara.
A3	20 - 35 cm, bruno muito escuro (7,5YR 2,5/2, úmida); bruno escuro (7,5YR 3/2, seca); franco-argilossiltosa; moderada média a grande blocos subangulares; dura; firme; plástica e pegajosa; transição ondulada e clara.
AB	35 - 48 cm, bruno muito escuro (7,5YR 2,5/2, úmida); bruno escuro (7,5YR 3/4, seca); francoargilosa; moderada pequena a média blocos subangulares; dura; firme; plástica e pegajosa; transição plana e clara.
BA	48 - 65 cm, bruno escuro (7,5YR 3/3, úmida); argila; moderada pequena a média blocos subangulares; muito dura; muito firme; plástica e pegajosa; transição plana e clara.
Bi	65 - 85 cm, bruno escuro (7,5YR 3/4, úmida); argila; moderada média a grande blocos subangulares; muito dura; muito firme; plástica e pegajosa; transição ondulada e clara.
BC	85 cm+, bruno escuro (7,5YR 3/4, úmida); argila; moderada média blocos subangulares; muito dura; muito firme; plástica e pegajosa.

Fonte: elaborado pelo autor.

O perfil apresenta argila de atividade alta em praticamente todo o perfil, com destaque para o horizonte Bi com valores de 28,39 cmolc/kg. Os valores de saturação por bases (V%) variam de 23 a 5% em profundidade, pH fortemente ácido (4,75 – 5,0), alto teor de carbono orgânico (C.org) no horizonte A1 que diminui gradualmente em profundidade (Tab. 2). Nota-se, também, altos teores de acidez potencial (H+Al) que variam de 13 a 11 cmolc/kg ao longo de todo o perfil, além de baixos teores de soma de bases (S. B) entre 0,45 a 3,33 cmolc/kg e elevada saturação por Al (m%) variando de 24 a 86%, quando observados de A1 a BC.

Tabela 2 - Análises físicas e químicas do perfil LSJ-01.

Hori-zonte	Prof. (cm)	Areia (g/kg)	Silte (g/kg)	Argila (g/kg)	CTC efet. (cmol c/kg)	CTC pH7 (cmol c/kg)	CTC argila (cmol c/kg)	Sat. Al (m%)	Sat. Ba-ses (V%)	C-org (g/kg)	S.B (cmol c/kg)
A1	0 - 10	180	567	253	4,39	14,42	57,00	24	23,09	27,95	3,33
A2	10 - 20	174	517	309	3,12	14,97	48,45	48	10,75	25,70	1,61
A3	20 - 35	181	476	343	1,78	12,93	37,70	45	7,58	22,40	0,98
AB	35 - 48	328	306	366	2,16	10,67	29,15	79	4,22	14,83	0,45
BA	48 - 65	175	358	467	1,94	12,27	26,27	65	5,46	13,01	0,67
Bi	65 - 85	162	359	479	2,27	13,60	28,39	66	8,82	11,64	1,20
BC	85 +	176	368	456	3,80	12,13	26,60	84	5,11	2,96	0,62

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 2 – continuação.

Hori-zonte	pH água	Ca^{2+} (cmolc/kg)	Mg^{2+} (cmolc/kg)	K^{+} (cmolc/kg)	Na^{+} (cmolc/kg)	Al^{3+} (cmolc/kg)	H^{+}+Al (cmolc/kg)
A1	4,69	1,60	1,21	0,48	0,04	1,06	11,09
A2	4,61	0,92	0,47	0,20	0,02	1,51	13,36
A3	4,72	0,49	0,28	0,18	0,03	0,80	11,95
AB	4,75	0,20	0,19	0,04	0,02	1,71	10,22
BA	4,62	0,48	0,10	0,06	0,03	1,27	11,60
Bi	4,64	0,70	0,36	0,11	0,03	1,50	12,40
BC	5,01	0,30	0,18	0,11	0,03	3,18	11,51

Fonte: elaborado pelo autor.

De acordo com as análises químicas e os dados morfológicos do perfil, o horizonte superficial A foi classificado como húmico. Para a classificação do horizonte diagnóstico subsuperficial, levou-se em consideração os dados analíticos supracitados, tendo como resposta um horizonte subsuperficial B incipiente (Bi) com estrutura em blocos subangulares, cores brunadas e espessura maior que 10 cm, com argilas de alta atividade. O perfil também apresenta o caráter argilúvico.

O perfil LSJ-01 foi classificado como Cambissolo Húmico Distrófico espesso-húmico argilúvico, por possuir horizonte subsuperficial B incipiente dentro dos primeiros 200 cm do *solum* e horizonte A húmico. Para o grande grupo, levando em consideração a baixa saturação por bases (V% < 50) em todo o perfil, mas em especial nos subhorizontes BA, B1 e BC, este nível categórico foi classificado como distrófico. Por fim, o subgrupo deste perfil leva em consideração a espessura do horizonte A, bem como o teor de carbono orgânico (C.org) maior ou igual a 10 g/kg

até 60 cm de profundidade, sendo enquadrado na categoria de espesso-húmico; além de gradiente textural (1,48), que caracteriza o caráter argilúvico.

7.2.2 Perfil LSJ-02

O perfil está localizado em terço superior de paisagem, inserido na unidade geomorfológica do Planalto dos Campos Gerais. O relevo é suave ondulado a ondulado, com declividade média de aproximadamente 12 % e altitude em torno de 1,439 m (Fig. 19A). Apresenta pedregosidade e rochosidade, com o perfil mantendo contato direto com a rocha (Fig. 19C). A profundidade do perfil não é superior a 30 cm e apresenta cores brunadas em seus dois horizontes (Fig. 19B). Com relação a sua textura, prevalece a francossiltosa em ambos os horizontes, além de estrutura moderada variando de granular a blocos subangulares (Tab. 3).

Figura 9 - A) vista geral do afloramento. B) perfil de solo. C) localização do perfil na paisagem.



Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 3 - Descrições morfológicas do perfil de solo LSJ-02.

Horizontes	Descrição
A1	0 - 15 cm, bruno muito escuro (10YR 2/2, úmida); bruno escuro (10YR 3/3, seca); francossiltosa; moderada pequena granular; ligeiramente dura; friável; plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.
A2	15 - 26 cm, bruno muito escuro (10YR 2/2, úmida); bruno-amarelado escuro (10YR 3/4, seca); francossiltosa; moderada pequena, blocos subangulares; ligeiramente dura; friável; plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.
R	Rocha

Fonte: elaborado pelo autor.

O perfil apresenta valores baixos de saturação por bases (40 % no horizonte A1 e 18 % no horizonte A2), pH fortemente ácido (5,1 – 5,26), muito alto teor de carbono orgânico (C.org) no horizonte A1, mas decaindo pela metade em A2 (Tab. 4). Altos valores de acidez potencial (H+Al) variando de 15,5 a 11,3 cmolc/kg entre A1 e A2, além de baixos teores de soma das bases (S. B) de 3,44 a 7,72 cmolc/kg e saturação por alumínio (m%) em 21 e 27%.

Tabela 4 - Análises físicas e químicas do perfil LSJ-02.

Horizonte	Prof. (cm)	Areia (g/kg)	Silte (g/kg)	Argila (g/kg)	CTC efet. (cmolc/kg)	CTC pH7 (cmolc/kg)	CTC argila (cmolc/kg)	Sat. Al (m%)	Sat. Bases (V%)	C-org (g/kg)	S.B (cmolc/kg)
A1	0 - 15	33	760	207	10,60	19,10	92,27	27	40	78,2	7,72
A2	15 - 26	88	671	241	4,35	18,94	78,59	21	18	44,9	3,44

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 4 – continuação.

Horizonte	pH água	Ca^{2+} (cmolc/kg)	Mg^{2+} (cmolc/kg)	K^{+} (cmolc/kg)	Na^{+} (cmolc/kg)	Al^{3+} (cmolc/kg)	H^{+}+Al (cmolc/kg)
A1	5,26	5,25	1,81	0,56	0,10	2,88	11,38
A2	5,10	2,11	1,01	0,21	0,11	0,91	15,50

Fonte: elaborado pelo autor.

De acordo com os dados morfológicos e as análises físicas e, o horizonte superficial A foi classificado como húmico. O perfil LSJ-02 foi classificado como Neossolo Litólico Húmico típico devido à ausência de horizonte B diagnóstico e por exibir uma sequência do tipo A-R com contato lítico (R) dentro de 50 cm da sua superfície. Para o grande grupo atende-se o critério de húmico devido a

classificação do horizonte superficial A. Por fim, o subgrupo deste perfil atende para o critério de típico por não apresentar outros qualificadores adicionais.

7.2.3 Perfil LSJ-03

O perfil encontra-se em terço superior de paisagem, inserido na unidade geomorfológica do Planalto Dissecado do Rio Uruguai onde o relevo varia de suave ondulado a ondulado, com declividade média de 15 % e altitude em torno de 1.437 m (Fig. 20A). Há presença de pedregosidade e rochosidade evidenciada por matacões rolados na paisagem (Fig. 20B) e pelo contato direto do horizonte com a rocha (Fig. 20C). Do ponto de vista morfológico este perfil apresenta cores brunadas e textura francossiltosa, além de estrutura predominantemente granular com grau fraco de desenvolvimento (Tab. 5).

Figura 20 - A) vista geral do afloramento. B) localização do perfil na paisagem. C) perfil de solo.



Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 5 - Descrição morfológica do perfil de solo LSJ-03.

Horizonte	Descrição
A1	0 - 27 cm, bruno muito escuro (10YR 2/2, úmida); bruno escuro (10YR 3/2, seca); francossiltosa; fraca pequena a média granular; ligeiramente dura; muito friável; plástica e ligeiramente pegajosa; transição ondulada e abrupta.
R	Rocha

Fonte: elaborado pelo autor.

O perfil apresenta baixo valor de saturação por bases (V% = 37,5), pH fortemente ácido (5,09), elevado teor de carbono orgânico (C.org > 60 g/kg), valor alto de acidez potencial (H+Al = 13,58 cmolc/kg), além de baixos teores de soma das bases (S.B = 8.16 cmolc/kg) e saturação por alumínio (m% = 8,72) (Tab. 6).

Tabela 6 - Análises físicas e químicas do perfil LSJ-03.

Horizonte	Prof. (cm)	Areia (g/kg)	Silte (g/kg)	Argila (g/kg)	CTC efet. (cmolc/kg)	CTC pH7 (cmolc/kg)	CTC argila (cmolc/kg)	Sat. Al (m%)	Sat. Bases (V%)	C-org (g/kg)	S.B (cmolc/kg)
A1	0 - 27	195	620	185	8,94	21,74	117,5	8,72	37,5	62,8	8,16

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 6 – continuação.

Horizonte	pH água	Ca^{2+} (cmolc/kg)	Mg^{2+} (cmolc/kg)	K^{+} (cmolc/kg)	Na^{+} (cmolc/kg)	Al^{3+} (cmolc/kg)	H^{+}+Al (cmolc/kg)
A1	5,09	4,3	2,64	1,15	0,07	0,78	13,58

Fonte: elaborado pelo autor.

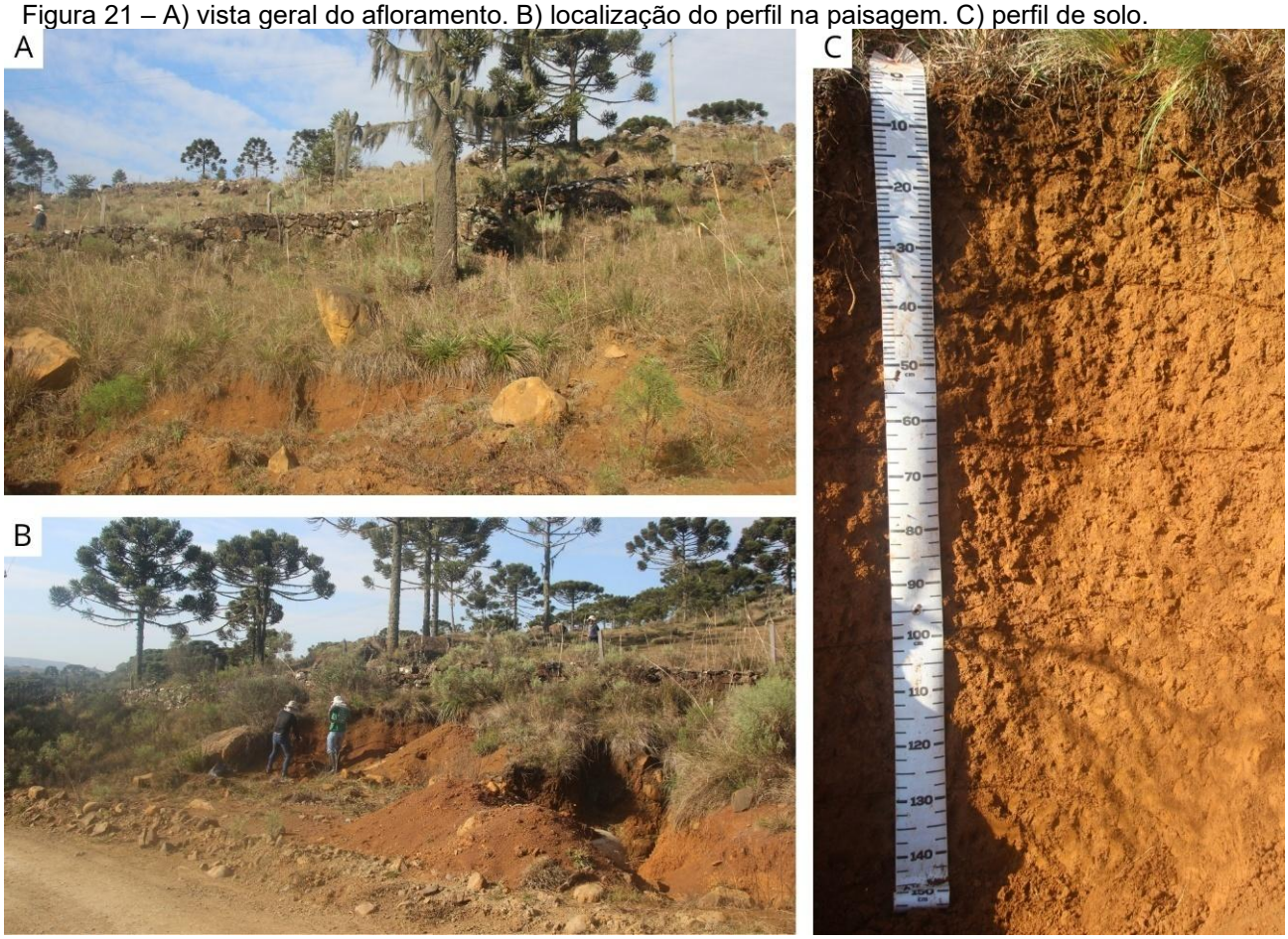
Levando-se em consideração os dados morfológicos do perfil, bem como as análises físicas e químicas, este perfil contém horizonte A húmico. O perfil LSJ-03 foi classificado como Neossolo Litólico Húmico típico, tal qual o perfil LSJ-02, pois não possui horizonte B diagnóstico e o horizonte A está em contato direto com a rocha (R) dentro dos primeiros 50 cm da sua superfície. O grande grupo atende ao critério de húmico devido a classificação do horizonte superficial A. Por fim, o subgrupo deste perfil atende para o critério de típico por também não apresentar outros qualificadores adicionais.

7.2.4 Perfil LSJ-04

O perfil localiza-se em terço médio de paisagem, inserido na unidade geomorfológica do Planalto Dissecado do Rio Uruguai. O relevo varia de suave

ondulado a ondulado, com declividade média de 18 % e altitude em torno de 1.192 m (Fig. 21A). Rochosidade é observada pela paisagem, mas pedregosidade é ausente dentro do perfil de solo (Fig. 21B, C). O perfil é bem desenvolvido, com mais de 140 cm de profundidade, com cores brunadas e texturas que variam de franco-argilossiltosa a argilossiltosa entre A-AB, até muito argilosa a argilosa em B_1-B_3 (Tab. 7). Apresenta estruturas de grau moderado do tipo blocos subangulares em todo o perfil, além da presença de cerosidade comum a moderada também em toda a extensão do horizonte B do perfil.

Figura 21 – A) vista geral do afloramento. B) localização do perfil na paisagem. C) perfil de solo.



Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 7 - Descrições morfológicas do perfil de solo LSJ-04.

Horizonte	Descrição
A	0 - 18 cm, bruno escuro (7,5YR 3/3, úmida); bruno escuro (7,5YR 3/4, seca); franco-argilossiltosa; moderada pequena a média blocos subangulares; muito dura; firme; ligeiramente plástica e pegajosa; transição ondulada e clara.
AB	18 - 40 cm, bruno escuro (7,5YR 3/4, úmida); bruno (7,5YR 4/4, seca); argilossiltosa; moderada pequena a média blocos subangulares; muito dura; firme; ligeiramente plástica e pegajosa; ondulada e gradual.
BA	40 - 62 cm, bruno escuro (7,5YR 3/4, úmida); argilossiltosa; moderada média blocos subangulares; extremamente dura; muito firme; ligeiramente plástica e pegajosa; transição plana e gradual.
B_{t1}	62 - 98 cm, bruno escuro (7,5YR 3/3, úmida); muito argilosa; forte pequena a média blocos subangulares; cerosidade comum a moderada; muito dura; muito firme; plástica e pegajosa; transição ondulada e gradual.
B_{t2}	98 - 126 cm, bruno escuro (7,5YR 3/4, úmida) argila; moderada pequena a média blocos subangulares; cerosidade comum a moderada; muito dura; firme; plástica e pegajosa; transição plana e gradual.
B_{t3}	126 - 142 cm, bruno escuro (7,5YR 3/4 úmida); argilossiltosa; moderada pequena a média blocos subangulares; cerosidade comum a moderada; dura; muito firme; plástica e pegajosa.

Fonte: elaborado pelo autor.

O perfil apresenta valores baixos de saturação por bases (S.B = 43 – 7%), pH fortemente ácido (5,1 – 5,35), alto teor de carbono orgânico (C.org = 29,9 g/kg) no horizonte A_1, decaindo de forma expressiva em profundidade (Tab. 8). Baixos valores de acidez potencial (H+Al) entre 5 – 8,11 cmolc/kg, além de baixos teores de soma das bases (S. B) que estão entre 0,52 a 5,45. A saturação por Al (m%) passa a ser ligeiramente mais expressiva em AB (56%) até B_{t3} (>70%).

Tabela 8 - Análises físicas e químicas do perfil LSJ-04.

Horizonte	Prof. (cm)	Areia (g/kg)	Silte (g/kg)	Argila (g/kg)	CTC efet. (cmolc/kg)	CTC pH7 (cmolc/kg)	CTC argila (cmolc/kg)	Sat. Al (m%)	Sat. Bases (V%)	C-org (g/kg)	S.B (cmolc/kg)
A1	0-18	188	357	455	5,66	12,6	27,78	3,71	43,1	29,9	5,45
AB	18-40	140	427	433	2,74	19	43,90	56,2	14,5	17,1	1,20
BA	40-62	130	324	546	2,70	9,11	16,68	62,9	10,9	10,1	1,00
Bt1	62-98	93	281	626	2,32	8,49	13,56	53,4	12,6	8,67	1,08
Bt2	98-126	125	306	569	1,13	8,00	14,06	48,6	7,2	13,9	0,58
Bt3	126-142	120	435	445	2,24	5,75	12,92	76,7	9,04	9,58	0,52

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 8 – continuação.

Hori-zonte	pH água	Ca^{2+} (cmolc/kg)	Mg^{2+} (cmolc/kg)	K^{+} (cmolc/kg)	Na^{+} (cmolc/kg)	Al^{3+} (cmolc/kg)	$H^{+}+Al$ (cmolc/kg)
A1	5,35	2,58	2,37	0,44	0,06	0,21	7,19
AB	5,21	0,66	0,42	0,10	0,02	1,54	7,04
BA	5,18	0,64	0,28	0,07	0,01	1,70	8,11
Bt1	4,91	0,63	0,32	0,09	0,01	1,24	7,41
Bt2	5,04	0,30	0,18	0,07	0,03	0,55	7,42
Bt3	5,68	0,29	0,16	0,06	0,01	1,72	5,23

Fonte: elaborado pelo autor.

Com os dados morfológicos e as análises físicas e químicas do perfil, o horizonte superficial A foi classificado como moderado. Para a classificação do horizonte diagnóstico subsuperficial, considerou-se a presença de cerosidade comum e moderada recobrindo os agregados do horizonte B, bem como valores altos de argila, maior que 350 g/kg em todo perfil. Estruturas em blocos com grau moderado a forte e argila de baixa atividade, juntamente com gradiente textural B/A <1,5, o que classifica o horizonte B como nítico (Bt).

O perfil LSJ-04 foi classificado como Nitossolo Bruno Distrófico típico, pois possui Bt dentro dos primeiros 200 cm de *solum,* além de cores brunadas que predominam no matiz 7,5YR, concomitante com valor ≤ 4 e croma ≤ 6 quando úmidos. O solo apresenta caráter retrátil e teores de carbono maiores que 10 g/kg nos primeiros 40 cm, o que enquadra o solo como Nitossolo Bruno. Para o grande grupo, levando-se em consideração a baixa saturação por bases (V% < 50) em todo o perfil, mas em especial nos subhorizontes BA, Bt1, Bt2 e Bt3, este nível categórico foi classificado como distrófico. Por fim, o subgrupo deste perfil atende para o critério de típico por também não apresentar outros qualificadores adicionais.

7.2.5 Perfil LSJ-05

O perfil localiza-se em terço médio de paisagem e inserido na unidade geomorfológica do Planalto Dissecado do Rio Uruguai onde o relevo varia de suave ondulado a ondulado, com declividade em torno de 12 % e altitude aproximada de 1.206 m (Fig. 22A), não há sinais de pedregosidade e rochosidade aparente (Fig. 22B). O perfil apresenta baixo grau de desenvolvimento pedogenético, com

profundidade menor que 20 cm, além de cores brunadas muito escuras (Fig. 22C; Tab. 9). Apresenta estrutura de grau moderado do tipo granular.

Figura 22 – A) vista geral do afloramento. B) localização do perfil na paisagem. C) perfil de solo.



Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 9 - Descrição morfológica do perfil de solo LSJ-05.

Hori-zonte	Descrição
A	0 - 13 cm, bruno muito escuro (7,5YR 2,5/3, úmida); bruno muito escuro (7,5YR 3/3, seca); moderada pequena granular; ligeiramente dura; friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.
R	Rocha

Fonte: elaborado pelo autor.

O perfil apresenta valor alto de saturação por bases (V% = 76) em seu único horizonte, pH moderadamente ácido (5,5) e elevado teor de carbono orgânico (C.org = 55,6 g/kg) (Tab. 10). Possui valor baixo de acidez potencial (H+Al = 6,03 cmolc/kg), mas alto valor na soma de bases (S.B = 19,9 cmolc/kg).

Tabela 10 - Análises físicas e químicas do perfil LSJ-05.

Horizonte	Prof. (cm)	CTC efet. (cmolc/kg)	CTC pH7 (cmolc/kg)	Sat. Al (m%)	Sat. Bases (V%)	C-org (g/kg)	S.B (cmolc/kg)
A	0 - 13	20,32	25,97	1,87	76,78	55,67	19,94

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 10 – continuação.

Horizonte	pH água	Ca^{2+} (cmolc/kg)	Mg^{2+} (cmolc/kg)	K^{+} (cmolc/kg)	Na^{+} (cmolc/kg)	Al^{3+} (cmolc/kg)	H^{+}+Al (cmolc/kg)
A	5,51	12,47	6,43	0,95	0,09	0,38	6,03

Fonte: elaborado pelo autor.

De acordo com as descrições morfológicas, juntamente com as análises físicas e químicas, o horizonte A foi classificado como chernozêmico. O perfil LSJ-05 foi classificado como Neossolo Litólico Chernozêmico típico, pois não possui horizonte B e o horizonte A está em contato direto com a rocha dentro dos primeiros 50 cm da sua superfície. O grande grupo atende ao critério de chernozêmico devido a classificação do horizonte superficial A, bem como a ausência de caráter carbonático. Por fim, o subgrupo deste perfil atende para o critério de típico por também não apresentar outros qualificadores adicionais.

7.2.6 Perfil LSJ-06A

O perfil localiza-se em terço inferior de paisagem, inserido na unidade geomorfológica do Planalto Dissecado do Rio Uruguai, com relevo variando de suave ondulado a ondulado (Fig. 23A), com pedregosidade e rochosidade aparente. O ponto amostrado situa-se a uma altitude média de 1.068 m e com declividade em torno de 14 %. O perfil é pouco desenvolvido, com menos de 20 cm de profundidade, com cores brunadas (Fig. 23B). Apresenta textura franco-argilossiltosa em seu único horizonte, além de estrutura de grau moderado com blocos subangulares de tamanho pequeno a médio, e estrutura fraca pequena granular (Tab. 11).

Figura 23 - A) vista geral do afloramento. B) localização do perfil na paisagem.



Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 11 - Descrição morfológica do perfil de solo LSJ-06A.

Horizonte	Descrição
A	0 - 20 cm, bruno escuro (7,5YR 3/3, úmida); bruno escuro (7,5YR 3/4, seca); franco-argilossiltosa; moderada pequena a média blocos subangulares e fraca pequena granular; ligeiramente dura; friável; ligeiramente plástica e pegajosa; transição ondulada e abrupta.
R	Rocha

Fonte: elaborado pelo autor.

O perfil apresenta valores baixos de saturação por bases (26,6 %), pH fortemente ácido (5,09), baixo teor de carbono orgânico (C.org = 23,8 g/kg), baixo teor de soma das bases (S.B = 3,3 cmolc/kg), com uma saturação por alumínio ligeiramente alta (m% = 35,8) (Tab. 12).

Tabela 12 - Análises físicas e químicas do perfil LSJ-06A.

Hori-zonte	Prof. (cm)	Areia (g/kg)	Silte (g/kg)	Ar-gila (g/kg)	CTC efet. (cmolc/kg)	CTC pH7 (cmolc/kg)	CTC argila (cmolc/kg)	Sat. Al (m%)	Sat. Ba-ses (V%)	C-org (g/kg)	S.B (cmolc/kg)
A	0-20	224	433	343	5,14	12,37	36,06	35,8	26,68	23,89	3,3

Tabela 12 – continuação.

Hori-zonte	pH água	Ca^{2+} (cmolc/kg)	Mg^{2+} (cmolc/kg)	K^{+} (cmolc/kg)	Na^{+} (cmolc/kg)	Al^{3+} (cmolc/kg)	H^{+}+Al (cmolc/kg)
A	5,09	1,77	1,19	0,31	0,03	1,84	9,07

Fonte: elaborado pelo autor.

Levando em consideração os dados morfológicos do perfil bem como as análises físicas e químicas este perfil contém horizonte A proeminente, uma vez que atende as especificações para cor, estrutura, espessura, teor de carbono e saturação por bases, diferindo do A chernozêmico pela baixa saturação por bases e por não atender ao conteúdo de carbono para A húmico. Assim, sendo classificado como A proeminente. O perfil LSJ-06A foi classificado como Neossolo Litólico Distrófico típico, pois não possui horizonte B diagnóstico e o horizonte A está em contato direto com a rocha dentro dos primeiros 50 cm da sua superfície. O grande grupo atende ao critério de distrófico, pois o único horizonte exibe baixa saturação por bases (V% <50). Por fim, o subgrupo deste perfil atende para o critério de típico por também não apresentar outros qualificadores adicionais.

7.2.7 Perfil LSJ-06B

O perfil localiza-se em terço inferior de paisagem, inserido na unidade geomorfológica do Planalto Dissecado do Rio Uruguai em uma area onde o relevo varia de suave ondulado a ondulado (Fig. 24A), não apresenta pedregosidade, mas rochosidade é aparente. O ponto está situado a uma altitude aproximada de 1.068 m, com declividade em torno de 14 %. O perfil prolonga-se até cerca de 70 cm de profundidade com cores brunadas (Fig. 24B). Apresenta textura franco-argilossiltosa a argilossiltosa em profundidade, além de estrutura de grau moderado com blocos subangulares de tamanho pequeno a médio e grumos (Tab. 13).

Figura 24 - A) localização do perfil na paisagem. B) perfil de solo.



Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 13 - Descrição morfológica do perfil de solo LSJ-06B.

Horizontes	Descrição
A1	0 - 10 cm, bruno escuro (7,5YR 3/3, úmida); bruno escuro (7,5YR 3/4, seca); franco-argilossiltosa; moderada pequena a média blocos subangulares e forte pequena granular; ligeiramente dura; firme; plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.
A2	10 - 22 cm, bruno escuro (7,5YR 3/4, úmida); bruno escuro (7,5YR 4/4, seca); argilossiltosa; moderada muito pequena a média granular e moderada média blocos subangulares; ligeiramente dura; firme; plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.
Bi	22 - 48 cm, bruno escuro (7,5YR 3/4, úmida); argilossiltosa; moderada pequena a média blocos subangulares; dura; muito firme; plástica e pegajosa; transição plana e clara.
Cr	48 - 74 cm, bruno amarelado escuro (7,5YR 3/4, úmida); moderada pequena a média blocos subangulares; dura; muito firme; ligeiramente plástica e pegajosa.

Fonte: elaborado pelo autor.

O perfil apresenta valores baixos de saturação por bases (V% = 32 – 12), pH fortemente ácido (4,8 – 5,3), apresenta alto teor de carbono orgânico (C.org) em A1

(31,1 g/kg) que decai até Cr (16,9 g/kg) (Tab. 14). Baixos valores de acidez potencial (H+Al) entre 6 – 10,5 cmolc/kg, além de baixos teores de soma das bases (S. B) que variam de 1,2 a 3,1 cmolc/kg. A saturação por alumínio (m%) se mantem constante dentro do perfil (33 – 38%), decaindo apenas em Bi (20,6%).

Tabela 14 - Análises físicas e químicas do perfil LSJ-06B.

Horizonte	Prof. (cm)	Areia (g/kg)	Silte (g/kg)	Argila (g/kg)	CTC efet. (cmolc/kg)	CTC pH7 (cmolc/kg)	CTC argila (cmolc/kg)	Sat. Al (m%)	Sat. Bases (V%)	C-org (g/kg)	S.B (cmolc/kg)
A1	0 - 10	179	467	354	4,67	13,61	38,45	33,6	22,78	31,1	3,10
A2	10 - 22	169	533	298	4,93	9,72	32,62	36,5	32,20	21,9	3,13
Bi	22 - 48	174	426	400	1,55	9,53	23,82	20,6	12,91	16,9	1,23
Cr	48 - 74	NA	NA	NA	2,81	9,48	NA	38,7	18,14	16,9	1,72

Tabela 14 – continuação.

Horizonte	pH água	Ca^{2+} (cmolc/kg)	Mg^{2+} (cmolc/kg)	K^{+} (cmolc/kg)	Na^{+} (cmolc/kg)	Al^{3+} (cmolc/kg)	H^{+}+Al (cmolc/kg)
A1	4,80	1,52	1,27	0,28	0,03	1,57	10,51
A2	5,34	2,23	0,71	0,17	0,02	1,80	6,59
Bi	4,99	0,66	0,42	0,12	0,03	0,32	8,33
Cr	4,91	0,88	0,61	0,20	0,03	1,09	7,76

Fonte: elaborado pelo autor.

De acordo com as análises químicas e os dados morfológicos do perfil, o horizonte superficial A foi classificado como moderado. Para a classificação do horizonte diagnóstico subsuperficial, levou-se em consideração os dados analíticos supracitados, tendo como resposta um horizonte subsuperficial B incipiente (Bi), apresentando estruturas em blocos subangulares, além de cores brunadas e espessura maior que 10 cm, mas com argilas de baixa atividade.

O perfil LSJ-06B foi classificado como Cambissolo Háplico Distrófico saprolítico, por possuir horizonte subsuperficial B incipiente dentro dos primeiros 200 cm do *solum* e horizonte A moderado. Para o grande grupo, levando em consideração a baixa saturação por bases (V% < 50) em todo o perfil, mas em especial no horizonte Bi, este nível categórico foi classificado como distrófico. Por fim, o subgrupo

deste perfil leva em consideração a existência de uma camada saprolítica (Cr) dentro dos primeiros 100 cm e ausência de contato lítico ou fragmentário.

7.2.8 Perfil LSJ-07

O perfil localiza-se em terço médio de paisagem, inserido na unidade geomorfológica do Planalto Dissecado do Rio Uruguai em uma área onde o relevo varia de suave ondulado a ondulado (Fig. 25A), com rochosidade aparente evidenciada por blocos rolados na paisagem. O ponto está situado a uma altitude aproximada dos 1.109 m e com declividade em torno de 16 %. O perfil é bem desenvolvido, com mais de 150 cm de profundidade, aberto lateralmente a uma ravina na paisagem (Fig. 25B e apresentando cores brunadas (Fig. 25C). Apresenta textura franco-argilossiltosa nos horizontes mais superficiais (A1-AB), variando entre muito argilosa a argilosa de BA até Bt3 (Tab. 15). Estruturalmente apresenta grau moderado com blocos subangulares de tamanho pequeno a médio, além de cerosidade comum e moderada entre Bt1 e Bt3.

Figura 25 - A) vista geral do afloramento. B) localização do perfil na paisagem. C) perfil de solo.



Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 15 - Descrição morfológica do perfil de solo LSJ-07.

Horizonte	Descrição
A1	0 - 9 cm, bruno escuro (7,5YR 3/4, úmida); bruno (7,5YR 4/4, seca); franco-argilossiltosa; moderada pequena a média blocos subangulares; dura; firme; plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.
A2	9 - 21 cm, bruno escuro (7,5YR 3/3, úmida); bruno escuro (7,5YR 3/4, seca); franco-argilossiltosa; moderada pequena a média blocos subangulares; dura; firme; ligeiramente plástica e pegajosa; transição plana e clara.
AB	21 - 37 cm, bruno escuro (7,5YR 3/3, úmida); bruno escuro (7,5YR 3/4, seca); franco-argilossiltosa; moderada pequena a média blocos subangulares; ligeiramente dura; muito firme; ligeiramente plástica e pegajosa; transição plana e clara.
BA	37 - 68 cm, bruno escuro (7,5YR 3/4, úmida); muito argilosa; moderada pequena a média blocos subangulares; muito dura; muito firme; ligeiramente plástica e pegajosa; transição ondulada e clara.
Bt1	68 - 100 cm, bruno forte (7,5YR 3/6, úmida); argila; moderada pequena a média blocos subangulares; cerosidade comum e moderada, muito dura; firme; plástica e pegajosa; transição ondulada e gradual.
Bt2	100 - 135 cm, bruno escuro (7,5YR 3/4, úmida); argila; moderada pequena a média blocos subangulares; cerosidade comum e modera, muito dura; muito firme; plástica e pegajosa; transição plana e gradual.
Bt3	135 - 155 cm, bruno escuro (7,5YR 3/4, úmida); argila; moderada pequena a média blocos subangulares; cerosidade comum e moderada muito dura; muito firme; plástica e pegajosa.

Fonte: elaborado pelo autor.

O perfil apresenta valores baixos de saturação por bases (23 – 2%), principalmente em subsuperfície, pH fortemente ácido (4,73 – 5,25), apresenta alto teor de carbono orgânico (C.org) no horizonte A1 (26,80 g/kg) que decai até Bt3 (Tab. 16). O perfil é acompanhado de baixos valores de acidez potencial (H+Al) que variam de 5,6 a 9,6 cmolc/kg, além de baixos teores de soma das bases (S. B) entre 0,22 a 2,95 cmolc/kg. A saturação por alumínio é baixa em A1 (m% = 15,5), aumentando de forma considerável, com destaque para os subhorizontes BA e Bt3 (89,3 – 58,4 cmolc/kg).

Tabela 16 - Análises físicas e químicas do perfil LSJ-07

Horizonte	Prof. (cm)	Areia (g/kg)	Silte (g/kg)	Argila (g/kg)	CTC efet. (cmol c/kg)	CTC pH7 (cmol c/kg)	CTC argila (cmol c/kg)	Sat. Al (m%)	Sat. Bases (V%)	C-org (g/kg)	S.B (cmol c/kg)
A1	0-9	141	426	433	3,49	12,58	29,05	15,4	23,4	26,80	2,95

A2	9-21	63	466	471	2,50	11,10	29,57	38,4	13,8	3,75	1,54
AB	21-37	87	398	515	2,53	8,09	15,71	58,5	12,9	7,42	1,05
BA	37-68	32	429	603	2,07	8,83	12,61	89,3	2,4	4,92	0,22
Bt1	68-100	71	292	637	2,21	6,25	9,81	48,4	9,9	5,08	0,62
Bt2	100-135	54	366	580	1,83	7,70	12,38	53	11,1	2,88	0,86
Bt3	135-155	84	336	580	1,18	7,69	13,26	58,4	6,3	1,80	0,49

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 16 – continuação.

Hori-zonte	pH água	Ca^{2+} (cmolc/kg)	Mg^{2+} (cmolc/kg)	K^{+} (cmolc/kg)	Na^{+} (cmolc/kg)	Al^{3+} (cmolc/kg)	$H^{+}+Al$ (cmolc/kg)
A1	4,75	1,50	1,21	0,21	0,03	0,54	9,63
A2	5,04	0,89	0,50	0,11	0,04	0,96	9,56
AB	5,18	0,74	0,24	0,06	0,01	1,48	7,04
BA	4,73	0,15	0,03	0,02	0,02	1,85	8,61
Bt1	5,25	0,34	0,19	0,06	0,03	0,59	5,63
Bt2	4,91	0,51	0,27	0,06	0,02	0,97	6,84
Bt3	5,01	0,27	0,17	0,03	0,02	0,69	7,20

Fonte: elaborado pelo autor.

Com os dados morfológicos e as análises físicas e químicas do perfil, o horizonte superficial A foi classificado como moderado. Para a classificação do horizonte diagnóstico subsuperficial, considerou-se o caráter retrátil no solo, presença de cerosidade comum e moderada ao longo de Bt1-Bt3, bem como valores altos de argila (g/kg) em BA-Bt3. Estruturas em blocos de grau moderado, juntamente com gradiente textural B/A <1,5, classifica o horizonte B como nítico.

O perfil LSJ-07 foi classificado como Nitossolo Háplico Distrófico típico, pois possui Bt dentro dos primeiros 200 cm de *solum,* além de elevados teores de argila (g/kg) em subsuperfície e Háplico por não haver outros qualificadores de subordem que possam ser aplicados a este perfil. Para o grande grupo, levando em consideração a baixa saturação por bases (V% < 50) em todo o perfil, mas em especial nos subhorizontes BA, Bt1, Bt2 e Bt3, este nível categórico foi classificado como distrófico. Por fim, o subgrupo deste perfil atende para o critério de típico por também não apresentar outros qualificadores adicionais.

7.2.9 Perfil LSJ-08

O perfil localiza-se em terço superior de paisagem, inserido na unidade geomorfológica do Planalto Dissecado do Rio Uruguai e em um setor onde o relevo varia de suave ondulado a ondulado (Fig. 26A), com pedregosidade aparente evidenciada por blocos rolados na paisagem, além de rochosidade. O ponto está em uma cota de aproximadamente 1.260 m, com declividade em torno de 18,7 %. O perfil é pouco desenvolvido, com menos de 40 cm de profundidade e está em contato direto com o substrato rochoso (Fig. 26B), apresentando cores brunadas (Fig. 26C). A textura é francoargilosa em seu único horizonte. Estruturalmente apresenta grau moderado com blocos subangulares de tamanho pequeno a médio (Tab. 17).

Figura 26 - A) vista geral do afloramento. B) localização do perfil na paisagem. C) perfil de solo.



Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 17 - Descrição morfológica do perfil de solo LSJ-08.

Horizonte	Descrição
A	0 - 30 cm, bruno muito escuro (7,5YR 2,5/2, úmida); bruno muito escuro (7,5YR 2,5/3, seca); francoargilosa; moderada pequena a média blocos subangulares; dura; firme; plástica; ligeiramente pegajosa; transição ondulada e clara.
R	Rocha

Fonte: elaborado pelo autor.

O perfil apresenta valor baixo de saturação por bases (10%), pH fortemente ácido (4,67) e alto teor de C-org em seu único horizonte (> 26 g/kg). O perfil é acompanhado de baixo valor na acidez potencial (H+Al = 11,43 cmolc/kg), além de baixo teor de soma das bases (S.B = 1,36 cmolc/kg) e saturação por alumínio considerada alta (m% = 61,9) (Tab. 18).

Tabela 18 - Análises físicas e químicas do perfil LSJ-08.

Horizonte	Prof. (cm)	Areia (g/kg)	Silte (g/kg)	Argila (g/kg)	CTC efet. (cmolc/kg)	CTC pH7 (cmolc/kg)	CTC argila (cmolc/kg)	Sat. Al (%)	Sat. Bases (V%)	C-org (g/kg)	S.B (cmolc/kg)
A	0 - 30	257	377	366	3,57	12,79	34,95	61,9	10,6	26,7	1,36

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 18 – continuação.

Horizonte	pH água	Ca^{2+} (cmolc/kg)	Mg^{2+} (cmolc/kg)	K^{+} (cmolc/kg)	Na^{+} (cmolc/kg)	Al^{3+} (cmolc/kg)	H^{+}+Al (cmolc/kg)
A	4,67	0,74	0,46	0,12	0,04	2,21	11,43

Fonte: elaborado pelo autor.

Levando em consideração os dados morfológicos do perfil bem como as análises físicas e químicas, este perfil contém horizonte A proeminente. O perfil LSJ-08 foi classificado como Neossolo Litólico Distrófico típico, pois não possui horizonte B diagnóstico e o horizonte A está em contato direto com a rocha dentro dos primeiros 50 cm da sua superfície. O grande grupo atende ao critério de distrófico pois o único horizonte exibe baixa saturação por bases (V% < 50). Por fim, o subgrupo deste perfil atende para o critério de típico por também não apresentar outros qualificadores adicionais.

7.2.10 Perfil LSJ-09

O perfil localiza-se em terço inferior de paisagem, inserido na unidade geomorfológica do Planalto Dissecado do Rio Uruguai e em um setor onde o relevo varia de ondulado a forte ondulado (Fig. 27A), com pedregosidade aparente evidenciada por blocos rolados na paisagem, além de rochosidade. O ponto está situado em uma cota de cerca de 1.181 m e com declividade aproximada de 25,7 %. O perfil é bem desenvolvido, com mais de 100 cm de profundidade e está exposto lateralmente a uma estrada vicinal da região (Fig. 27B), apresentando cores brunadas (Fig. 27C). A textura é franco-argilossiltosa nos horizontes mais superficiais (A-AB), variando entre argilossiltosa a argilosa de BA até Bt2 (Tab. 19). Estruturalmente apresenta grau moderado com blocos subangulares de tamanho pequeno a médio, além de cerosidade comum e moderada no horizonte B.

Figura 27 - A) vista geral do afloramento. B) localização do perfil na paisagem. C) perfil de solo.



Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 19 - Descrição morfológica do perfil de solo LSJ-09.

Horizonte	Descrição
A	0 - 12 cm, bruno escuro (7,5YR 3/3, úmida); bruno escuro (7,5YR 3/4, seca); franco-argilossiltosa; moderada pequena a média blocos subangulares; dura; friável; ligeiramente plástica e pegajosa; transição plana e clara.
AB	12 - 24 cm, bruno escuro (7,5YR 3/4, úmida); bruno escuro (7,5YR 3/3, seca); franco-argilossiltosa; moderada pequena a média blocos subangulares; muito dura; friável; ligeiramente plástica e pegajosa; transição plana e clara.
BA	24 - 38 cm, bruno escuro (7,5YR 3/3, úmida); argilossiltosa; forte pequena a média blocos subangulares; dura; friável; plástica e pegajosa; transição clara e gradual.
Bt1	38 - 55 cm, bruno escuro (7,5YR 3/4, úmida); argilossiltosa; forte pequena a média blocos subangulares; cerosidade comum a moderada; dura; friável; plástica e pegajosa; transição clara e gradual.
Bt2	55 - 76 cm, bruno escuro (7,5YR 3/4, úmida); argila; forte pequena a média blocos subangulares; cerosidade comum a moderada; dura; friável; plástica e pegajosa; transição ondulada e clara.
C	76 - 88 cm, bruno escuro (7,5YR 3/4, úmida); forte pequena a média blocos subangulares; dura; muito firme; ligeiramente plástica e pegajosa; transição ondulada e clara.
Cr	88 - 110 cm, bruno escuro (7,5YR 3/4, úmida); forte pequena a média blocos subangulares; dura; friável; ligeiramente plástica e pegajosa.

Fonte: elaborado pelo autor.

O perfil apresenta valores baixos de saturação por bases (48 – 17%), principalmente em subsuperfície (BA-C), pH fortemente ácido (4,82 – 5,47), apresenta baixo de carbono orgânico (C.org) em A (25,9 g/kg) que decai consideravelmente até Cr (3,3 g/kg) (Tab. 20). O perfil é acompanhado de baixos valores de acidez potencial (H+Al) entre 5,1 a 7,5 cmolc/kg, além de baixos teores de soma das bases (S. B) que variam de 1,33 – 5,65 cmolc/kg. A saturação por alumínio (m%) é baixa em A-AB (26 e 52%), aumentando de forma considerável nos horizontes BA a C (36 – 47%) e decaindo em Cr (m% = 4,2).

Tabela 20 - Análises físicas e químicas do perfil LSJ-09.

Horizonte	Prof. (cm)	Areia (g/kg)	Silte (g/kg)	Argila (g/kg)	CTC efet. (cmol c/kg)	CTC pH7 (cmol c/kg)	CTC argila (cmol c/kg)	Sat. Al (m%)	Sat. Bases (V%)	C-org (g/kg)	S.B (cmolc/kg)
A	0 - 12	221	419	360	5,01	10,04	27,89	26,3	36,7	25,9	3,69
AB	12 - 24	212	355	433	3,41	9,10	21,02	52,4	17,8	13,4	1,62

BA	24 - 38	186	403	411	2,72	7,61	18,52	36,7	22,6	9,5	1,72
Bt1	38 - 55	99	400	501	2,63	6,52	13,01	48,8	20,4	5,4	1,33
Bt2	55 - 76	116	338	546	3,32	7,85	13,88	39,4	27,1	2,7	2,13
C	76 - 88				4,85	10,08		47,4	25,3	2,8	2,55
Cr	88 - 110				5,90	11,54		4,2	48,9	3,3	5,65

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 20 – continuação.

Hori-zonte	pH água	Ca^{2+} (cmolc/kg)	Mg^{2+} (cmolc/kg)	K^{+} (cmolc/kg)	Na^{+} (cmolc/kg)	Al^{3+} (cmolc/kg)	$H^{+}+Al$ (cmolc/kg)
A	5,10	1,67	1,80	0,19	0,03	1,32	6,35
AB	4,82	0,74	0,76	0,19	0,02	1,79	7,48
BA	5,47	1,02	0,61	0,08	0,01	1,00	5,89
Bt1	5,41	0,75	0,52	0,05	0,01	1,27	5,19
Bt2	5,35	1,10	0,93	0,08	0,02	1,39	5,72
C	4,97	0,94	1,55	0,05	0,03	2,30	7,53
Cr	5,19	2,16	3,38	0,08	0,03	0,25	5,89

Fonte: elaborado pelo autor.

Com os dados morfológicos e as análises físicas e químicas do perfil, o horizonte superficial A foi classificado como moderado. Para a classificação do horizonte diagnóstico subsuperficial, considerou-se a presença de cerosidade comum e moderada, bem como valores altos de argila superiores a 350 g/kg. Estruturas em bloco de grau moderado juntamente com gradiente textural B/A <1,5, classifica o horizonte B como nítico.

O perfil LSJ-09 foi classificado como Nitossolo Háplico Distrófico típico, pois possui Bt dentro dos primeiros 200 cm de *solum,* além de elevados teores de argila (g/kg) em subsuperfície e Háplico por não haver outros qualificadores de subordem que possam ser aplicados a este perfil. Para o grande grupo, levando em consideração a baixa saturação por bases (V% < 50) em todo o perfil, mas em especial nos subhorizontes BA, Bt1 e Bt2, este nível categórico foi classificado como distrófico. Por fim, o subgrupo deste perfil atende para o critério de típico por também não apresentar outros qualificadores adicionais.

7.2.11 Perfil LSJ-10

O perfil localiza-se em terço médio de paisagem, inserido na unidade geomorfológica do Planalto Dissecado do Rio Uruguai onde o relevo varia de suave ondulado a ondulado (Fig. 28A), apresenta pedregosidade evidenciada por blocos rolados na paisagem, mas sem rochosidade aparente. O ponto está situado a uma altitude de cerca de 1.262 m e com declividade aproximada de 14,6 %. O perfil prolonga-se até cerca de 120 cm de profundidade com cores brunadas (Fig. 28B), apresenta textura franco-argilossiltosa em superfície e argilosa a argilossiltosa em profundidade, além de estrutura de grau moderado com blocos subangulares de tamanho pequeno a médio (Tab. 21).

Figura 28 - A) localização do perfil na paisagem. B) perfil de solo.



Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 21 - Descrição morfológica do perfil de solo LSJ-10.

Horizonte	Descrição
A	0 - 19 cm, bruno escuro (7,5YR 3/2, úmida); bruno escuro (7,5YR 3/3, seca); franco-argilos-siltosa; moderada pequena a média blocos subangulares; dura; firme; ligeiramente plástica e pegajosa; transição ondulada e clara.

BA	19 - 34 cm, bruno escuro (7,5YR 3/4, úmida); argila; moderada pequena a média blocos subangulares; dura; firme; ligeiramente plástica e pegajosa; transição plana e clara.
Bt1	34 - 51 cm, bruno escuro (7,5YR 3/4, úmida); argila; moderada pequena a média blocos subangulares; cerosidade comum e moderada, extremamente dura; firme; plástica e pegajosa; transição plana e clara.
Bt2	51 - 67 cm, bruno escuro (7,5YR 3/4, úmida); argilossiltosa; moderada pequena a média blocos subangulares; cerosidade comum e moderada, muito dura; muito firme; plástica e pegajosa; transição plana e clara.
Cr	67 - 120 cm, bruno forte (7,5YR 4/6, úmida); moderada pequena a média blocos subangulares; muito dura; muito firme; ligeiramente plástica e pegajosa.

Fonte: elaborado pelo autor.

O perfil apresenta valores baixos de saturação por bases (32 – 12%), pH fortemente ácido (4,8 – 5,3), apresenta alto teor de carbono orgânico (C.org) em A (29,4 g/kg) que decai até Cr (5,2 g/kg) (Tab. 22). Baixos valores de acidez potencial (H+Al) entre 3,4 e 11,7 cmolc/kg, além de baixos teores de soma das bases (S. B) que variam de 0,41 a 1,73 cmolc/kg. A saturação por alumínio (m%) é alta entre BA-B2 (81,5 a 64,4%) e considerada média em A (m% = 55,6) e em Cr (m% = 44,1).

Tabela 22 - Análises físicas e químicas do perfil LSJ-10.

Horizonte	Prof. (cm)	Areia (g/kg)	Silte (g/kg)	Argila (g/kg)	CTC efet. (cmol c/kg)	CTC pH7 (cmol c/kg)	CTC argila (cmol c/kg)	Sat. Al (m%)	Sat. Bases (V%)	C-org (g/kg)	S.B (cmol c/kg)
A	0 - 19	171	452	377	3,90	11,88	31,51	55,6	14,5	29,40	1,73
BA	19 - 34	152	358	490	2,33	8,23	16,80	82,4	4,9	15,50	0,41
Bt1	34 - 51	112	308	580	2,54	9,82	16,93	81,5	4,7	7,65	0,47
Bt2	51 - 67	34	487	479	4,05	4,89	10,21	64,4	29,4	3,20	1,44
Cr	67 - 120				1,95	12,86		44,1	8,4	5,20	1,09

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 22 – continuação.

Horizonte	pH água	Ca^{2+} (cmolc/kg)	Mg^{2+} (cmolc/kg)	K^{+} (cmolc/kg)	Na^{+} (cmolc/kg)	Al^{3+} (cmolc/kg)	H^{+}+Al (cmolc/kg)
A	4,88	0,79	0,65	0,25	0,04	2,17	10,15
BA	4,99	0,24	0,11	0,05	0,02	1,92	7,82
Bt1	5,06	0,26	0,12	0,06	0,03	2,07	9,35
Bt2	5,78	0,84	0,48	0,11	0,01	2,61	3,45
Cr	4,75	0,64	0,28	0,13	0,04	0,86	11,77

Fonte: elaborado pelo autor.

De acordo com as análises químicas e os dados morfológicos do perfil, o horizonte superficial A foi classificado como moderado. Para a classificação do horizonte diagnóstico subsuperficial, levou-se em consideração os dados analíticos supracitados, tendo como resposta um horizonte subsuperficial B nitico (Bt), apresentando estruturas em blocos subangulares de grau moderado, com teores de argila superiores a 350 g/kg, cerosidade comum e moderada e gradiente textural < 1,5, além de cores brunadas e espessura maior que 30 cm, mas com argilas de baixa atividade.

O perfil LSJ-10 foi classificado como Nitossolo Háplico Distrófico típico, por possuir horizonte subsuperficial B nitico dentro dos primeiros 200 cm do *solum* e horizonte A moderado. Para o grande grupo, levando em consideração a baixa saturação por bases (V% < 50) em todo o perfil, mas em especial nos subhorizontes Bt, este nível categórico foi classificado como distrófico. Por fim, o subgrupo deste perfil atende para o critério de típico por também não apresentar outros qualificadores adicionais.

8 DISCUSSÕES

8.1 CORRELAÇÕES ENTRE GEOLOGIA E PEDOLOGIA

A fim de integrar os resultados geoquímicos das rochas e as características físicas e químicas dos solos, os perfis foram agrupados na Tabela 23 conforme sua classificação química e nomenclatura de rochas vulcânicas via diagrama TAS (Le Bas *et al.,* 1986), bem como agrupados com relação ao teor de óxido de titânio (B-Ti ou A-Ti) e magma-tipo (Peate *et al*., 1992) que estas rochas são incluídas.

A distribuição das classes de solos na área de estudo está relacionada diretamente com o material de origem das rochas vulcânicas do GSG e também ao contexto geomorfológico da Serra Catarinense (EMBRAPA, 1998; Potter *et al*., 2004 e Luiz, 2016).

As litologias encontradas imediatamente abaixo dos perfis de solos, de ambas as Formações, aliadas ao relevo e ao clima serrano úmido, controlam o grau

de evolução dos perfis e a distribuição das classes de solos por toda a área de estudo.

A FVS é a unidade vulcânica de base e apresenta rochas que variam no espectro do basalto a andesito basáltico, com magma-tipo predominantemente de A-Ti (Urubici/Pitanga), mas com B-Ti (Esmeralda/Gramado) subordinado. Já a FP é a unidade de topo na estratigrafia da área de estudo e apresenta um único termo majoritariamente ácido de composição dacítica de B-Ti (Palmas) (Bellieni *et al.,* 1986; Peate *et al.,* 1992).

Os perfis LSJ-02 e LSJ-05 permaneceram sem atribuições geoquímicas devido à ausência de resultados via FRX. Contudo, este fato está relacionado à presença de vesículas e amígdalas nas amostras de rochas, impossibilitando resultados confiáveis.

Tabela 23 – Comparação entre dados geoquímicos e pedológicos

Perfil	Diagrama TAS (Le Bas et al. 1986)	Magma-tipo (Peate, 1992)	Formação (GSG)	Classe de solo	Horizonte A	Subhorizonte B
LSJ-01	Dacito	B-Ti	Palmas	Cambissolo Húmico Distrófico espesso-húmico argissólico	húmico	incipiente
LSJ-02	NA	NA	NA	Neossolo Litólico Húmico típico	húmico	NA
LSJ-03	Andesito Basáltico	B-Ti	Vale do Sol	Neossolo Litólico Húmico típico	húmico	NA
LSJ-04	Andesito Basáltico	B-Ti	Vale do Sol	Nitossolo Bruno Distrófico típico	moderado	nítico
LSJ-05	NA	NA	NA	Neossolo Litólico Chernozêmico típico	chernozêmico	NA
LSJ-06A	Basalto	A-Ti	Vale do Sol	Neossolo Litólico Distrófico típico	proeminente	NA
LSJ-06B	Basalto	A-Ti	Vale do Sol	Cambissolo Háplico Distrófico saprolítico	moderado	incipiente
LSJ-07	Andesito Basáltico	B-Ti	Vale do Sol	Nitossolo Háplico Distrófico típico	moderado	nítico

LSJ-08	Basalto	A-Ti	Vale do Sol	Neossolo Litólico Distrófico típico	proeminente	NA
LSJ-09	Basalto	A-Ti	Vale do Sol	Nitossolo Háplico Distrófico típico	moderado	nítico
LSJ-10	Basalto	A-Ti	Vale do Sol	Nitossolo Háplico Distrófico típico	moderado	nitico

Fonte: elaborado pelo autor.

As classes de solos foram agrupadas até o seu 4° nível categórico, trazendo informações sobre o tipo de horizonte superficial e subsuperficial encontrados em cada perfil (Potter *et al*., 2004; Santos *et al*., 2018; 2025). De modo integrado, os valores médios apresentados na Tabela 24 evidenciam que o comportamento químico dos horizontes superficiais e subsuperficiais não depende apenas do magmatipo (A-Ti ou B-Ti), mas sobretudo da litologia específica dentro de cada Formação.

Nos perfis derivados de basaltos A-Ti e andesitos basálticos B-Ti da FVS (Tabela 23), os horizontes A apresentam pH entre 4,6 e 5,3, baixas SB e V% inferiores a 40%, refletindo a forte lixiviação característica dos solos desenvolvidos sobre rochas máficas a intermediárias em clima úmido. Embora ambos os grupos manifestem acidez elevada, os andesitos basálticos B-Ti tendem a exibir maior CTC da argila e menor m% em superfície, enquanto os basaltos A-Ti mostram maior m% e CTC moderada, indicando lixiviação das bases mais pronunciada.

O perfil LSJ-05 apresenta horizonte A chernozêmico com alta saturação por bases (V% > 75) e carbono orgânico (C.org) em 55 g/kg, refletindo principalmente o forte controle climático, geomorfológico e lito estrutural sobre a dinâmica da matéria orgânica, sendo este um forte indício de que o material de origem tenha tendência a ser basáltico, de forma a fornecer bases e favorecendo a manutenção do elevado V% nos horizontes mais superficiais deste perfil e que, por ora, será atribuído às rochas de A-Ti descritas neste tópico (Tabelas 24 e 25).

O perfil de solo LSJ-02, que apresenta horizonte A húmico, valor médio de saturação por bases (V%) de 30 e carbono orgânico (C.org) de 78 g/kg em A1, condizente com perfis onde o regolito apresenta composição mais intermediária (andesito basáltico), será, por ora, enquadrado na categoria de solos desenvolvidos sobre rochas de B-Ti (Tabelas 24 e 25).

No solo derivado do dacito B-Ti da FP (LSJ-01), os valores de SB, V% e CTC são ainda menores, marcando condições químicas mais restritivas e coerentes com a composição mais ácida desta litologia. Embora esta pesquisa disponha de apenas um exemplar amostrado sobre as rochas ácidas da FP, tal comportamento não foi interpretado de forma isolada.

Resultados semelhantes foram descritos por Santos (2024) para os solos desenvolvidos sobre rochas ácidas da FP no município de SJ, os quais apresentam, em média, pH mais baixo, menores teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} trocáveis, menor SB, V% e m%, quando comparados aos solos derivados de rochas básicas a intermediárias da FVS.

Desta forma, os valores observados no perfil LSJ-01 são compatíveis com o padrão regional descrito na literatura para solos desenvolvidos sobre rochas ácidas, reforçando a coerência da interpretação pedogenética adotada neste estudo.

Tabela 24 – Compilação dos dados geoquímicos das rochas, físicos e químicos dos solos e de altitude e relevo dos horizontes superficiais.

Perfil	Horizontes superficiais	Litologia	Magma	Formação	Prof. (cm)	pH[III]	SB[IV] (cmolc/kg)	Sat. Bases (V%)	Sat. Al. (m%)	CTC argila x̄ (cmolc/kg)[V]	CTC pot. (cmolc/kg)	Argila (%)	C.org (g/kg)[VI]	Ca (cmolc/kg)[VII]	Mg (cmolc/kg)[VIII]	Al (cmolc/kg)[IX]	Altitude (m)	Declividade (%)
LSJ-01	A1-AB	Dacito	B-Ti	FP	48	4,69	1,59	11,41	49,16	34,9	52,99	38,1	22,7	0,8	0,5	1,2	1319	32,08
LSJ-02	A1-A2	NA	NA	NA	26	5,18	5,58	29,29	24,04	85,43	19,02	22,4	61,1	3,6	0,9	1,8	1439	11,69
LSJ-03	A	Andesito Basáltico	B-Ti	FVS	19	5,09	8,16	37,53	8,72	117,51	21,74	18,5	62,8	4,3	2,6	0,7	1437	15,33
LSJ-04	A-AB	Andesito Basáltico	B-Ti	FVS	40	5,28	3,32	28,84	29,95	23,4	10,44	44,4	23,5	1,6	1,3	0,8	1192	18,02
LSJ-05	A	NA	NA	NA	13	5,51	19,94	76,78	1,87	NA	25,97	NA	55,6	12,4	6,4	0,3	1206	12,38
LSJ-06A	A	Basalto	A-Ti	FVS	20	5,09	3,3	26,68	35,8	36,06	12,37	34,3	23,8	1,7	1,1	1,8	1068	13,96
LSJ-06B	A1-A2	Basalto	A-Ti	FVS	22	5,07	3,11	27,49	35,05	35,53	11,66	32,6	26,4	1,8	0,9	1,6	1068	13,96
LSJ-07	A1-AB	Andesito Basáltico	B-Ti	FVS	37	4,99	1,84	16,76	37,45	22,77	10,59	47,3	12,6	1	0,6	0,9	1109	16,49
LSJ-08	A1-A2	Basalto	A-Ti	FVS	30	4,67	1,36	10,63	61,9	34,95	12,79	36,6	26,7	0,7	0,4	2,2	1260	18,71
LSJ-09	A-AB	Basalto	A-Ti	FVS	24	4,96	2,65	27,27	39,42	24,45	9,57	39,6	19,6	1,2	1,2	1,5	1181	25,67
LSJ-10	A	Basalto	A-Ti	FVS	19	4,88	1,73	14,56	55,64	31,51	11,88	37,7	29,4	0,7	0,6	2,1	1262	14,58

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 25 - Compilação dos dados geoquímicos das rochas, físicos e químicos dos solos e de altitude e relevo dos horizontes subsuperficiais.

Perfil	Horizontes subsuperficiais	Litologia	Magma	Formação	Prof. (cm)	pH	SB (cmolc/kg)	Sat. Bases (V%)	Sat. Al (m%)	CTC argila x̄ (cmolc/kg)	CTC pot. (cmolc/kg)	Argila (%)	C.org (g/kg)	Ca (cmolc/kg)	Mg (cmolc/kg)	Al (cmolc/kg)	Altitude (m)	Declividade (%)
LSJ-01	BA-BC	Dacito	B-Ti	FP	37	4,75	0,83	6,46	68,23	27,08	12,66	46,7	9,2	0,4	0,2	1,9	1319	32,08
LSJ-04	BA-Bt3	Andesito Basáltico	B-Ti	FVS	102	5,2	0,79	9,97	60,46	14,33	7,85	54,6	10,5	0,4	0,2	1,3	1192	18,02
LSJ-06B	Bi	Basalto	A-Ti	FVS	26	4,99	1,23	12,91	20,65	23,83	9,53	40	16,9	0,7	0,5	0,7	1068	13,96
LSJ-07	BA-Bt3	Andesito Basáltico	B-Ti	FVS	118	4,97	0,54	7,48	62,4	12,74	7,61	60	3,6	0,3	0,1	1	1109	16,49
LSJ-09	BA-Bt2	Basalto	A-Ti	FVS	52	5,41	1,72	23,37	41,7	15,3	7,32	48,6	4,7	1,1	1,3	1,2	1181	25,67
LSJ-10	BA-B2	Basalto	A-Ti	FVS	48	5,27	0,77	13,07	76,11	14,65	7,64	51,6	7,8	0,4	0,2	1,8	1262	14,58

Fonte: elaborado pelo autor.

[III] Potencial Hidrogeniônico;
[IV] Soma de Bases;
[V] Capacidade de Troca Catiônica;
[VI] Carbono Orgânico;
[VII] Cálcio;
[VIII] Magnésio;
[IX] Alumínio

8.1.1.1 Solos desenvolvidos sobre basaltos A-Ti da FVS

Os perfis de solos (LSJ-06A, LSJ-06B, LSJ-08, LSJ-09 e LSJ-10) desenvolvidos sobre rochas basálticas A-Ti correspondentes ao magma-tipo Pitanga/Urubici (Peate *et al.,* 1992) costumam apresentar maiores profundidades - excluindo-se a classe dos Neossolos - com horizonte B em processo de desenvolvimento (Cambissolos) ou já bem desenvolvidos (Nitossolos), textura argilosa, menor acidez e maior saturação por bases (V%), além de valores ligeiramente mais elevados em Ca^{2+} e Mg^{2+} trocáveis e em soma de bases (S.B.), quando comparados aos solos desenvolvidos sobre rochas intermediárias B-Ti da FVS (LSJ-03, LSJ-04 e LSJ-07) e ao solo desenvolvido sobre rocha ácida da FP (LSJ-01).

A morfologia destes derrames, muitas vezes do tipo *rubbly pahoehoe*, com disjunções horizontais e topo brechado/vesiculado (Bellieni *et al.,* 1984b; Peate *et al.*, 1992; Waichel *et al*., 2012; Rossetti *et al*., 2018; 2021), favorecem a percolação de água meteórica, contribuindo para o intenso intemperismo físico e químico, bem como a neoformação volumosa de argilas 1:1, resultando em perfis espessos e bem estruturados.

Do ponto de vista químico, os horizontes superficiais A destes solos exibem pH entre 4,9 - 5, SB entre 1,3 - 3,3 cmolc/kg, V% entre 26 - 38%, CTC da argila variando de 30 - 32 cmolc/kg e m% elevado (35–61%). Em profundidade observa-se, nos perfis LSJ-09 e LSJ-10, um aumento do m% (40 - 76%), redução de SB, pH ligeiramente mais alto (~5,2) e CTC da argila entre 15 - 23 cmolc/kg, indicando maior lixiviação e predomínio de Al^{3+} trocável.

Apesar do caráter distrófico e da elevada acidez destes solos, a composição química rica em Ca^{2+} e Mg^{2+} e a morfologia favorável dos derrames basálticos A-Ti permitem a formação de Nitossolos. Neste caso, a combinação entre composição básica da rocha parental e a estabilidade do relevo local explica o desenvolvimento de perfis profundos, estruturados e argilosos em setores específicos da FVS.

8.1.1.2 Solos desenvolvidos sobre andesitos basálticos B-Ti da FVS

Os perfis LSJ-03, LSJ-04 e LSJ-07 derivam de rochas andesi-basálticas B-Ti da FVS correspondentes ao magma-tipo Gramado/Esmeralda.

Assim como os derrames basálticos A-Ti, esses derrames possuem morfologia relativamente espessa e contínua, favorecendo a percolação de água e o intemperismo químico. No entanto, o caráter levemente mais intermediário dessas rochas modula a produção de argila e as propriedades físicas e químicas dos solos resultantes.

As médias dos horizontes A sobre rochas de B-Ti indicam pH em torno de 5,0, S.B próximas de 3,5 – 4,0 cmolc/kg, V% entre 20 – 25%, com m% em ~30%. A CTC da argila nestes horizontes mantém valores próximos de 50 cmolc/kg, também refletindo uma CTC potencial mais elevada quando comparados os mesmos parâmetros com solos desenvolvidos sobre rochas basálticas de A-Ti. Estes valores sugerem que, na porção mais superficial dos perfis, os mesmos apresentam estoques de bases e CTC mais elevadas com menor acidez efetiva, conjugados com o maior acúmulo de argila e M.O em superfície.

Quando observado as médias dos parâmetros físicos e químicos em subsuperfície, se mantém valores de pH mais baixo (~5,0), com SB em torno de 0,7 cmolc/kg, V% em 8%, ao passo que m% ultrapassa 60%. A CTC da argila nos horizontes B apresentam valores semelhantes quando comparados aos dos basaltos A-Ti (por volta de 18 cmolc/kg), indicando que, em profundidade, a principal diferença não se encontra na CTC, mas sim no grau de lixiviação das bases e no acúmulo de Al^{3+} trocável.

Desta forma, solos desenvolvidos sobre andesitos basálticos da FVS tendem a expressar maior m% e maior empobrecimento em cátions básicos em profundidade quando comparados aos solos derivados de basaltos A-Ti. Embora ambos desenvolvam Nitossolos em setores de estabilidade geomorfológica, a presença de Bt estruturado, coloração brunada a bruno-avermelhada e teores moderados de argila refletem o intemperismo de rochas básicas a intermediárias sob clima úmido de altitude.

De acordo com Santos (2024), as litologias básicas a intermediárias da FVS (excluindo comparações entre A-Ti e B-Ti dentro da mesma Formação) tendem a

originar solos mais profundos e mais desenvolvidos, predominando associações do tipo Nitossolos Brunos/Háplicos + Cambissolos Háplicos em posições mais estáveis do relevo e Neossolos Litólicos em porções de vertentes íngremes e topos de morro (Potter *et al.,* 2004; Luiz, 2016). O autor também atribui o comportamento destas características morfológicas dos solos com a morfologia dos derrames da FVS, encontrando solos, em média, com pH mais elevado, maior SB, maior V%, além de valores ligeiramente mais elevados em cátions de Ca^{2+} e Mg^{2+}.

8.1.1.3 Solo desenvolvido sobre dacito B-Ti da FP

O perfil LSJ-01 é o único solo derivado da Formação Palmas, caracterizado pela composição dacítica B-Ti rica em sílica (~70% de SiO_2 em peso%).

Os derrames desta formação diferem significativamente daqueles da FVS, apresentando características estruturais que influenciam fortemente a pedogênese. Tratam-se de rochas ácidas, com derrames mais delgados, uma porção basal frequentemente vítrea, exibindo estruturas de fluxo laminar e disjunções sub-horizontais em forma de lajes (Peate *et al.,* 1992; Nardy *et al.,* 2008; Polo *et al.,* 2018; Rosseti *et al.,* 2018; 2021). Essa arquitetura tabular espessa, conjugada com as disjunções em laje, dificulta a percolação da água meteórica, reduz a dissecação do relevo e favorece a formação de platôs mais resistentes ao intemperismo físico. Como consequência, o intemperismo químico é limitado e a produção de argila é reduzida, resultando na formação de solos rasos ou moderadamente desenvolvidos.

A natureza mais ácida da rocha e sua mineralogia mais resistente favorece a formação de um Cambissolo Húmico (LSJ-01) com horizonte B incipiente devido ao seu desenvolvimento limitado.

Os horizontes superficiais deste perfil apresentam pH entre 4,7 e 5, SB inferior a 3 cmolc/kg, V% geralmente abaixo de 25% e m% entre 24 - 48%. Tais valores evidenciam forte lixiviação de bases, baixa disponibilidade de cátions básicos e acúmulo de Al^{3+} trocável em profundidade. Em subsuperfície, os horizontes B deste perfil indicam pH levemente menos ácido que em superfície (~4,75), SB inferior a 1 cmolc/kg, V% inferior a 7% e elevado m% (~70%).

Esse comportamento é consistente com os padrões dos solos descritos por Santos (2024), os quais apresentam, em média, pH em torno de 4,66, SB de 1,38 cmolc/kg, V% inferior a 10 % e elevados teores de Al^{3+} trocável. Desta forma, embora o perfil LSJ-01 represente apenas um único perfil amostrado neste estudo, suas características físicas e químicas encontram respaldo nos dados regionais apresentados por Santos (2024).

A combinação entre composição química mais estável do dacito, somada a morfologia dos derrames ácidos da FP, limita tanto o desenvolvimento do perfil de solo quanto a evolução de horizontes diagnósticos. A dificuldade na neoformação de argilas e a lixiviação de bases em profundidade explica a presença de um Cambissolo húmico distrófico sobre esta Formação.

8.1.2 Questionamentos

A caracterização detalhada dos solos derivados das rochas vulcânicas do GSG na porção Norte do município de São Joaquim mostrou-se fundamental diante das limitações de escala do mapeamento pedológico (1:250.000) e geológico (1:1.000.000) disponíveis para a região, que não conseguem abranger toda a complexidade e variabilidade local observada em campo.

A ausência de correlações detalhadas entre os perfis de solo e suas rochas de origem restringe o entendimento sobre os processos pedogenéticos, os comportamentos físicos e químicos dos solos, bem como sua aptidão ao uso agrícola e a forma com que estes solos são manejados pela população local.

Diante destas lacunas, este trabalho buscou responder às seguintes perguntas:

A. A variabilidade geoquímica das rochas do GSG influencia diretamente as características pedológicas dos solos da porção Norte de São Joaquim?

Sim, tal variabilidade geoquímica, expressa pelas diferentes composições das rochas do GSG, influenciam diretamente nas propriedades pedológicas.

Em solos desenvolvidos sobre basaltos A-Ti da FVS, observa-se valores de pH ligeiramente mais elevados, maior valor de V% e maiores teores de Ca^{2+} e Mg^{2+}

trocáveis, além de CTC efetiva e da argila mais elevadas em superfície, favorecendo a formação de perfis mais profundos e bem estruturados, estes quando em relevos mais planos, desenvolvendo solos das classes dos Cambissolos e Nitossolos, além de Neossolos em vertentes íngremes e instáveis do relevo.

Por outro lado, solos que se desenvolvem sobre andesitos basálticos de B-Ti também da FVS, apresentam pH ligeiramente maior, menores valores de V% e maior m% nos horizontes subsuperficiais, refletindo forte lixiviação das bases e empobrecimento de cátions básicos em profundidade. Apesar destes parâmetros, ainda sim tais litologias conseguem sustentar perfis relativamente profundos com horizonte Bt bem desenvolvido.

Em contraste, o comportamento do solo desenvolvido sobre dacito B-Ti da FP é diferente. Tal litologia é ácida e rica em SiO_2 (~70% em peso%), constituída por uma mineralogia mais resistente ao intemperismo, gerando um solo mais raso, altamente distrófico (< 10 V%) e com forte acúmulo de Al^{3+} trocável em profundidade, além de menores valores de SB e CTC efetiva. A limitação geoquímica desta litologia condiciona uma lenta evolução pedogenética do perfil, resultando em Cambissolos com horizonte B incipiente.

B. Há correlação direta entre composições geoquímicas específicas das litologias do GSG e as propriedades morfológicas, físicas e químicas dos solos?

Sim, as composições geoquímicas específicas das litologias do GSG influenciam diretamente o comportamento morfológico, bem como as características físicas e químicas dos solos. No caso dos basaltos A-Ti da FVS, a composição mais básica e menor teor em peso% de SiO_2, vinculada com o estilo do derrame do tipo *rubbly pahoehoe* desta Formação, favorece o rápido intemperismo físico e químico, com neoformação de argilas 1:1 e bom desenvolvimento dos perfis de solos, resultando em solos profundos, pH superficial ligeiramente mais alto, maior V% e menor m%.

Por outro lado, solos derivados de rochas andesi-basálticas B-Ti da FVS, por mais que apresentem perfis bem desenvolvidos e estruturados, as características físicas e químicas apontam maior m%, menor V% e maior empobrecimento em bases devido a maior mobilidade de cátions essenciais quando observados tais parâmetros em profundidade.

Já as rochas dacíticas B-Ti da FP apresentam solos com comportamento distintos das litologias mais básicas/intermediárias. O auto teor de SiO_2 em peso%, conjugado com a arquitetura tabular com disjunções sub-horizontais em forma de laje, limita o intemperismo químico desta litologia e gera solos com forte acúmulo de Al^{3+} trocável, SB e V% baixos, levando ao desenvolvimento de perfis pouco evoluídos.

C. Como as características geoquímicas das rochas parentais influenciam o desenvolvimento dos horizontes diagnósticos nos perfis?

A rocha parental controla diretamente o estoque de bases, a mineralogia primária e o ritmo de transformações dos minerais, condicionando a gênese e o desenvolvimento dos horizontes diagnósticos A e B. Em perfis derivados de basaltos A-Ti da FVS, a composição máfica com menor teor de SiO_2, favorece a rápida neoformação de argilas 1:1, ao passo que o menor acumulo de M.O em superfície sustenta o desenvolvimento de horizonte A moderado e proeminente. Quando em posições mais estáveis de relevo, essa combinação permite o desenvolvimento de horizonte B mais espesso e estruturado.

Nos solos formados sobre rochas andesi-basálticas B-Ti da FVS, as características diagnosticas nos horizontes resultam da maior acidez e maior mobilidade das bases em profundidade, favorecendo o acúmulo de argila, além do desenvolvimento de cerosidade e a formação de horizontes B nítico bem estruturados. A maior participação de Fe e Al advindo da decomposição da rocha, favorecem a coloração brunada a bruno-avermelhada em setores mais estáveis do relevo. Assim, mesmo que apresentem menor V%, maior m% que solos sobre basaltos A-Ti, os perfis de solos sobre andesitos basálticos B-Ti mantêm forte expressão morfológica no horizonte B.

Por outro lado, o solo que se desenvolve sobre o dacito B-Ti da FP é quimicamente mais restritivo. Como consequência, os horizontes diagnósticos são pouco ou nada desenvolvidos, com presença de horizonte A húmico devido ao acumulo de M.O em superfície, enquanto B mantém caráter incipiente, pouco espesso e sem presença de translocação de argila em profundidade.

D. O mapeamento pedológico disponível reflete adequadamente a realidade observada em campo, ou será preciso propor ajustes?

O mapeamento pedológico disponível para o município de São Joaquim, elaborado em escala 1:250.000 (EMBRAPA, 1998; Potter *et al.*, 2004), corresponde a um levantamento de reconhecimento de baixa intensidade, cujo objetivo principal é fornecer uma visão mais regional das classes de solos e de suas associações dominantes. Nessa escala de trabalho, as unidades de mapeamento apresentam caráter generalizado, não sendo esperado o detalhamento das variações pedológicas associadas a diferenças litológicas, geoquímicas ou à posição topográfica dos perfis.

Neste sentido, todas as classes de solos identificadas neste estudo (Neossolos, Nitossolos e Cambissolos) já se encontram representadas nas associações pedológicas do mapeamento regional da EMBRAPA (1998). Contudo, as análises morfológicas, físicas e químicas realizadas evidenciam que, em escala mais detalhada, essas classes podem ocorrer associadas a diferentes litologias e magmastipo da pilha de lavas do GSG, refletindo diferentes controles geoquímicos e geomorfológicos que não são discriminados no nível cartográfico adotado.

Dessa forma, a caracterização pedológica até o 4º nível categórico, integrada às assinaturas geoquímicas das litologias e ao contexto geomorfológico local, evidenciou que a porção norte do município de São Joaquim não apresenta apenas associações dominadas por Cambissolos e Neossolos, conforme indicado no mapeamento regional em escala 1:250.000, mas também uma proporção significativa de Nitossolos Brunos e Háplicos.

Esses solos ocorrem preferencialmente em posições mais estáveis da paisagem, associadas a terços médios e inferiores de vertentes, onde o relevo varia de suave ondulado a ondulado, com menor influência direta da pedregosidade e da rochosidade superficial, quando comparados aos setores mais declivosos e topos de morro. Nesses ambientes, o maior grau de desenvolvimento pedogenético, a presença de estruturas bem desenvolvidas e a maior espessura efetiva desses Nitossolos conferem melhor potencial físico ao uso agrícola, mesmo sob condições químicas distróficas.

Sendo assim, o potencial agrícola aqui referido não se restringe exclusivamente à fertilidade natural dos solos, mas resulta da combinação entre

profundidade, estrutura, composição do material de origem e posição do perfil no relevo, fatores que favorecem o manejo agrícola quando comparados às limitações típicas em Cambissolos rasos e Neossolos Litólicos, frequentemente associados a áreas mais íngremes, pedregosas e com contato próximo à rocha sã.

A identificação de uma porcentagem considerável de Nitossolos em uma área onde esta classe surge apenas como inclusões subordinadas no mapeamento pedológico da EMBRAPA (1998) indica, portanto, que determinadas áreas da região apresentam potencial de uso agrícola superior ao atualmente praticado, especialmente quando consideradas práticas de manejo, evitando a generalização do uso das terras como se todas estivessem submetidas às mesmas restrições físicas impostas pelas classes de solos menos desenvolvidas.

9 CONCLUSÕES

A gênese dos solos da porção norte do município de São Joaquim é fortemente controlada pelo material de origem, variação do relevo e condições climáticas da Serra Catarinense, que condicionam perfis com baixa saturação por bases (V%), acidez elevada (H+Al), altos teores de Al^{3+} trocável, carbono orgânico (C.org) e capacidade de troca catiônica (CTC). As características morfológicas, físicas e químicas observadas durante as análises refletem a atuação conjunta do intemperismo intenso, da translocação de argila e da acumulação de matéria orgânica em condições de temperatura amena e alta umidade.

Cerca de 45 % dos 11 perfis de solos foram classificados como Neossolos, ocorrendo principalmente sobre topos de morros com relevo mais pronunciado, seguidos de 36 % da classe dos Nitossolos e outros 18 % da classe dos Cambissolos, estes últimos concentrando-se em posições mais estáveis do relevo, correspondendo aos terços médio e inferior das vertentes. A presença de Bt com cerosidade em subsuperfície confirma a atuação de processos de eluviação e translocação de argila. Nesses ambientes também é comum evidenciar horizontes A húmico, que são típicos de ambientes serranos úmidos.

A integração dos dados geoquímicos das rochas e das propriedades físicas e químicas dos solos revelou que a litologia subjacente aos perfis de solo exerce papel determinante sobre a composição física e química dos mesmos.

Solos desenvolvidos sobre rochas basálticas de A-Ti da FVS, apresentam pH médio de 5,06, V% em torno de 19 % e CTC pH7 de 9,6 cmolc/kg, caracterizando-se como distróficos, porém ligeiramente menos ácidos em comparação às rochas intermediárias a ácidas de B-Ti das FVS e FP. Tais parâmetros mostram uma evolução pedogenética mais avançada, englobando as classes dos Nitossolos, Cambissolos e Neossolos de maneira subordinada.

Já os solos que se desenvolvem sobre rochas andesi-basálticas B-Ti também da FVS, apresentam pH ligeiramente mais elevado que os solos sobre rochas A-Ti da mesmo Formação, V% de 14 %, m% de 51 % e CTC potencial de 11,8 cmolc/kg, revelando maior acidez potencial e maior influência da matéria orgânica e dos óxidos de ferro e alumínio, culminando em solos das classes dos Nitossolos e Neossolos.

Por outro lado, o solo que se desenvolve sobre rocha de composição dacítica B-Ti da FP é mais raso e pouco desenvolvido devido à maior resistência dos minerais primários deste exemplar ácido. O único perfil sobre dacito da FP (LSJ-01) confirma este padrão, sendo este classificado como Cambissolo Húmico com B incipiente, com alto m%, SB menor que 1,5 cmolc/kg e V% inferior a 25%.

Tais correlações (geoquímica das litologias *Vs* química dos solos) reforçam que a composição química do material de origem, associada ao grau de intemperismo e a redistribuição de argila, M.O e cátions dentro dos perfis de solos, controlam o comportamento do pH, SB, V%, m% e CTC's ao longo dos perfis desenvolvidos sobre magmas-tipo A-Ti ou B-Ti.

Tanto as rochas de A-Ti quanto as de B-Ti da FVS, tendem a desenvolver solos mais profundos, com mais Ca^{2+} e Mg^{2+} disponíveis, além de pH menos ácido, quando comparados com solos desenvolvidos sobre rochas ácidas de B-Ti da FP, que formam solos ligeiramente mais rasos, com mais cátions de K^{+} e Al^{3+} disponíveis e pH levemente mais ácido.

A arquitetura dos derrames de ambas as Formações também se mostrou como um fator determinante para o desenvolvimento pedológico da região. Os derrames da FVS são espessos e tabulares do tipo *rubbly pahoehoe*, com disjunções colunares irregulares e uma zona de topo intensamente vesiculada, facilitando a percolação de água pelas disjunções e favorecendo a neoformação de argilas,

dando lugar a perfis de solos mais desenvolvidos e com maior concentração de óxidos de ferro, estes quando em porções mais estáveis do relevo.

Os derrames da FP são ácidos e mais delgados que os derrames da FVS, apresentam uma porção basal mais vítrea, estruturas de fluxo laminar e disjunções sub-horizontais em forma de lajes, o que dificulta a percolação da água meteórica e, por consequência, reduz a dissecação do relevo. Essa configuração geomorfológica favorece a formação de platôs resistentes ao intemperismo físico, resultando em solos pouco desenvolvidos (Neossolos) ou em solos em estágio inicial de desenvolvimento (Cambissolos).

As correlações estabelecidas entre a geoquímica das litologias e os atributos pedológicos dos solos evidenciaram que as propriedades do material de origem condicionam tendências pedogenéticas específicas na área de estudo, influenciando a distribuição local das classes de solos em escala de detalhe. A caracterização pedológica realizada com base em 11 perfis representativos permitiu reconhecer, na porção norte de São Joaquim, a ocorrência de Neossolos, Nitossolos e Cambissolos, classes já contempladas nas associações pedológicas regionais CH20, CH18 e CH13 do mapeamento estadual em escala 1:250.000 da EMBRAPA (1998) e Potter *et al.*, 2004.

Entretanto, as descrições de campo e as análises físicas e químicas indicam que, em determinados contextos geomorfológicos e litológicos, especialmente em posições mais estáveis da paisagem e sobre rochas básicas a intermediárias da FVS, os Nitossolos apresentam maior expressividade local do que aquela sugerida pelo mapeamento regional no qual essa classe figura, em geral, como componente secundário das associações ou por vezes nem sendo discriminado devido a escala adotada.

Além disso, ressalta-se que a amostragem realizada neste estudo não teve como objetivo o mapeamento sistemático das classes de solos nem a redefinição cartográfica das unidades existentes, mas sim a caracterização detalhada de perfis pontuais. Ainda assim, os resultados obtidos demonstram que o nível de generalização intrínseco ao levantamento regional limita a identificação das relações entre litologia, posição do perfil na paisagem e grau de desenvolvimento pedogenético, aspectos que se mostraram fundamentais para a ocorrência de Nitossolos na área investigada.

Recomenda-se, portanto, a revisão do mapeamento pedológico local, com adoção de escalas mais detalhadas e maior integração entre dados litogeoquímicos e pedológicos, de modo a subsidiar decisões futuras mais precisas com relação às práticas de manejo, conservação e uso agrícola das terras.

10 REFERÊNCIAS

AB'SABER, A. N. *Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o Quaternário*. Geomorfologia, São Paulo, n. 18, p. 1-23, 1969.

ALMEIDA, F. F. M. *Origem e evolução da Plataforma Brasileira*. Rio de Janeiro, DNPM-DGM. 36 p. (Boletim 241). 1967

ALMEIDA, F. F. M. *Tectônica da Bacia do Paraná no Brasil*. São Paulo, Paulipetro, 187 p. 1980.

ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y. *O Pré-Cambriano do Brasil*. São Paulo: Edgard Blucher. 378 p. 1984.

ARNDT, N.T., CHRISTENSEN, U. The role of lithospheric mantle in continental Flood volcanism: thermal and geochemical constraints. *J. Geophys. Res*., 97(B7): 10967 10981. 1992

ARNDT, N. T.; CZAMANSKE, G. K.; WOODEN, J. L.; FEDORENKO, V. A. Mantle and crustal contributions to continental flood volcanism. *Tectonophysics*, v. 223, p. 39-52, 1993.

AUBELE, J. C.; CRUMPLER, L. S.; ELSTON, W. E. Vesicle zonation and vertical structure of basalt flows. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 35:349-374. 1988.

BELLIENI, E.; PICCIRILLO, E. M.; BELLIENI, G. Geochemical variations in basaltic rocks of the Paraná Basin. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 67, p. 121-134, 1984.

BELLIENI, G.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; PICCIRILLO, E. M.; MELFI, A. J.; CIVETTA, L.; HARRIS, C.; NARDI, L. V. S. Características geoquímicas dos basaltos da Província Paraná-Etendeka (Brasil): implicações petrogenéticas. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 14, n. 2, p. 208–216, 1984a.

BELLIENI, E.; PICCIRILLO, E. M.; BELLIENI, G. Geochemical variations in basaltic rocks of the Paraná Basin. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 67, p. 121-134, 1984b.

BELLIENI, G.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; PICCIRILLO, E. M.; MELFI, A. J.; CIVETTA, L.; NARDI, L. V. S. Considerações sobre os mecanismos de instalação dos derrames da Formação Serra Geral na região de Torres (RS). *Revista Brasileira de Geociências*, v. 16, n. 2, p. 211–216, 1986.

BESSER, M.L. *Sequência vulcânica ácida da região de São Joaquim – SC: Reoignimbritos ou lavas?* (Tese de Doutorado). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 197 p. 2017.

BESSER, M.L.; VASCONCELLOS, E.M.G.; NARDY, A.J.R. Platô de São Joaquim, Província Magmática do Paraná: Feições de Campo e Questões Genéticas. *Boletim Paranaense de Geociências*, 72(1): 13-28. 2015.

BESSER, M.L.; VASCONCELLOS, E.M.G.; NARDY, A.J.R. Morphology and stratigraphy of Serra Geral silicic lava flows in the northern segment of the Torres Trough, Paraná Igneous Province. *Brazilian Journal of Geology*, 48(2): 201-219. 2018.

BRYAN, S. E., ERNST, R. E. Revised definition of Large Igneous Provinces (LIPs), *Earth-Science Review*, Volume 86, Issues 1–4, Pages 175-202, ISSN 0012- 8252, https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2007.08.008. 2008.

BRYAN, S. E., PEATE, I. U., PEATE, D. W., SELF, S., JERRAM, D. A., MAWBY, M. R., MARSH, J. S., MILLER, J. A. The largest volcanic eruptions on Earth. *Earth Sciences. Review*, 102: 207-229. 2010.

BURCHARDT, S. *Introduction to Volcanic and Igneous Plumbing Systems - Developing a Discipline and Common Concepts*. 10.1016/B978-0-12-809749-6.00001-7. 2018.

CAMPBELL, I.H., GRIFFITHS, R.W. Implications of mantle plume structure for the evolution of flood basalts. *Earth Planet. Sci. Lett*., 99: 79-93. 1990.

CHURCHMAN, G. J.; DAVID, J. L. Alteration, formation, and occurrence of minerals in soils. In: HUANG, P. M.; LI, Y.; SUMMER, M. E. (ed.). *Handbook of soil sciences*. Boca Raton: CRC Press, p. 1–72. 2011.

CLAESSEN, M. E. C. (Org.); BARRETO, W. O. (Coord. técnico); PAULA, J. L.; DUARTE, M. N. (Orgs.). *Manual de métodos de análise de solo*. 2. ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 212 p. 1997.

COFFIN, M. F., ELDHOLM, O. *Large Igneous Provinces*. JOI/USSAC Workshop Report. The University of Texas at Austin Institute for Geophysics Technical Report No. 114. 1991.

COFFIN, M. F.; ELDHOLM, O. Large Igneous Provinces: crustal structure, dimensions and external consequences. *Reviews of Geophysics*, v. 32, p. 1-36, 1994.

CORDANI, U. G.; VANDOROS, P. *Basaltos do Paraná e seu significado na geologia global.* São Paulo: Instituto Geológico, 1967.

CORDANI, U. G.; MILANI, E. J.; THOMAZ FILHO, A.; CAMPOS, D. A. *Geologia e recursos minerais do Brasil*. Rio de Janeiro: Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM) / Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), 1984. 422 p.

CORDANI, U. G.; CIVETTA, L.; MANTOVANI, M. S. M.; PETRINI, R. Isotope geochemistry of flood volcanics from the Paraná Basin (Brazil). *Revista Brasileira de Geociências*, v. 18, p. 210-216, 1988.

COX, K. G. A model for flood basalt volcanism. *Journal of Petrology*, v. 21, p. 629-650, 1979.

DAHLGREN, R. A.; SAIGUSA, M.; UGOLINI, F. C. The nature, properties and management of volcanic soils. *Advances in Agronomy*, San Diego, v. 82, p. 113–182, 2004.

DANTAS, M. E; LACERDA, A; MAIA, M. A. M. *Guia de procedimentos técnicos do Departamento de Gestão Territorial*: volume 7 – versão 1, cartas de padrão de relevo multiescala. Brasília: SGB-CPRM, 2023.

DELMELLE, P.; OPFERGELT, S.; CORNELIS, J-T.; PING, C-L. Volcanic soils. In: SIGURDSSON, Haraldur et al. (ed.). The encyclopedia of volcanoes. 2. ed. Amsterdam: *Academic Press*, cap. 72, p. 1253–1264. 2015.

DURAISWAMI, R. A.; GADPALLU, P.; SHAIKH, T. N.; CARDIN, N. Pahoehoe- a'a' transitions in the lava flow fields of the western Deccan Traps, India-implications for emplacement dynamics, flood basalt architecture and volcanic stratigraphy. *Journal of Asian Earth Sciences*, v. 84, p. 146-166, 2013.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos* / Humberto Gonçalves dos Santos... [et al.] 5. ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 356 p. 2018.

ERLANK, A. J.; MARSH, J. S.; DUNCAN, A. R.; MILLER, R. M. C.; HAWKESWORTH, C. J.; BETTON, P. J.; REX, D. Geochemistry and petrology of the Paraná flood basalts. *Journal of Petrology*, v. 25, p. 1-40, 1984.

ERNST, R. E. *Large Igneous Provinces: continental, oceanic, and planetary flood volcanism*. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.

FLORISBAL, L. M., JANASI, V. A., BITENCOURT, M. F., NARDI, L. V. S., MARTELETO, N. S. Geological, geochemical and isotope diversity of~ 134 Ma dykes from the Florianópolis Dyke Swarm, Paraná Magmatic Province: Geodynamic controls on petrogenesis. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 355, p. 181-203, 2018.

FODOR, R. V.; VETTER, S. K. Rift-zone magmatism: Petrology of basaltic rocks transitional from CFB to MORB, southeastern Brazil margin. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 88, p. 307-321, 1984.

FODOR, R. V.; CORWIN, C. F.; ROISENBERG, A. Petrology of Paraná flood basalt province: crustal contamination and source material. *Journal of Petrology*, v. 26, p. 635-664, 1985.

FONTOURA, G. M.; *Geologia, petrografia e geoquímica elemental dos diques máficos do Farol de Santa Marta, SC*. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2024.

FREITAS, R. O.; PEREIRA, A. A.; SOUZA, M. L. Planalto Dissecado Rio Iguaçu/Rio Uruguai: Geomorfologia e processos erosivos. In: ROSS, J. L. S. (org.). *Geomorfologia do Sul do Brasil*. São Paulo: Contexto. p. 123–145. 2003.

FROZZA, M. E. 2015. *Estratigrafia, arquitetura de fácies e geoquímica da Formação Serra Geral da Serra do Rio do Rastro – SC*. Trabalho de Graduação (Bacharel em Geologia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

FULFARO, V. J.; CARNEIRO, C. D. R.; CUNHA, F. M. B.; PERROTA, M. M. Compartimentação e Evolução Tectônica da Bacia do Paraná. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v.12, n.4, p.590-611, 1982.

GARLAND, F.; TURNER, S.; HAWKESWORTH, C. Shifts in the source of the Paraná basalts through time. *Lithos*, v. 37, p. 223-243, 1996.

GOMES, A. S.; VASCONCELOS, P. M. Geochronology of the Paraná–Etendeka large igneous province. *Earth-Science Reviews*, v. 220, p. 35, 2021.

HARTMANN, L. A. Evolução tectônica e magmática da Província Magmática do Paraná. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 32, n. 4, p. 487–492, 2002.

HAWKESWORTH, C. J.; GALLAGHER, K.; KELLEY, S.; MANTOVANI, M. S. M.; PEATE, D. W.; REGELLOUS, M.; ROGERS, N. W. Paraná magmatism and the opening of the South Atlantic. *Geological Society Special Publication*, v. 68, p. 221-240, 1992.

HEBERLE, D. A; ALMEIDA, J. A. Solos. In: SANTA CATARINA. Secretaria de Estado do Planejamento. *Atlas geográfico de Santa Catarina: diversidade da natureza*. 2. ed. Florianópolis: IPUF; SEPLAN, Fascículo 2. p. 145-155. 2016.

HON, K.; KAUAHIKAUA, J.; DENLINGER, R.; MACKAY, K. Emplacement and inflation of pahoehoe sheet flows: Observations and measurements of active lava flows on Kilauea Volcano, Havaí. *Geological Society of America Bulletin*, 106: 351-370. 1994.

HORN, B. L. D.; OLIVEIRA, A. A.; SIMÕES, M. S.; BESSER, M. L.; ARAÚJO, L. L. *Mapa geológico da Bacia do Paraná*. Porto Alegre: Serviço Geológico do Brasil – CPRM, 2022. Mapa, escala 1:1.000.000. Disponível em: https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/23037. Acesso em: 21 mar. 2025.

JANASI, V. A.; DE PAULA, G. M.; GODOY, G. R.; FREITAS, V. A. Caracterização geoquímica e implicações estratigráficas das unidades básicas da Formação Serra Geral na borda leste da Bacia do Paraná. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 37, n. 1, p. 52–64, 2007.

JANOUŠEK, V.; FARROW, C.M.; ERBAN, V. Interpretation of wholerock geochemical data in igneous geochemistry: Introducing Geochemical Data Toolkit (GCDkit). *Journal of Petrology*, 47(6): 1255–1259. 2006.

JENNY, H. *Factors of soil formation: a system of quantitative pedology*. New York: McGraw-Hill Book Company, 1941. 281 p.

JERRAM, D. *Introducing Volcanology: A Guide to Hot Rocks*. 2. ed. Edinburgh: Dunedin Academic Press, 2021.

KILBURN, C. 1990. Surfaces of Aa flows-fields on Mount Etna, Sicily: Morphology, rheology, crystallization and scaling phenomena. In: Fink, J.H. (Ed.). Lava Flows and Domes, Berlin, *Springer-Verlag*, p. 129-156.

KLOSS, H. P. *Contribuição à Evolução Tectônica da Bacia do Paraná na região de Santa Cruz do Sul, RS.* Porto Alegre: UFRGS, 2012.

KÖPPEN, W. Das geographische System der Klimate, in KÖPPEN, W.; GEIGER, R., eds., *Handbuch der Klimatologie*: Gebrüder Bornträger, Berlin, v. 1, p. 1–44. 1936.

LE BAS, M. J.; LE MAÎTRE, R. W.; STRECKEISEN, A.; ZANETTIN, B. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *Journal of Petrology*, Oxford, v. 27, p. 745–750, 1986.

LEPSCH, I. F. *Formação e conservação dos solos*. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 248 p.

LIMA, J. G. G. *Influência estrutural e tectônica no relevo do setor central do Planalto das Araucárias.* 2020. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Francisco Beltrão, 2020.

LUIZ, E. L. Geomorfologia. In: SANTA CATARINA. Secretaria de Estado do Planejamento. *Atlas geográfico de Santa Catarina: diversidade da natureza*. 2. ed. Florianópolis: IPUF; SEPLAN, 2016. Fascículo 2. p. 95-107.

MACDONALD, G. A. 1953. Pahoehoe, aa and block lava. American Journal of Science, 251(3):169-191.

MACHADO, F. B. Estratigrafia e evolução tectono-sedimentar da Bacia do Paraná. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 33, n. 4, p. 521–534, 2003.

MACHADO, F. B. *Geologia e possíveis zonas de efusão do magmatismo ácido cretácico da Bacia do Paraná*. 94 p. Monografia de conclusão de curso (Graduação em Geologia), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual de São Paulo, 2003.

MACHADO, F. B.; ROCHA-JÚNIOR, E. R. V.; MARQUES, L. S.; NARDY, A. J. R.; ZEZZO, L. V.; MARTELETO, N. S. Geochemistry of the Northern Paraná Continental Flood Basalt Province. *Brazilian Journal of Geology*, v. 48, p. 177-199, 2018.

MAHONEY, J. J.; COFFIN, M. F. Large Igneous Provinces: continental, oceanic, and planetary flood volcanism. *American Geophysical Union*, Geophysical Monograph, v. 100, p. 438, 1997.

MANTOVANI, M. S. M.; MARQUES, L. S.; VAREJÃO, F. M.; RAPOSO, M. I. B. Petrologia e geoquímica dos basaltos da região de Ribeirão Preto (SP). *Revista Brasileira de Geociências*, v. 15, n. 3, p. 160–168, 1985.

MANTOVANI, M. S. M.; BRITO-NEVES, B. B. O Cráton do Paranapanema: geologia e evolução tectônica. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 35, n. 2, p. 143–150, 2005.

MANTOVANI, M. S. M.; BRITO-NEVES, B. B. O Cráton do Paranapanema: conceito e evolução. In: MANTOVANI, M. S. M. et al. (org.). *Tectônica do Cráton do São Francisco e áreas adjacentes*. Salvador: SBG/BA-SE, 2009. p. 101–118.

MARQUES, L. S.; DUPRÉ, B.; ALLÈGRE, C. J.; PICCIRILLO, E. M. Petrogenesis of the high-TiO2 flood basalts from the northern Paraná Basin (Brazil): implications for the origin of the Paraná Magmatic Province. *Journal of Petrology*, v. 40, n. 4, p. 537–550, 1999.

MARQUES, L. S.; ERNESTO, M. O magmatismo toleítico da Bacia do Paraná. In: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. D. R.; BRITO NEVES, B. B. (org.). **Geologia do continente sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**. São Paulo: Beca, 2004. cap. 15, p. 217–238.

MICROSOFT CORPORATION. *Microsoft Excel*. 2016. Disponível em: https://office.microsoft.com/excel

MILANI, E. J. (1997). *Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozóica do Gondwana Sul-Ocidental*. Tese de Doutoramento. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, p. 255.

MILANI, E. J.; FACCINI, U. F.; SCHERER, C. M. S.; ARAÚJO, L. M.; CUPERTINO, J. A. *Sequences and stratigraphic hierarchy of the Paraná Basin (Ordovician to Cretaceous), Southern Brazil*. Boletim IG-USP, São Paulo, p. 125-173. nov. 1998. (Série Científica, n. 29).

MILANI, E. J. Comentários sobre a origem e a evolução tectônica da Bacia do Paraná. In: ALMEIDA, F. F. M. (org.). *Geologia das bacias brasileiras*. Rio de Janeiro: PETROBRAS, 2006. Cap. XVI. p. 265–279.

MILANI, E.J.; MELO, J.H.G.; SOUZA, P.A.; FERNANDES, L.A.; FRANÇA, A.B. Bacia do Paraná. *Boletim de Geociências PETROBRAS*, Rio de Janeiro, 15(2): 265-287. 2007.

MUNSELL, A. H. *Munsell soil color charts*. Grand Rapids, MI, 2009.

OLIVEIRA, M. A. F. Caracterização litoquímica e aspectos petrológicos de rochas vulcânicas da Formação Serra Geral: Região Centro-Sul do Estado do Paraná. *Geociências*, v. 12, n. 2, p. 275-313, 1993.

OTTMANN, G. A. *Reavaliação do patrimônio geológico e proposição de atualização do georoteiro da Coluna White, Serra do Rio do Rastro – Santa Catarina*. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2024.

OTTMANN, G. A.; FLORISBAL, L. M. *Serra do Rio do Rastro: a história geológica da estrada*. 2024. StoryMap ArcGIS. Disponível em: https://storymaps.arcgis.com/stories/7d397ef818e84ba99967908f2b7613ee. Acesso em: 14 jul. 2025.

PAISANI, J. C.; PONTELLI, M. E.; ANDRES, J. Superfícies aplainadas em zona morfoclimática subtropical úmida no Planalto Basáltico da Bacia do Paraná (SW Paraná/NW Santa Catarina): primeira aproximação. *Geociências*, São Paulo, v. 27, n. 4, p. 541-553, 2008.

PARANÁ. Secretaria de Estado da Educação. *Mapa geomorfológico do Paraná*. Disponível em: http://www.geografia.seed.pr.gov.br/modules/galeria/detalhe.php?foto=1515&evento=7. Acesso em: 22 Maio 2025.

PARFITT, R. L. Allophane and imogolite: role in soil biogeochemical processes. *Clay Minerals*, London, v. 44, p. 135–155, 2009.

PEATE, D. W.; HAWKESWORTH, C. J.; LIGHTFOOT, P. C.; VAN CALSTEREN, P. Chemical stratigraphy of the Paraná lavas (South Brazil): classification of magma types and their spatial distribution. *Journal of Petrology*, v. 31, n. 2, p. 449–477, 1990.

PEATE, D. W.; HAWKESWORTH, C. J.; PIRES, A. C.; LIGHTFOOT, P. C.; VAN CALSTEREN, P. Petrogenesis and stratigraphy of the high-Ti/Y Urubici-type lavas of the Paraná flood basalt province. *Journal of Petrology*, v. 33, n. 3, p. 579–605, 1992.

PEATE, D. W. & HAWKESWORTH, C. J, Lithospheric to asthenospheric transition in Low-Ti flood basalts from southern Paraná, Brazil. *Chemical Geology* 127, 1–24. 1996.

PEATE, D.W. The Paraná-Etendeka Province. In *Large Igneous Provinces: Continental, Oceanic, and Planetary Flood Volcanism* (eds J.J. Mahoney and M.F. Coffin). https://doi.org/10.1029/GM100p0217. 1997.

PEATE, D. W.; HAWKESWORTH, C. J.; MANTOVANI, M. S. M.; MARQUES, L. S.; ROGERS, N. W.; TURNER, S. P.; HARRIS, C. Chemical stratigraphy of the Paraná lavas (South Brazil): classification of magma types and their spatial distribution. *Journal of Petrology*, Oxford, v. 40, n. 4, p. 579–618, 1999.

PELUSO JÚNIOR, V. A. *O relevo do território catarinense*. Geosul. Florianópolis, v.1, n. 2, 1986.

PEREIRA, E.; CARNEIRO, C. R.; BERGAMASCHI, S.; ALMEIDA, F. F. M. Evolução das sinéclises paleozóicas: Províncias Solimões, Amazonas, Parnaíba e Paraná. In: Hasui, Y.; Carneiro, C. R.; Almeida, F. F. M.; Bartorelli, A. (Org.) *Geologia do Brasil*. São Paulo: Beca. p. 392-421. 2012.

PICCIRILLO, E. M.; MELFI, A. J. (org.). *O magmatismo mesozoico da Bacia do Paraná*. São Paulo: Edusp, 1988. 386 p.

PICCIRILLO, E. M.; MELFI, A. J.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; BELLIENI, G.; CIVETTA, L.; DALY, J. S.; PELLUZZI, A. Magmatism and tectonics in the South American platform. *Episodes*, v. 10, n. 3, p. 191–197, 1987.

PINKERTON, H.; SPARKS, R. S. J. The 1975 sub-terminal lavas, Mount Etna: A case history of the formation of a coumpound lava field. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 1:176 182. 1976.

POTTER, R. O.; CARVALHO, A. P.; FLORES, C. A.; BOGNOLA, I. in: *Solos do Estado de Santa Catarina*. EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento n° 46) Rio de Janeiro: Embrapa solos, 745 p. 2004.

RASMUSSEN, C.; MATSUYAMA, N.; DAHLGREN, R. A.; SOUTHARD, R. J.; BRAUER, N. Soil genesis and mineral transformation across an environmental gradient on andesitic lahar. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 71, p. 225–237, 2007.

RENNE, P.R., ERNESTO, M., PACCA, I.G., COE, R.S., GLEN, J.M., PREVOT, M., PERRIN, M. 1992. The age of Paraná flood volcanism, rifting of Gondwanaland, and the Jurassic-Cretaceous boundary: *Science*, v. 258, p. 975–979, doi: 10.1126/science.258.5084.975.

RENNE, P.R., DECARKT, K., ERNESTO, M., FÉRAUD, G., PICCIRILLO, E.M., 1996ª. Age of the Ponta Grossa dike swarm (Brazil), and implications to Paraná flood volcanism: *Earth and Planetary Science Letters*, v. 144, p. 199–211, doi: 10.1016/0012-821X (96)00155-0.

RENNE, P.R., GLEN, J.M., MILNER, S.C., DUNCAN, A.R., 1996b. Age of Etendeka flood volcanism and associated intrusions in southwestern Africa: *Geology*, v. 24, p. 659–662, doi: 10.1130/ 0091-7613(1996) 0242.3.CO2.

RENNE, P.R., ERNESTO, M., MILNER, S.C., 1997, *Geochronology of the Paraná-Etendeka magmatic province*: Eos (Transactions, American Geophysical Union), v. 78, p. 742.

ROCHA, I. O. (Org.); SILVA, F. J.; LEITE, M. A.; SAGAZ, P. A.; FURLANETTI, T. L. R. in: *Atlas geográfico de Santa Catarina: diversidade da natureza – fascículo 2*. 2. ed. Florianópolis: Estado de Santa Catarina: Secretaria de Estado do Planejamento: Diretoria de Estatística e Cartografia, 2016.

ROSOLEM, G. P. N. *Evolução morfopedológica da planície costeira do Pântano do Sul e o significado ambiental dos solos ácidos sulfatados*. Tese (Doutorado em Agroecossistemas) - Universidade Federal de Santa Catarina, 2024.

ROSSETTI, L. M. M.; WAICHEL, B. L.; JANASI, V. A.; SCHMOELLER, R. Architecture and emplacement of compound pahoehoe lava flow fields in the central Paraná-Etendeka flood basalt province, Brazil. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 284, p. 1–15, 2014.

ROSSETTI, L. M. M.; WAICHEL, B. L.; JANASI, V. A.; SOUZA, V. S. Stratigraphy of Serra Geral Group in the central portion of the Paraná Igneous Province (Brazil): insights from lava flow morphology and geochemistry. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 85, p. 318–340, 2018.

ROSSETTI, L. M. M.; WAICHEL, B. L.; JANASI, V. A.; COSTA, F. B. Subaerial evolution of lava flow morphologies in the Paraná-Etendeka Large Igneous Province. *Lithos*, v. 394–395, 106194, 2021.

ROSSETTI, L. M. M.; SIMÕES, M. S.; LIMA, E. F.; WAICHEL, B. L.; SOMMER, C. A. Estratigrafia do Grupo Serra Geral na Calha de Torres, Sul do Brasil. In:

JELINEK, A. R.; SOMMER, C. A. (org.). *Contribuições à geologia do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina*. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Geologia – Núcleo RS/SC, 2021. p. 321-336. doi: 10.29327/537860.

ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos fatos geomor fológicos e a questão da taxonomia do relevo. *Revista do Departamento de Geografia*. São Paulo, v. 6, p. 17-29, 1992.

ROWLAND, S. K.; WALKER, G. P. L. 1990. Pahoehoe and aa in Havaí: volumetric flow rate controls the lava structure. *Bulletin of Volcanology*, 52(8):631-64.

SANFORD, R. M.; LANGE, F. W. Basin-study approach to oil evaluation of Paraná miogeosyncline, South Brazil. *Bulletin of American Association of Petroleum Geologists*, v.44, p.1316-1370, 1960.

SANTA CATARINA. Secretaria de Estado do Planejamento. *Atlas geográfico de Santa Catarina*. Florianópolis: SEPLAN, 1986.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.* 5. ed., rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; LIMA, H. N.; MARQUES, F. A.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos***.** 6. ed., rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2025. 393 p.

SANTOS, E. A.; FLORISBAL, L. M.; STEVENSON, R.; WIDORY, D.; DORTZBACH, D.; DE ALMEIDA, B. S.; LOSS, A. From rock to bottle: strontium isotopes (87Sr/86Sr) as indicator of provenance for the volcanic wines of altitude from São Joaquim, southern Brazil. *CATENA*, v. 249, p. 108624, 2025.

SANTOS, E. A.; LOSS, A.; FLORISBAL, L. M.; BESSER, M. L.; DORTZBACH, D. Geology and Wine 15. Producing Wine at Altitude: The Terroir of São Joaquim, Brazil. *GEOSCIENCE CANADA*, 45:137-149. 2019.

SANTOS, E.A.; LOSS, A.; PEDRON, F.A.; FLORISBAL, L.M.; SILVA, E.B. *Guia de campo da excursão pedológica da rocha à garrafa: geologia, solos e vinhos.* Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2023. 55 p. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/251240/Livro%20-%20Excursão%20Da%20Rocha%20À%20Garrafa%20%28Guia%20de%20Campo%29%20versão%20final%202023.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 28 nov. 2024.

SANTOS, E. A. *Terroir de São Joaquim: Vinhos Vulcânicos de Altitude*. 2024. Tese (Doutorado em Agroecossistemas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2024.

SANTOS, E. A.; LOSS, A.; FLORISBAL, L. M.; DORTZBACH, D. Solos da Serra Catarinense. In: PEDRON, F. de A.; PEREIRA, M. G. (ed.). *Compêndio de solos do Brasil* [livro eletrônico]: volume 1. Santa Maria, RS: Núcleo Regional Sul da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2024. p. 60–88. ISBN 978-65-992884-5-6.

SANTOS, R.D.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C.; SHIMIZU, S.H. *Manual de Descrição e Coleta de Solos no Campo*. 7. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 102 p. 2015.

SCHERER, C. M., REIS, A. D., HORN, B. L., BERTOLINI, G., LAVINA, E. L., KIFUMBI, C., AGUILAR, C. G. (2023). The stratigraphic puzzle of the permo-mesozoic southwestern Gondwana: The Paraná Basin record in geotectonic and palaeoclimatic context. *Earth-Science Reviews*, v. 240, p. 104397.

SCHMINCKE, H. U. 2004. Volcanism. Berlin, *Springer-Verlag*, 324 p.

SCHOBBENHAUS, C.; BRITO NEVES, B.B.; HASUI, Y.; MONTEIRO, M.A.S.; MANTESSO-NETO, V. *Mapa geológico da Bacia do Paraná*: escala 1:1.000.000. Brasília: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2022. Disponível em: https://ri-geo.cprm.gov.br/handle/doc/23037. Acesso em: 10 nov. 2024.

SELF, S., KESZTHELYI, L. P., THORDARSON, T. The importance of pāhoehoe. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, v. 26, n. 1, p. 81-110, 1998.

SELF, S.; THORDASON, T.; KESZTHELYI, L. 1997. Emplacement of continental flood basalts flows. In: Mahoney JJ, Coffin M (eds.) *Large Igneous Provinces*, Washington DC, AGU. p. 381-410 (Monograp., 100).

SHOJI, S; NANZYO, M; DAHLGREN, R. A. Volcanic ash soils: genesis, properties and utilization. Amsterdam: Elsevier, 1993. (*Developments in Soil Science*, v. 21).

SOIL SURVEY STAFF*. Keys to soil taxonomy*. 13. ed. Washington, D.C.: United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, 2022.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. *Análise de solo, plantas e outros materiais*, 2° edição: Porto Alegre, Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil, 174 p. 1995.

TEIXEIRA, P. C; DONAGEMMA, G. K; FONTANA, A; TEIXEIRA, W. G. (org.). *Manual de métodos de análise de solo.* 3. ed. revisada e ampliada. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574 p.

THIEDE, D. S., VASCONCELOS, P. M (2010). Paraná flood basalts: rapid extrusion hypothesis confirmed by new 40Ar/39Ar results. *Geology*, 38(8), 747-750.

TRATZ, E. B.; WAICHEL, B. L. Variações no padrão de relevo associadas aos diferentes derrames e formas vulcânicas preservadas na porção central da Província Magmática do Paraná-Etendeka. *Revista GeoUECE*, Fortaleza, v. 8, n. 15, p. 178-192, 2019.

VAIL, P. R.; TODD, R. G.; SANGREE, J. B. *Seismic Stratigraphy and Global Changes of Sea Level:* Part 5. Chronostratigraphic Significance of Seismic Reflections: Section 2. Application of Seismic Reflection Configuration to Stratigraphic Interpretation Memoir 26, p. 99 – 116, 1977.

WAICHEL, B. L.; ROSSETTI, L. M. M.; SCHMOELLER, R.; JANASI, V. A.; FRANÇA, A. B. Interaction between flood basalt lava flows and aeolian sand dunes in the Paraná Basin, southern Brazil. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 172, p. 137–152, 2008.

WAICHEL, B. L.; ROSSETTI, L. M. M.; JANASI, V. A.; SCHMOELLER, R. Stratigraphy and volcanic facies architecture of the Torres Syncline, Southern Brazil, and its role in understanding the Paraná–Etendeka Continental Flood Basalt Province. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 215–216, p. 74–82, 2012.

WAICHEL, B. L.; SCHNEIDER, R. L.; FRANÇA, A. B.; SCHNEIDER, M. C.; NARDI, L. V. S. Caracterização das sequências de derrames basálticos da Província Magmática Paraná no estado do Rio Grande do Sul: implicações para a estratigrafia e evolução do magmatismo. *Geociências*, São Paulo, v. 31, n. 1, p. 49–63, 2012.

WHITE, I. C. 1908. Relatório sobre as “coal measures” e rochas associadas do Sul do Brasil. In: *Relatório Final da Comissão de estudos das minas de carvão de pedra do Brasil.* Rio de Janeiro: Imprensa Nacional, 617 p.

WHITE, R. S.; MCKENZIE, D. Mantle plumes and flood basalts. 1995. *Journal of Geophysical Research*, Cambridge, 100 (9): 17.543-17.585.

ZALÁN, P. V.; WOLFF, S.; ASTOLFI, M. A. M.; VIEIRA, I. S.; CONCEIÇÃO, J. C. J.; APPI, V. T.; SANTOS NETO, E. V.; CERQUEIRA, J. R.; MARQUES, A. The Paraná Basin, Brazil. In: LEIGHTON, M. W.; KOLATA, D. R.; OLTZ, D. F.; EIDEL, J. J. (Ed.). *Interior cratonic basins*. Tulsa: American Association of Petroleum Geologists, 1990. p. 681-708. (AAPG. Memoir, 51).

APÊNDICE A – FRX normalizado em base anidra das amostras de rocha

SAMPLE NAME	Symbol	color	SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5
LSJ-01	17	4	69,20	0,92	13,21	5,34	0,11	1,23	3,33	3,72	2,67	0,27
LSJ-03	17	4	54,26	1,33	14,41	11,46	0,19	5,56	9,86	2,06	0,68	0,18
LSJ-04	17	4	55,84	1,49	14,06	11,64	0,18	4,36	7,47	2,79	1,98	0,21
LSJ-06	17	2	51,43	3,73	13,43	13,38	0,20	4,50	8,20	2,79	1,80	0,54
LSJ-07	17	4	54,33	1,35	14,37	10,95	0,18	5,53	9,55	2,27	1,27	0,19
LSJ-08	17	2	51,65	3,73	13,49	13,23	0,19	4,39	8,14	2,80	1,82	0,55
LSJ-09	17	2	51,89	3,96	13,45	12,27	0,18	4,76	8,38	2,68	1,89	0,55
LSJ-10	17	2	51,72	4,05	13,61	12,84	0,18	4,66	9,26	2,03	1,07	0,58

SAM-PLE NAME	Ti	Ba	Ce	Co	Cr	Cu	Ga	La	Nb	Nd	Ni	Pb	Rb	Sc	Sr	Th	U	V	Y	Zn	Zr	F	Cl	S
LSJ-01	5381,71	591	80	12		50	18	38	21	35		26	133	17	156	14	7	68	44	72	251	642	500	550
LSJ-03	7689,02	429	38	43	47	119	20		10	23	43	11	38	31	425			329	50	95	124	67	500	550
LSJ-04	8749,78	391	50	44	38	106	22		13	30	37	14	41	34	200	13	3	349	37	98	161	200	500	550
LSJ-06	21898,42	534	72	44	66	131	25	32	28	37	50	7	23	30	544	8		404	39	118	281	557	500	550
LSJ-07	7910,76	301	41,5	43,5	54,5	92,5	20,5	30,5	10	24	43,5	8,5	31	33	278	10	3	311	31	93	132	59	500	550
LSJ-08	21934,38	523	74	43	66	137,5	24,5	37	29,5	37,5	48	11,5	24,5	25	543	7	3	397	39,5	116	283,5	520,5	500	550
LSJ-09	23276,81	735	90	41	80	143	23	46	29	41	60	6	25	25	695			331	41	109	321	278	500	550
LSJ-10	23294,79	516	91	42	83	183	25	38	31	40	62	9	16	28	719			340	41	116	331	154	500	550