



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROECOSSISTEMAS

Erico Albuquerque dos Santos

TERROIR DE SÃO JOAQUIM: VINHOS VULCÂNICOS DE ALTITUDE

Florianópolis

2024

Erico Albuquerque dos Santos

TERROIR DE SÃO JOAQUIM: VINHOS VULCÂNICOS DE ALTITUDE

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Agroecossistemas.

Orientador: Prof. Dr. Arcângelo Loss
Coorientadora: Profa. Dra. Luana Moreira Florisbal
Coorientador: Dr. Denilson Dortzbach

Florianópolis

2024

Santos, Erico Albuquerque dos
TERROIR DE SÃO JOAQUIM: VINHOS VULCÂNICOS DE ALTITUDE /
Erico Albuquerque dos Santos ; orientador, Arcângelo Loss,
coorientadora, Luana Moreira Florisbal , coorientador,
Denilson Dortzbach, 2024.
154 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-
Graduação em Agroecossistemas, Florianópolis, 2024.

Inclui referências.

1. Agroecossistemas. 2. VITICULTURA. 3. SERRA
CATARINENSE. 4. DENOMINAÇÃO DE ORIGEM. 5. ISÓTOPOS DE
ESTRÔNCIO. I. Loss, Arcângelo. II. Florisbal , Luana
Moreira. III. Dortzbach, Denilson IV. Universidade Federal
de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em
Agroecossistemas. V. Título.

Erico Albuquerque dos Santos

TERROIR DE SÃO JOAQUIM: VINHOS VULCÂNICOS DE ALTITUDE

O presente trabalho em nível de Doutorado foi avaliado e aprovado, em 23 de fevereiro de 2024, pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Dr. Jorge Tonietto

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Dra. Elisângela Benedet da Silva

EPAGRI - Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina

Profa. Dra. Liliana Sayuri Osako

UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Jucinei José Comin

UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de Doutor em Agroecossistemas.

Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas

Prof. Dr. Arcângelo Loss (Orientador)

Florianópolis, 2024

À minha família... em todas as suas formas...

AGRADECIMENTOS - parte I

À Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES pelas bolsas de estudo (DS - Programa de Demanda Social processo nº 88882.438843/2019-01 e PDSE - Programa de Doutorado Sanduíche no Exterior processo nº 88881.623269/2021-01) que me permitiram realizar uma pós-graduação em uma universidade pública, gratuita e de qualidade (Universidade Federal de Santa Catarina), além de um estágio de pesquisa em uma renomada universidade estrangeira (Université du Québec à Montréal). Deixo aqui meus agradecimentos aos meus orientadores de doutorado: professor Arcângelo Loss (ENR/UFSC), professora Luana Moreira Florisbal (DGL/UFSC) e pesquisador Denilson Dortzbach (EPAGRI); e ao meu supervisor de estágio de pesquisa no exterior: professor Ross Stevenson (GEOTOP/UQÀM).

À Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina - FAPESC pelos financiamentos (Edital FAPESC 12/2020 projeto nº 2021TR000668 e Edital FAPESC 03/2022 projeto nº 2022TR001373) que nos possibilitaram realizar os trabalhos de campo e de laboratório necessários para conclusão do meu doutorado. Os dados gerados por esses projetos ainda produzirão muitos frutos. Deixo aqui também meus agradecimentos aos meus colegas de academia: Michelle Barbosa Teixeira Loss, Lucas Dupont Giumbelli, Alan Carlos Batistão, Gabriel Martins Fontoura, Lucas Borsuk e Gabriella Avellar Ottmann (nestas páginas está um pouco de cada um de vocês); e aos meus parceiros de trabalho: Fabrício de Araújo Pedron, Elisângela Benedet da Silva e Lúcia Helena Cunha dos Anjos (que no futuro nossos caminhos continuem se cruzando).

AGRADECIMENTOS - parte II

...não chego aqui sozinho... foi preciso muitas mãos e muitos pés... de pessoas que vieram antes de mim... de pessoas que ainda estão aqui comigo... este trabalho resulta de uma mistura complexa... de ações... de emoções... e de sonhos... agradeço àqueles que me construíram... meus pais, meus avós, meu irmão, meus tios, meus primos, meus amigos, meus amores... agradeço também àqueles que me destruíram... pois de fragmentos me fiz inteiro... me refiz por completo... deixei alguns pedaços para trás... aqueles que não me pertenciam mais... agradeço aos deuses... do tempo... da ventania... agradeço aos orixás... pela proteção... pela companhia... agradeço minhas santas... pelo acolhimento... pela sabedoria... e aos anjos... que encontrei pelo caminho... por serem vento... por serem correnteza... nos vemos do outro lado... porque todo fim... é apenas um começo... está ficando tarde... e agora tenho que ir... que me esperam com vinho... no bar... na cama... na grama... no chão... e amanhã me deixem dormir... que o café da manhã... vai ser tarde... e com muito bacon...

“Não importa quanto vá durar – é infinito agora”

Caio Fernando Abreu

RESUMO

No ano de 2021 foi reconhecida a Indicação de Procedência Vinhos de Altitude de Santa Catarina para a produção de vinhos finos, nobres, licorosos, espumantes e *brandy* (destilado de vinho) em uma área que abrange 19.676 km² e 29 municípios catarinenses. Dentre esses, o principal produtor de vinhos elaborados com uvas de variedades europeias (*Vitis vinífera*) é São Joaquim, que fica localizado na Serra Catarinense, com 25 propriedades vitivinícolas, 268 vinhedos que ocupam uma área total de 138,19 ha e com capacidade de produzir aproximadamente 973.700 L de vinho por safra (~52% da produção da indicação de procedência). O município apresenta um enorme potencial para o reconhecimento de uma denominação de origem para seus vinhos por ser uma das regiões vitivinícolas mais altas e frias do país, mas para ser reconhecida uma denominação de origem as características dos seus vinhos devem ser relacionadas com as condicionantes do seu meio geográfico (rocha, relevo, solo, clima e saber-fazer). Neste contexto, o objetivo do presente trabalho foi detalhar o *terroir* de São Joaquim através da análise integrada dos fatores geológico, fisiográfico, pedológico, meteorológico e vitícola para identificar suas diferentes sub-unidades de *terroir*, delimitar suas sub-regiões vitivinícolas e sugerir uma denominação de origem para os vinhos do município. Além disso, buscou-se avaliar a aplicabilidade das razões dos isótopos de estrôncio como traçador de origem para seus vinhos. O *terroir* de São Joaquim pode ser caracterizado por uma viticultura jovem (e ainda experimental) capaz de produzir vinhos com acidez marcante que são elaborados com uvas de variedades europeias cultivadas em vinhedos com solos de textura muito argilosa a argilosa, com fase pedregosa, geralmente distróficos e com pH ácido em encostas de relevo acidentado (do tipo forte ondulado), que são formados pelo intemperismo de rochas vulcânicas de composição basáltica a dacítica, em um clima considerado frio e úmido para os padrões nacionais. A acidez dos vinhos de São Joaquim está relacionada com as baixas temperaturas do município que por sua vez estão relacionadas com sua altitude. As quatro sub-regiões vitivinícolas delimitadas no município devem ser analisadas com maior detalhe para verificar se alguma propriedade (corpo, tanino, álcool, aroma, entre outros) dos vinhos nelas produzidos pode ser associada ao seu *terroir*. Os dados das razões ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr dos vinhos de São Joaquim permitiu distinguir os vinhos produzidos nas sub-regiões vitivinícolas do município dos vinhos produzidos em outras regiões vitícolas do país.

PALAVRAS-CHAVE: VITICULTURA, SERRA CATARINENSE, DENOMINAÇÃO DE ORIGEM, ISÓTOPOS DE ESTRÔNCIO, VINHOS FINOS.

ABSTRACT

In 2021, the *Indicação de Procedência Vinhos de Altitude de Santa Catarina* was recognized for the production of fine, noble, liqueur, sparkling wines and brandy (wine distillate) in an area covering 19,676 km² and 29 municipalities in the state of Santa Catarina. Among these, the main producer of wines made with grapes of European varieties (*Vitis vinifera*) is São Joaquim, which is located in Serra Catarinense, with 25 wine properties, 268 vineyards that occupy a total area of 138.19 ha and with the capacity to produce approximately 973,700 L of wine per harvest (~52% of the total production of the indication of origin). The municipality has enormous potential for the recognition of a designation of origin for its wines as it is one of the highest and coldest wine-growing regions in the country, but in order to be recognized as a designation of origin the characteristics of its wines must be related to the conditions of the its geographic environment (rock, relief, soil, climate and know-how). In this context, the objective of the present work was to detail the *terroir* of São Joaquim through the integrated analysis of geological, physiographic, pedological, meteorological and viticultural factors to identify its different *terroir* sub-units, delimit its viticultural sub-regions and suggest a denomination of origin for the wines of the municipality. Furthermore, we sought to evaluate the applicability of strontium isotope ratios as a tracer of origin for its wines. The *terroir* of São Joaquim can be characterized by a young (and still experimental) viticulture capable of producing wines with marked acidity that are made with grapes of European varieties grown in vineyards with soils with a very clayey to clayey texture, with a stony phase, generally dystrophic and with an acidic pH on slopes with rugged relief (strongly wavy type), which are formed by the weathering of volcanic rocks of basaltic to dacitic composition, in a climate considered cold and humid for national standards. The acidity of the wines in São Joaquim is related to the low temperatures of the municipality, which in turn are related to its altitude. The four viticultural sub-regions delimited in the municipality must be analyzed in greater detail to verify whether any properties (body, tannin, alcohol, aroma, among others) of the wines produced in them can be associated with their sub-unit of *terroir*. The data on the ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr ratios of the wine from São Joaquim made it possible to distinguish the wines produced in the viticultural sub-regions of the municipality from the wines produced in other wine-growing regions of the country.

KEY-WORDS: VITICULTURE, SERRA CATARINENSE, DESIGNATION OF ORIGIN, STRONTIUM ISOTOPES, FINE WINES.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. PERFIS SENSORIAIS DOS VINHOS RIESLING PRODUZIDOS A PARTIR DE UVAS CULTIVADAS PELA MESMA VINÍCOLA EM VINHEDOS COM DIFERENTES TIPOS DE ROCHA E COM CERCA DE 2 KM DE DISTÂNCIA ENTRE ELES.	22
FIGURA 2. INFLUÊNCIA DA ORIENTAÇÃO DA ENCOSTA NA EXPOSIÇÃO SOLAR DE UM VINHEDO NO MUNICÍPIO DE SUMMERLAND (CANADÁ). NA ESQUERDA UM VINHEDO VOLTADO EM DIREÇÃO OPOSTA AO SOL AINDA COM NEVE, ENQUANTO NA DIREITA EM UMA ENCOSTA VOLTADA EM DIREÇÃO AO SOL HÁ UM VINHEDO QUASE SEM OU COM POUCA NEVE (FOTOGRAFIA TIRADA EM FEVEREIRO DE 2016).....	23
FIGURA 3. DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES DE ACORDO COM PH DO SOLO.	25
FIGURA 4. ILUSTRAÇÃO DOS PRINCIPAIS SISTEMAS DE CONDUÇÃO DE VIDEIRAS: (A) LATADA E (B) ESPALDEIRA.	28
FIGURA 5. ILUSTRAÇÃO DAS PRINCIPAIS PARTES DA VIDEIRA (RAÍZES, TRONCO, BRAÇO, FOLHA, CACHO E GAVINHA).	29
FIGURA 6. EXEMPLAR DA ESPÉCIE <i>INDOVITIS CHITALEYAE</i> EM SEÇÃO TRANSVERSAL (BARRA DE ESCALA = 1 MM).	30
FIGURA 7. MAPA DE LOCALIZAÇÃO DO ANTIGO, VELHO E NOVO MUNDO.	31
FIGURA 8. MAPA COM OS PRINCIPAIS PAÍSES PRODUTORES DE UVA DO MUNDO COM A PROPORÇÃO DO TIPO DE UVA PRODUZIDA. FONTE: ADAPTADO DE OIV (2019).....	32
FIGURA 9. MAPA COM A DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DOS TRÊS TIPOS DE VITICULTURA NO BRASIL.....	33
FIGURA 10. MAPA DE DELIMITAÇÃO DA ÁREA DA INDICAÇÃO DE PROCEDÊNCIA VINHOS DE ALTITUDE DE SANTA CATARINA DE ACORDO COM PARECER Nº 001/2021 DE 03 DE MAIO DE 2021 DA SECRETARIA DE ESTADO DA AGRICULTURA, DA PESCA E DO DESENVOLVIMENTO RURAL DO ESTADO DE SANTA CATARINA.....	36
FIGURA 11. MAPA DE LOCALIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE SÃO JOAQUIM, ESTADO DE SANTA CATARINA, BRASIL.	39
FIGURA 12. EXEMPLO DE VINHEDOS PLANTADOS EM ÁREAS DE ALTITUDE (> 900 M) COM ENCOSTAS DE BAIXA DECLIVIDADE (FRENTE DA FOTOGRAFIA) E ALTA DECLIVIDADE (FUNDO DA FOTOGRAFIA) (VINÍCOLA VILLA FRANCONI).....	40
FIGURA 13. MAPA DE LOCALIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE SÃO JOAQUIM, ESTADO DE SANTA CATARINA.....	46
FIGURA 14. MAPA GEOLÓGICO DO MUNICÍPIO DE SÃO JOAQUIM.....	47
FIGURA 15. CLASSIFICAÇÃO GEOQUÍMICA DAS AMOSTRAS DA FORMAÇÃO VALE DO SOL (EM PRETO AS BAIXO-TITÂNIO E EM VERDE AS ALTO-TITÂNIO) E DA FORMAÇÃO PALMAS (EM AMARELO) NO DIAGRAMA TAS (TOTAL ÁLCALIS X SÍLICA) DE LE BAS ET AL. (1986).....	48
FIGURA 16. FEIÇÕES GEOLÓGICAS DAS UNIDADES VULCÂNICAS DO GRUPO SERRA GERAL EM SÃO JOAQUIM. FORMAÇÃO VALE DO SOL: DERRAMES DE (A) TRAQUI-ANDESITO-BASÁLTICAS DO MAGMA-TIPO URUBICI E (B) ANDESITO-BASÁLTICAS DO MAGMA-TIPO GRAMADO, E (C) DERRAME DE DACITO DA FORMAÇÃO PALMAS. COMO ESCALA: (A) PESSOA DE 175 CM E (B, C) MARRETA DE 40 CM.	50
FIGURA 17. FOTOMICROGRAFIA DAS PRINCIPAIS ROCHAS DO MUNICÍPIO DE SÃO JOAQUIM: ANDESITO BASÁLTICO DO MAGMA-TIPO URUBICI (A – EM LUZ PLANO POLARIZADA, B – NICÓIS CRUZADOS), ANDESITO BASÁLTICO DO MAGMA-TIPO GRAMADO (C – EM LUZ PLANO POLARIZADA, D – EM NICÓIS CRUZADOS) E DACITO DO MAGMA-TIPO PALMAS (E – EM LUZ PLANO POLARIZADA, E – EM LUZ NICÓIS CRUZADOS).	51
FIGURA 18. MAPA DAS UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS DO MUNICÍPIO DE SÃO JOAQUIM.	52
FIGURA 19. EXEMPLO DE DISSECAMENTO NA UNIDADE GEOMORFOLÓGICA PLANALTO DOS CAMPOS GERAIS. FOTOGRAFIA TIRADA COM DRONE PRÓXIMO À VINÍCOLA BOUTIQUE D'ALTURE.....	53
FIGURA 20. EXEMPLO DE DISSECAMENTO NA UNIDADE GEOMORFOLÓGICA PLANALTO DISSECADO RIO URUGUAI.....	53
FIGURA 21. MAPA DE DECLIVIDADE DAS ENCOSTAS DO MUNICÍPIO DE SÃO JOAQUIM.....	54
FIGURA 22. BLOCOS 3D DAS UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS (A) PLANALTO DOS CAMPOS GERAIS E (B) PLANALTO DISSECADO RIO URUGUAI CLASSIFICADAS DE ACORDO COM AS CLASSES DE RELEVO DE EMBRAPA (2018).	55
FIGURA 23. MAPA DE ALTITUDE DO MUNICÍPIO DE SÃO JOAQUIM.	55

FIGURA 24. VINHEDOS DA VINÍCOLA HIRAGAMI, UM DOS MAIS ALTOS DO MUNICÍPIO (> 1.400 M DE ALTITUDE).	56
FIGURA 25. MAPA DE ORIENTAÇÃO DAS ENCOSTAS DO MUNICÍPIO DE SÃO JOAQUIM.	57
FIGURA 26. MAPA PEDOLÓGICO DO MUNICÍPIO DE SÃO JOAQUIM.	58
FIGURA 27. ENCOSTA COM BLOCOS DE ROCHAS AFLORANDO NA SUPERFÍCIE (FASE PEDREGOSA) EM SÃO JOAQUIM.	60
FIGURA 28. CAMBISSOLO HÁPLICO Tb ALUMÍNICO TÍPICO: (A) IMAGEM 3D DO GOOGLE EARTH, (B) LOCALIZAÇÃO NA PAISAGEM E (C) PERFIL DE SOLO.	61
FIGURA 29. NEOSSOLO LITÓLICO HÚMICO TÍPICO: (A) IMAGEM 3D DO GOOGLE EARTH, (B) LOCALIZAÇÃO NA PAISAGEM E (C) PERFIL DE SOLO.	63
FIGURA 30. NITOSSOLO BRUNO DISTRÓFICO HÚMICO: (A) IMAGEM 3D DO GOOGLE EARTH, (B) LOCALIZAÇÃO NA PAISAGEM E (C) PERFIL DE SOLO.	65
FIGURA 31. ORGANOSSOLO FÓLICO SÁPRICO LÍTICO: (A) IMAGEM 3D DO GOOGLE EARTH, (B) LOCALIZAÇÃO NA PAISAGEM E (C) PERFIL DE SOLO.	67
FIGURA 32. MAPA DE TEMPERATURA MÉDIA ANUAL (°C) DO MUNICÍPIO DE SÃO JOAQUIM.	68
FIGURA 33. SÉRIE HISTÓRICA (1970 – 2000) DA TEMPERATURA MÉDIA MENSAL (H) DO MUNICÍPIO DE SÃO JOAQUIM. FONTE: ELABORADO PELO AUTOR COM DADOS DE FICK & HIJMANS (2017).	69
FIGURA 34. MAPA DE PRECIPITAÇÃO MÉDIA TOTAL ANUAL (MM) DO MUNICÍPIO DE SÃO JOAQUIM.	70
FIGURA 35. SÉRIE HISTÓRICA (1970 – 2000) DA PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL (MM) DO MUNICÍPIO DE SÃO JOAQUIM. FONTE: ELABORADO PELO AUTOR COM DADOS DE FICK & HIJMANS (2017).	71
FIGURA 36. MAPA DE RADIAÇÃO SOLAR MÉDIA TOTAL ANUAL (H) DO MUNICÍPIO DE SÃO JOAQUIM.	72
FIGURA 37. SÉRIE HISTÓRICA (1970 – 2000) DA RADIAÇÃO SOLAR MÉDIA MENSAL (H) DO MUNICÍPIO DE SÃO JOAQUIM. FONTE: ELABORADO PELO AUTOR COM DADOS DE FICK & HIJMANS (2017).	73
FIGURA 38. MAPA DOS CLIMAS VITÍCOLAS DO MUNICÍPIO DE SÃO JOAQUIM DE ACORDO COM O SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA MULTICRITÉRIO GEOVITÍCOLA (TONIETTO & CARBONNEAU, 2004).	74
FIGURA 39. MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES VITIVINÍCOLAS DO MUNICÍPIO DE SÃO JOAQUIM: 1. BOUTIQUE D'ALTURE, 2. FATTORIA SÃO JOAQUIM, 3. FAZENDA COLÉGIO, 4. HIRAGAMI, 5. INSOLITO, 6. LEONE DI VENEZIA, 7. MARCELINO KIOSHI, 8. MONTE AGUDO, 9. MORRO DO ESPIA, 10. PERICÓ, 11. PICCOLA FATTORIA, 12. QUINTA DA NEVE, 13. QUINTA DAS ARAUCÁRIAS, 14. SANJO, 15. SANTO ONOFRE, 16. SÃO SEBASTIÃO, 17. SERRINHA, 18. SUZIN, 19. TENUTA BERGAMASCHI, 20. VILLA FRANCONI, 21. VILLAGGIO Basettti, 22. VILLAGGIO CONTI, 23. VIVALTI, 24. ZAGA COSTA E 25. ZANELLA BACK. FONTE: ELABORADO PELO AUTOR COM DADOS DE EPAGRI (2019) E DO PRESENTE TRABALHO.	75
FIGURA 40. EXEMPLOS DE VINHOS VULCÂNICOS PRODUZIDOS AO REDOR DO MUNDO.	77
FIGURA 41. EXEMPLOS DE VINHOS DE ALTITUDE PRODUZIDOS AO REDOR DO MUNDO.	78
FIGURA 42. ENCOSTA DE MAIOR DECLIVIDADE COM VINHEDO DA VINÍCOLA VILLAGGIO BASSETTI EM SÃO JOAQUIM.	79
FIGURA 43. TERRACEAMENTO DE VINHEDO DA VINÍCOLA VILLAGGIO BASSETTI EM SÃO JOAQUIM.	80
FIGURA 44. CACHOS DE SAUVIGNON BLANC EM VINHEDO DA VINÍCOLA VILLAGGIO BASSETTI EM SÃO JOAQUIM.	85
FIGURA 45. COMPARAÇÃO ENTRE OS MAPAS (A) GEOLÓGICO E (B) GEOMORFOLÓGICO DE SÃO JOAQUIM.	86
FIGURA 46. CONTATO ESTIMADO (LINHA VERMELHA TRACEJADA) ENTRE UNIDADES GEOLÓGICAS E GEOMORFOLÓGICAS.	87
FIGURA 47. COMPARAÇÃO ENTRE GRAU DE INTEMPERISMO ENTRE ROCHAS VULCÂNICAS DA: (A) FORMAÇÃO PALMAS (MENOR INTEMPERISMO = MENOR DISSECAMENTO) E (B) FORMAÇÃO VALE DO SOL (MAIOR INTEMPERISMO = MAIOR DISSECAMENTO).	87
FIGURA 48. COMPARAÇÃO ENTRE OS MAPAS (A) GEOLÓGICO E (B) PEDOLÓGICO DE SÃO JOAQUIM.	88
FIGURA 49. EXEMPLO: (A) NEOSSOLO DA UNIDADE PEDOLÓGICA CH18 (CAMBISSOLOS HÚMICOS Tb DISTRÓFICOS + NEOSSOLOS LITÓLICOS DISTRÓFICOS) E (B) NITOSSOLO DA UNIDADE PEDOLÓGICA RL21 (NEOSSOLOS LITÓLICOS DISTRÓFICOS + CAMBISSOLOS HÁPLICOS Tb + NITOSSOLOS BRUNOS DISTRÓFICOS).	89

FIGURA 50. COMPARAÇÃO ENTRE GRAU DE DESENVOLVIMENTO ENTRE SOLOS FORMADOS PELO INTEMPERISMO DAS ROCHAS VULCÂNICAS DA: (A) FORMAÇÃO PALMAS (MENOR INTEMPERISMO = MENOR DESENVOLVIMENTO) E (B) FORMAÇÃO VALE DO SOL (MAIOR INTEMPERISMO = MAIOR DESENVOLVIMENTO).....	89
FIGURA 51. COMPARAÇÃO ENTRE OS MAPAS (A) GEOMORFOLÓGICO E (B) PEDOLÓGICO DE SÃO JOAQUIM. ..	92
FIGURA 52. MODELO 3D DE PARTE DA UNIDADE GEOMORFOLÓGICA PLANALTO DOS CAMPOS GERAIS COM LOCALIZAÇÃO DOS PERFIS DE SOLO ANALISADOS PRÓXIMOS DA VINÍCOLA BOUTIQUE D'ALTURE.	93
FIGURA 53. MODELO 3D DE PARTE DA UNIDADE GEOMORFOLÓGICA PLANALTO DOS CAMPOS GERAIS COM LOCALIZAÇÃO DOS PERFIS DE SOLO ANALISADOS PRÓXIMOS DA VINÍCOLA VILLAGGIO BASSETTI.	93
FIGURA 54. EXEMPLO (A) DA PAISAGEM E (B) DE UM PERFIL DA CLASSE DOS NESSOLOS FORMADO NO TERÇO SUPERIOR PRÓXIMO AO TOPO DA ENCOSTA (SETA CINZA) NO MUNICÍPIO DE SÃO JOAQUIM.	94
FIGURA 55. EXEMPLO (A) DA PAISAGEM E (B) DE UM PERFIL DA CLASSE DOS CAMBISSOLOS FORMADO NO TERÇO MÉDIO DA ENCOSTA (SETA AMARELA) NO MUNICÍPIO DE SÃO JOAQUIM.....	94
FIGURA 56. EXEMPLO (A) DA PAISAGEM E (B) DE UM PERFIL DA CLASSE DOS NITOSSOLOS FORMADO NO TERÇO MÉDIO PRÓXIMO A BASE DA ENCOSTA (SETA VERMELHA) NO MUNICÍPIO DE SÃO JOAQUIM.	94
FIGURA 57. COMPARAÇÃO ENTRE OS MAPAS (A) DE ALTITUDE E (B) DE TEMPERATURA DE SÃO JOAQUIM.	95
FIGURA 58. INFLUÊNCIA DA ALTITUDE NA TEMPERATURA E PRECIPITAÇÃO DE ALGUMAS VINÍCOLAS DE SÃO JOAQUIM.	96
FIGURA 59. MAPA DE ALTITUDE DE SÃO JOAQUIM COM DESTAQUE PARA O INTERVALO ENTRE 1.100 E 1.500 M (EM AMARELO) ONDE ESTÃO LOCALIZADAS AS PROPRIEDADES VITIVINÍCOLAS: 1. BOUTIQUE D'ALTURE, 2. FATTORIA SÃO JOAQUIM, 3. FAZENDA COLÉGIO, 4. HIRAGAMI, 5. INSOLITO, 6. LEONE DI VENEZIA, 7. MARCELINO KIOSHI, 8. MONTE AGUDO, 9. MORRO DO ESPIA, 10. PERICÓ, 11. PICCOLA FATTORIA, 12. QUINTA DA NEVE, 13. QUINTA DAS ARAUCÁRIAS, 14. SANJO, 15. SANTO ONOFRE, 16. SÃO SEBASTIÃO, 17. SERRINHA, 18. SUZIN, 19. TENUTA BERGAMASCHI, 20. VILLA FRANCONI, 21. VILLAGGIO BASSETTI, 22. VILLAGGIO CONTI, 23. VIVALTI, 24. ZAGA COSTA E 25. ZANELLA BACK. FONTE: ELABORADO PELO AUTOR COM DADOS DE EPAGRI (2019), SDE (2013) E DO PRESENTE TRABALHO.....	98
FIGURA 60. MAPA DAS SUB-UNIDADE DE <i>TERROIR</i> DO MUNICÍPIO DE SÃO JOAQUIM COM LOCALIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES VITIVINÍCOLAS: 1. BOUTIQUE D'ALTURE, 2. FATTORIA SÃO JOAQUIM, 3. FAZENDA COLÉGIO, 4. HIRAGAMI, 5. INSOLITO, 6. LEONE DI VENEZIA, 7. MARCELINO KIOSHI, 8. MONTE AGUDO, 9. MORRO DO ESPIA, 10. PERICÓ, 11. PICCOLA FATTORIA, 12. QUINTA DA NEVE, 13. QUINTA DAS ARAUCÁRIAS, 14. SANJO, 15. SANTO ONOFRE, 16. SÃO SEBASTIÃO, 17. SERRINHA, 18. SUZIN, 19. TENUTA BERGAMASCHI, 20. VILLA FRANCONI, 21. VILLAGGIO BASSETTI, 22. VILLAGGIO CONTI, 23. VIVALTI, 24. ZAGA COSTA E 25. ZANELLA BACK. FONTE: ELABORADO PELO AUTOR COM DADOS DE CPRM (2022), EMBRAPA (2004), FICK & HIJMANS (2017), EPAGRI (2019) E DO PRESENTE TRABALHO.....	101
FIGURA 61. MAPA COM PROPOSTAS DAS SUB-REGIÕES VITIVINÍCOLAS DE SÃO JOAQUIM.	102
FIGURA 62. CORRELAÇÃO ENTRE AS RAZÕES DE ⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr DOS VINHOS E DAS ROCHAS DE SÃO JOAQUIM..	103
FIGURA 63. CAPA DO LIVRO GUIA DE CAMPO DA EXCURSÃO PEDOLÓGICA. DA ROCHA À GARRAFA: GEOLOGIA, SOLOS E VINHOS. DISPONÍVEL EM: HTTPS://REPOSITORIO.UFSC.BR/HANDLE/123456789/251240	118
FIGURA 64. CAPA DO CAPÍTULO SOLOS DA SERRA CATARINENSE DO LIVRO COMPÊNDIO DE SOLO DO BRASIL. DISPONÍVEL EM: HTTPS://WWW.SBCS-NRS.ORG.BR/DOCS/2024_LIVRO_COMPEDIO_DE_SOLOS.PDF	119
FIGURA 65. COMPROVANTE DE SUBMISSÃO DO MANUSCRITO DO ARTIGO AO CATENA.	120

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. CLASSE DE CLIMA VITÍCOLA COM O INTERVALO DE VALORES PARA CADA ÍNDICE.....	27
TABELA 2. DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS UNIDADES GEOLÓGICAS NO MUNICÍPIO.....	47
TABELA 3. VALORES MÍNIMOS, MÁXIMOS E MÉDIOS DOS ELEMENTOS MAIORES E TRAÇOS DOS DADOS COMPILADOS DE AMOSTRAS DE ROCHAS DO GRUPO SERRA GERAL NO MUNICÍPIO DE SÃO JOAQUIM.	49
TABELA 4. DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS NO MUNICÍPIO.....	52
TABELA 5. DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS CLASSES DE DECLIVIDADE (%) NO MUNICÍPIO.....	54
TABELA 6. DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS INTERVALOS DE ALTITUDE (M) NO MUNICÍPIO.....	56
TABELA 7. DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS INTERVALOS DE ORIENTAÇÃO DAS ENCOSTAS (º) NO MUNICÍPIO.....	57
TABELA 8. DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS ASSOCIAÇÕES DE SOLOS NO MUNICÍPIO.....	59
TABELA 9. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DOS SOLOS DE SÃO JOAQUIM.....	59
TABELA 10. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DOS SOLOS DE SÃO JOAQUIM.....	60
TABELA 11. DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA DO PERFIL DE SOLO CAMBISSOLO HÁPLICO Tb ALUMÍNICO TÍPICO. ...	61
TABELA 12. DADOS DAS ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS DO CAMBISSOLO HÁPLICO Tb ALUMÍNICO TÍPICO.....	62
TABELA 13. DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA DO PERFIL DE SOLO NEOSSOLO LITÓLICO HÚMICO TÍPICO.	63
TABELA 14. DADOS DAS ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS DO NEOSSOLO LITÓLICO HÚMICO TÍPICO.....	64
TABELA 15. DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA DO PERFIL DE SOLO NITOSSOLO BRUNO DISTRÓFICO HÚMICO.	65
TABELA 16. DADOS DAS ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS DO NITOSSOLO BRUNO DISTRÓFICO HÚMICO.	66
TABELA 17. DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA DO PERFIL DE SOLO NEOSSOLO LITÓLICO HÚMICO TÍPICO.	67
TABELA 18. DADOS DAS ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS DO NEOSSOLO LITÓLICO HÚMICO TÍPICO.....	67
TABELA 19. DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA TEMPERATURA MÉDIA ANUAL (°C) NO MUNICÍPIO.....	68
TABELA 20. DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA PRECIPITAÇÃO MÉDIA TOTAL ANUAL (MM) NO MUNICÍPIO.....	70
TABELA 21. DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA RADIAÇÃO SOLAR MÉDIA TOTAL ANUAL (H) NO MUNICÍPIO.	72
TABELA 22. DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS CLIMAS VITÍCOLAS NO MUNICÍPIO DE SÃO JOAQUIM.....	74
TABELA 23. COMPARAÇÃO DO PERÍODO VEGETATIVO DA SAFRA DE 2020 COM AS MÉDIAS DE SÃO JOAQUIM.	83
TABELA 24. COMPARAÇÃO ENTRE OS DADOS DO CADASTRO VITÍCOLA 2013 E 2019 DO MUNICÍPIO DE SÃO JOAQUIM.	84
TABELA 25. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DOS SOLOS NA FORMAÇÃO PALMAS.	90
TABELA 26. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DOS SOLOS NA FORMAÇÃO VALE DO SOL.....	90
TABELA 27. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DOS SOLOS NA FORMAÇÃO PALMAS.....	91
TABELA 28. CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DOS SOLOS NA FORMAÇÃO VALE DO SOL.....	91
TABELA 29. VALORES ATRIBUÍDOS AOS <i>PIXELS</i> DOS FATORES GEOLÓGICO, PEDOLÓGICO E METEOROLÓGICO PARA REALIZAÇÃO DA ANÁLISE MULTIFATORIAL ATRAVÉS DO SOMATÓRIO DOS ARQUIVOS EM FORMATO <i>RASTER</i>	99
TABELA 30. CÓDIGOS, ELEMENTOS E ÁREAS DAS SUB-UNIDADES DE <i>TERROIR</i> DE SÃO JOAQUIM.....	100
TABELA 31. CÓDIGOS, ELEMENTOS E REGIÃO DAS PRINCIPAIS SUB-REGIÕES VITIVÍNICOLAS DE SÃO JOAQUIM.	102
TABELA 32. DADOS DAS ANÁLISES GEOQUÍMICAS DAS AMOSTRAS DE ROCHA DE SÃO JOAQUIM.....	147
TABELA 33. DADOS DAS ANÁLISES PEDOFÍSICOQUÍMICAS DAS AMOSTRAS DE SOLO DE SÃO JOAQUIM.....	149

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	18
2. HIPÓTESE	19
3. OBJETIVOS	19
3.1 OBJETIVO GERAL	19
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
4. JUSTIFICATIVA	19
5. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
5.1 <i>TERROIR</i>	20
5.1.1 Fator Geológico	21
5.1.2 Fator Fisiográfico	22
5.1.2.1 Altitude	22
5.1.2.2 Orientação	22
5.1.2.3 Declividade	23
5.1.3 Fator Pedológico	23
5.1.3.1 Profundidade do Solo	23
5.1.3.2 Textura do Solo	24
5.1.3.3 Matéria Orgânica do Solo	24
5.1.3.4 pH do Solo	24
5.1.4 Fator Meteorológico	25
5.1.4.1 Temperatura	25
5.1.4.2 Precipitação	26
5.1.4.3 Radiação Solar	26
5.1.4.4 Sistema CCM Geovítica	26
5.1.5 Fator Vitícola	27
5.2 VITIVINICULTURA	28
5.2.1 Viticultura	28
5.2.2 Vinicultura	30
5.2.3 Panorama	31
5.2.3.1 No Mundo	31
5.2.3.2 No Brasil	32
5.2.3.3 Em Santa Catarina	33
5.3 INDICAÇÃO GEOGRÁFICA	34
5.3.1 Em Santa Catarina	35
5.3.1.1 Indicação de Procedência Vinhos de Altitude de Santa Catarina	35
5.4 TRAÇADOR ISOTÓPICO	37
5.3.1 Isótopos de Estrôncio (⁸⁷Sr/⁸⁶Sr)	37
5.5 SÃO JOAQUIM	38
6. MATERIAIS E MÉTODOS	41
6.1 BASE CARTOGRÁFICA	41
6.2 FATOR GEOLÓGICO	42
6.3 FATOR FISIOLÓGICO	42
6.4 FATOR PEDOLÓGICO	43
6.5 FATOR METEOROLÓGICO	44
6.6 FATOR VITÍCOLA	44
6.7 INTEGRAÇÃO DOS FATORES	45
6.7.1 Sub-unidades de Terroir	45

6.7.2 Isótopos de Estrôncio ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)	45
7. RESULTADOS	46
7.1 ÁREA DE ESTUDO	46
7.2 FATOR GEOLÓGICO	47
7.3 FATOR FISIAGRÁFICO	51
7.3.1 Geomorfologia	51
7.3.2 Declividade	54
7.3.3 Altitude	55
7.3.4 Orientação	57
7.4 FATOR PEDOLÓGICO	58
7.5 FATOR METEOROLÓGICO	68
7.5.1 Temperatura	68
7.5.2 Precipitação	69
7.5.3 Radiação Solar	71
7.5.4 Sistema CCM Geovítica	73
7.6 FATOR VITÍCOLA	74
8. DISCUSSÕES	76
8.1 FATOR GEOLÓGICO	76
8.2 FATOR FISIAGRÁFICO	77
8.3 FATOR PEDOLÓGICO	80
8.4 FATOR METEOROLÓGICO	82
8.4.1 Temperatura	82
8.4.2 Precipitação	82
8.4.3 Radiação Solar	82
8.4.4 2020: o ano da safra das safras	83
8.5 FATOR VITÍCOLA	83
9. CORRELAÇÕES	86
9.2 FATORES GEOLÓGICO E FISIAGRÁFICO	86
9.2 FATORES GEOLÓGICO E PEDOLÓGICO	88
9.3 FATORES FISIAGRÁFICO E PEDOLÓGICO	91
9.4 FATORES FISIAGRÁFICO E METEOROLÓGICO	95
10. INTEGRAÇÃO	96
10.1 DENOMINAÇÃO DE ORIGEM	96
10.2 SUB-UNIDADES DE <i>TERROIR</i>	98
10.3 SUB-REGIÕES VITIVINÍCOLAS	102
10.3.1 Isótopos de Estrôncio ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)	103
11. CONCLUSÕES	104
11.1 <i>TERROIR</i> DE SÃO JOAQUIM	104
11.2 SUB-UNIDADES DE <i>TERROIR</i> E SUB-REGIÕES VITIVINÍCOLAS	104
11.3 ISÓTOPOS DE ESTRÔNCIO	105
12. CONSIDERAÇÕES	105
12.1 TEMPERATURA	105
12.2 PRECIPITAÇÃO	105
12.3 FUTUROS TRABALHOS	105

13. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	106
ANEXO 1 – TRABALHO (LIVRO PUBLICADO)	118
ANEXO 2 – TRABALHO (CAPÍTULO PUBLICADO).....	119
ANEXO 3 – TRABALHO (ARTIGO SUBMETIDO)	120
ANEXO 4 – ANÁLISES GEOQUÍMICAS	147
ANEXO 5 – ANÁLISES PEDOFÍSICOQUÍMICAS	149

1. INTRODUÇÃO

O *terroir* é um termo francês sem tradução literal, mas com muitos significados. De maneira geral, ele pode ser descrito como uma interação complexa entre diferentes fatores que influenciam no cultivo das uvas (viticultura) e na elaboração dos vinhos (vinicultura) de um determinado território. Esse termo foi cunhado no século XIV por monges beneditinos e cistercienses que desenvolveram uma viticultura de qualidade ao longo da Costa do Ouro, na região da Borgonha (França) (WILSON, 2001). Mas hoje em dia ele pode ser aplicado para outras bebidas como, por exemplo: cerveja, whisky, vodka e tequila; e para outras culturas como, por exemplo: café, banana, maçã e erva-mate. O *terroir* se tornou uma percepção do entorno, de tudo aquilo envolvido na geração de um produto típico de uma região. É o “gosto do lugar”.

A associação de um produto com seu local de origem é algo bem antigo. No século VII a.C., os gregos já utilizavam denominações geográficas para identificar os vinhos de melhor qualidade. As ânforas (vasos antigos de forma geralmente ovoides e possuidoras de duas alças, usados para armazenar líquidos - especialmente o vinho) eram inscritas com o nome da localidade e do produtor, como um mecanismo para certificar a origem do produto (INAO, 2005). Hoje em dia, essa identificação é realizada através das indicações geográficas que têm como objetivo principal, como o próprio nome diz, “indicar a geografia”, ou seja, o local de procedência daquele produto. Além disso, as indicações geográficas servem para proteger seus produtos contra falsificações, aumentar sua competitividade no mercado, garantir sua procedência e comprovar sua qualidade; o que se torna vantajoso tanto para os produtores quanto para os consumidores. Uma das maneiras de elucidar a procedência dos vinhos é através de traçadores isotópicos, como por exemplo, as razões dos isótopos de estrôncio que servem como indicador de origem e vem sendo amplamente aplicadas em estudos deste tipo (VINCIGUERRA et al. 2016; GUIBOURDENCHE et al. 2020; BRASCHI et al. 2018; EPOVA et al., 2019; ALMEIDA, 2021; ALMEIDA et al., 2023).

Em Santa Catarina, os vinhos de altitude fazem parte da Indicação de Procedência Vinhos de Altitude de Santa Catarina, uma das regiões vitivinícolas mais alta e fria do país, que foi reconhecida em 2021 pelo Instituto Nacional da Propriedade Industrial e está representada pela associação Vinhos de Altitude - Produtores & Associados. Esta indicação de procedência tem como objetivo proteger o nome geográfico “vinhos de altitude de Santa Catarina” e os seus produtos. Para fazer parte dessa indicação geográfica, onde são produzidos vinhos finos, nobres, licorosos, espumantes - além do *brandy* (destilado de vinho), os produtores podem cultivar apenas as 27 variedades de uvas europeias (*Vitis vinífera*) autorizadas em vinhedos com altitudes superiores a 840 metros e que estejam dentro da área delimitada, seguindo as regras do Caderno de Especificações Técnicas da Indicação de Procedência Vinhos de Altitude de Santa Catarina (INPI, 2021). O município de São Joaquim faz parte dos 29 municípios catarinenses inseridos nessa indicação geográfica, mas as características únicas do seu *terroir*, como aquelas relacionadas com sua fisiografia (altitude) e meteorologia (temperatura) - além de outras - podem conferir tipicidade aos vinhos produzidos em seu território e possibilitar o reconhecimento de uma denominação de origem na região.

2. HIPÓTESE

É possível, através de uma análise integrada dos fatores geológico, fisiográfico, pedológico, meteorológico e vitícola, detalhar o *terroir* de São Joaquim para sugerir uma denominação de origem no município e delimitar suas diferentes sub-regiões vitivinícolas através da identificação de sub-unidades de *terroir*.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Detalhar o *terroir* de São Joaquim através da análise integrada dos fatores geológico, fisiográfico, pedológico, meteorológico e vitícola em um sistema de informações geográficas para identificar suas diferentes sub-unidades de *terroir*, delimitar suas sub-regiões vitivinícolas e sugerir uma denominação de origem para os vinhos do município.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a influência dos diferentes tipos de rochas de São Joaquim na formação dos diferentes tipos de relevos e solos do município.
- Avaliar a influência dos diferentes tipos de relevos de São Joaquim na formação dos diferentes tipos de solos e nas condições meteorológicas do município.
- Delimitar diferentes sub-regiões vitivinícolas em São Joaquim com base nas características distintas das suas sub-unidades de *terroir*.
- Avaliar a aplicabilidade das razões dos isótopos de estrôncio ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) como traçador de origem para os vinhos do município.
- Sugerir uma área para denominação de origem dos vinhos de São Joaquim com base nas características em comum do seu *terroir*.

4. JUSTIFICATIVA

O município de São Joaquim é o maior produtor catarinense de uvas europeias (*Vitis vinifera*) com uma produção de 540 toneladas na safra 2017/2018 (INFOAGRO/SC, 2021), mas possui um dos menores Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM = 0,687) (IBGE, 2020) em uma das maiores áreas territoriais (1.887,25 km² de extensão) (SDE, 2013) do estado de Santa Catarina. A produção vitivinícola vem ganhando destaque nacional e internacional, sobretudo com a obtenção da

Indicação de Procedência Vinhos de Altitude de Santa Catarina (INPI, 2021). Contudo, para a obtenção de outro importante reconhecimento para seus vinhos, como uma denominação de origem, estudos integradores que permitam o detalhamento e melhor compreensão do *terroir* do município de São Joaquim são indispensáveis.

O detalhamento dos fatores que compõem o *terroir* de uma região vitivinícola pode contribuir no direcionamento dos produtores para um cultivo voltado para delinear a identidade do local ou para produzir um tipo específico de produto em um vinhedo compatível com seu contexto. Além disso, a divulgação dos dados obtidos sobre o *terroir* da região através de roteiros turísticos pode potencializar o turismo de base científica, o que permite não apenas o fomento da divulgação dos produtos, mas também o desenvolvimento de uma rede econômica local para o desenvolvimento destas atividades, bem como o empoderamento da população local sobre o seu território.

Neste cenário, o detalhamento do *terroir* de São Joaquim potencializa a economia local tanto de produtores e moradores da região, como também permite a compreensão de consumidores e turistas sobre toda a cadeia de produção vitivinícola, considerando não apenas as práticas de cultivo e elaboração do vinho, mas todo o meio que faz desta região única.

5. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

5.1 TERROIR

A palavra *terroir* vem do latim *territorium* (território em português), mas significa muito mais do que apenas um lugar (COMITÉ CHAMPAGNE, 2023). Um dos registros mais antigos da sua definição está no *Dictionnaire Universel de Antoine Furetiere* (1690), no qual é descrito como “*terra confederada segundo suas qualidades*” e no qual o autor diz que o gosto do *terroir* no vinho está relacionado com alguma qualidade do terreno em que a videira foi plantada. Para Seguin (1988), o termo *terroir* pode ser entendido como “*um ecossistema interativo, em um determinado local, incluindo o clima, o solo e a videira*”. Como toda atividade agrícola, a viticultura é realizada pelo homem e por isso os fatores humanos também devem ser considerados como parte da sua definição, pois reflete a história da viticultura em um determinado local e as intervenções realizadas para otimizar sua expressão (VAN LEEUWEN & SEGUIN, 2006). A Organização Internacional da Videira e do Vinho define o termo *terroir* como “*um conceito que se refere a uma área em que se desenvolve o conhecimento coletivo das interações entre o ambiente físico e biológico identificável e as práticas vitivinícolas aplicadas, conferindo características distintivas aos produtos originários desta área*” (OIV, 2010). Ou seja, o território em que determinado produto foi produzido lhe confere propriedades distintas, uma identidade.

A região de Champagne pode ser considerada como um mosaico de micro-*terroirs*, onde em uma área de 343 km² foram identificadas 20 sub-regiões, 320 crus (vinhedo onde é produzido um vinho de características particulares), dezenas de milhares de *lieux-dits* (pequena área geográfica com um nome tradicional) e 280.000 parcelas de vinhedos (COMITÉ CHAMPAGNE, 2023).

Devido a sua complexidade e diversidade se faz necessário o estudo detalhado do *terroir* de uma região para entender a relação do território com a sua vitivinicultura. Haynes (1999) foi um dos

primeiros autores que tentou qualificar o termo *terroir* ao dividi-lo em cinco fatores: GEOLÓGICO (geologia do subsolo e a geoquímica, petrologia e textura do estrato individual, taxa de fluxo e química da água superficial e água subterrânea), FISIAGRÁFICO (tipo de relevo, elevação, orientação e declividade da encosta e drenagem da encosta), PEDOLÓGICO (composição e porosidade do solo, fertilidade do solo, textura e tamanho das partículas do solo e mineralogia das argilas), METEOROLÓGICO (temperatura máxima e mínima, horas de luz solar, condição dos ventos e pluviosidade) e VITÍCOLA (método de condução, espaçamento das fileiras, poda e produção, fertilização, adição mecânica de solo ou rocha, drenagem sistemática e irrigação). A seguir será feita uma breve descrição destes cinco fatores:

5.1.1 Fator Geológico

Existem regiões vitivinícolas com solos formados por um único tipo de rocha, como Champanhe e Chablis (greda ou *chalk* – rocha sedimentar), Jerez (calcário – rocha sedimentar) e Porto e Mosel (xisto – rocha metamórfica) (JACKSON, 2008), onde é relativamente fácil associar as características dos solos com o substrato rochoso dos vinhedos. No entanto, em regiões com uma geologia mais complexa, essa tarefa torna-se um pouco mais difícil.

Algumas variedades de uvas europeias (*Vitis vinifera*) adaptam-se melhor em solos derivados de rochas de composição específica, mas estes aspectos ainda são circunstanciais e não existem evidências concretas (JACKSON, 2008). O melhor exemplo de como a geologia pode influenciar na vitivinicultura é de um estudo realizado por Bauer et al. (2011) que mostraram que vinhos da variedade Riesling cultivada por uma mesma vinícola na região de Pfalz, na Alemanha, em vinhedos muito próximos uns dos outros (cerca de 2 km de distância), mas com solos formados pelo intemperismo de diferentes tipos de rocha (basaltos e arenitos), apresentaram perfis sensoriais distintos. O vinho produzido com uvas cultivadas em vinhedos com substrato rochoso composto por basaltos mostrou-se mais frutado com aromas de limão (*Citrus x limon*), toranja (*Citrus aurantium*), maçã (*Malus domestica*), pêssego (*Prunus persica*), ruibarbo (*Rheum rhabarbarum*), manga (*Mangifera indica*), maracujá (*Passiflora edulis*) e cantalupo (*Cucumis melo var. cantalupensis*), com mais cor e mais doce (Fig. 1 – linha vermelha). Enquanto o vinho produzido com uvas cultivadas em vinhedos com substrato rochoso composto por arenitos mostrou-se com aromas mais vegetais (grama verde, feijão verde, buxeiro, floral), com maior acidez e maior adstringência (Fig. 1 – linha preta).

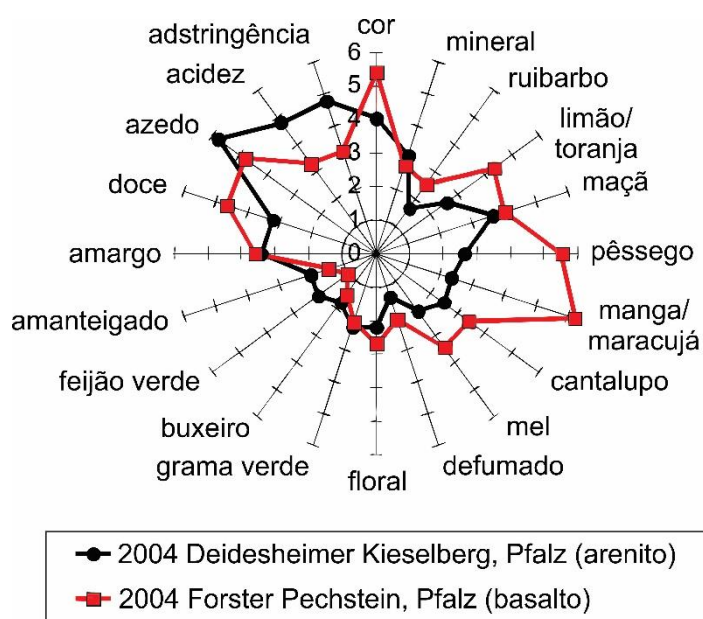


Figura 1. Perfis sensoriais dos vinhos Riesling produzidos a partir de uvas cultivadas pela mesma vinícola em vinhedos com diferentes tipos de rocha e com cerca de 2 km de distância entre eles. Fonte: adaptado de Bauer et al. (2011).

5.1.2 Fator Fisiográfico

5.1.2.1 Altitude

A altitude exerce um importante controle do efeito térmico: a temperatura média anual do ar tende a diminuir cerca de 0,5 °C para cada incremento de 100 m em altitude, podendo afetar significativamente a maturação da uva e a duração do período vegetativo (JACKSON, 2008). Normalmente, buscam-se altitudes menores em latitudes maiores e altitudes maiores em latitudes menores (JACKSON, 2008), para tentar compensar o efeito da latitude (mais quente em direção aos trópicos e mais frio em direção aos polos). No Brasil, devido às temperaturas elevadas do país, a busca por áreas com maiores altitudes é observada nas principais regiões vitivinícolas, como Rio Grande do Sul (> 600 m) e Santa Catarina (> 900 m) (TONIETTO & MANDELLI, 2003).

5.1.2.2 Orientação

As encostas voltadas em direção ao Sol secam mais rápido do que as voltadas para o lado oposto, o que é um fator muito importante em regiões de clima frio (WHITE, 2003). No Hemisfério Norte, as encostas voltadas para Sul recebem mais Sol, enquanto que no Hemisfério Sul são as encostas voltadas para Norte (Fig. 2). De acordo com Melo (2003), no Brasil, “a exposição do vinhedo para o Norte permite que as plantas recebam os raios solares por mais tempo e ainda ficam protegidas dos ventos frios do Sul”. Com as mudanças climáticas, algumas regiões que antes eram muito frias para viticultura estão se tornando aptas ao cultivo, enquanto que outras regiões vitivinícolas estão se tornando quentes demais para o cultivo da uva. Isto está levando os produtores a optarem por

variedades de uva mais adaptadas a climas quentes ou ao plantio dos vinhedos em encostas com orientações que recebem menor radiação solar.



Figura 2. Influência da orientação da encosta na exposição solar de um vinhedo no município de Summerland (Canadá). Na esquerda um vinhedo voltado em direção oposta ao Sol ainda com neve, enquanto na direita em uma encosta voltada em direção ao Sol há um vinhedo quase sem ou com pouca neve (fotografia tirada em fevereiro de 2016).

5.1.2.3 Declividade

A declividade da encosta influencia no ângulo de radiação solar recebida, umidade do solo e exposição ao vento (SOMMERS, 2008), além de ajudar a remover o ar frio do vinhedo (WOLF & BOYER, 2005). Em terrenos planos, as declividades inferiores a 3% facilitam a mecanização do solo, no entanto, podem gerar problemas relacionados com a umidade excessiva (solos encharcados ou mal drenados) (DORTZBACH, 2016). Já os terrenos de maior declividade não são recomendados, seja pelo risco de erosão ou pela dificuldade de mecanização (TONIETTO & MANDELLI, 2003). O acesso das máquinas é funcional em declives de até 12%, sendo muito difícil em encostas com declividades superiores a 20% (JORDAN et al., 1981). Os declives moderados são considerados melhores para as videiras, porque evitam a maioria dos danos causados pela geada e problemas com a mecanização do vinhedo (PALLIS et al., 2011).

5.1.3 Fator Pedológico

5.1.3.1 Profundidade do Solo

A profundidade do solo limita o crescimento das raízes, importante para o acesso da videira aos nutrientes, e influencia na disponibilidade de água: solos rasos (< 50 cm) tendem a encharcar durante os períodos chuvosos (JACKSON, 2008). Em solos com má drenagem é comum ocorrer alagamentos que, além de atrasar o crescimento da planta, pode favorecer o desenvolvimento de patógenos radiculares e dificultar a mecanização do vinhedo (JACKSON, 2008). Em solos com boa drenagem as raízes permanecem saudáveis. As melhores condições para a viticultura encontram-se em terrenos com solos de pelo menos 60 cm de profundidade para desenvolvimento do sistema radicular das videiras (DORTZBACH, 2016).

5.1.3.2 Estrutura do Solo

Seguin (1986) constatou que as características físicas (estrutura e porosidade) dos solos influenciam na qualidade dos vinhos ao equilibrar os efeitos climáticos de chuvas ou secas extremas. A estrutura do solo é o padrão de arranjo das suas partículas unitárias (areia, silte e argila) em unidades estruturais (com ou sem agregados) (SANTOS et al., 2015). Para a videira, o desenvolvimento radicular é favorecido em solos que são friáveis, porosos e que apresentam capacidade de retenção de água (JACKSON, 2008). As melhores condições edáficas para viticultura encontram-se em terrenos com solos bem drenados, estruturados e com agregados estáveis (WHITE, 2003).

5.1.3.2 Textura do Solo

A textura do solo é a proporção relativa das frações granulométricas (areia, silte e argila) que compõem a massa do solo (SANTOS et al., 2015) e tem grande influência na aeração, disponibilidade de água e nutrientes do solo, o que afeta significativamente no crescimento da videira e na maturação da uva (JACKSON, 2008). Solos com textura fina a média (e.g. muito argilosa, argilosa, argilossiltosa e francoargilosa) possuem maior capacidade de retenção de água do que os solos de textura arenosa (e.g. areia e areia franca), mas a menos que sejam bem estruturados não apresentam uma drenagem tão rápida quanto estes (WHITE, 2003). Bowen et al. (2005) sugerem que as melhores condições para viticultura são encontradas em solos com textura média (*loamy soils*) que, por não serem nem muito finos nem muito grossos, são adequadamente drenados, capazes de reter água e nutrientes suficientes para um melhor desenvolvimento das videiras.

5.1.3.3 Matéria Orgânica do Solo

A matéria orgânica, dentre as várias funções que desempenha, é responsável pela disponibilidade do nitrogênio e estruturação do solo. Em casos com alto teor de matéria orgânica (> 30 g/kg) pode ocorrer a liberação excessiva de nitrogênio, o que pode causar crescimento vegetativo exacerbado das videiras (WOLF & BOYER, 2005). No entanto, pode ocasionar a redução da pegajosidade em solos argilosos, o que é positivo para a mecanização, e melhorar a retenção de água e a estruturação de solos arenosos em locais com boa drenagem (WHITE, 2003). As melhores condições para viticultura encontram-se em solos com teor de matéria orgânica entre 20 e 30 g/kg (KURTURAL, 2006).

5.1.3.4 pH do Solo

O pH controla a disponibilidade dos nutrientes no solo. As melhores condições para a viticultura encontram-se em solos com pH variando de 5 a 6 (MELO, 2003). De acordo com CQFS (2016), o pH ideal para as plantas varia de 5,5 a 6,5. Mas segundo Lucas & Davis (1961), de maneira geral, o intervalo ideal seria entre 5,5 e 5,8 pois “a calagem acima do pH 5,8 é questionável devido à

disponibilidade reduzida de fósforo, manganês, boro e zinco”; fato que pode ser observado na Fig. 3, assim como a redução na disponibilidade de vários nutrientes em solos com pH abaixo de 5,5.



Figura 3. Disponibilidade de nutrientes de acordo com pH do solo.
Fonte: adaptado de Keller (2020).

5.1.4 Fator Meteorológico

5.1.4.1 Temperatura

A videira é uma planta muito resistente, podendo suportar durante o inverno temperaturas mínimas de -10 a -20 °C, dependendo da variedade (TONIETTO & MANDELLI, 2003). Esse frio é fundamental para que ocorra a quebra de dormência das gemas e assegurar uma brotação adequada (TONIETTO & MANDELLI, 2003). Durante a primavera (período de brotação), a temperatura de 10 °C é apontada como a mínima para que haja o desenvolvimento vegetativo da videira, devendo-se evitar o plantio da videira ou optar por variedades com brotação tardia em regiões com temperaturas baixas nessa época do ano devido ao elevado risco de geadas tardias. No período de floração (primavera), é aconselhado que se tenha temperaturas iguais ou superiores a 18 °C associadas com altas taxas de insolação e pouca umidade (TONIETTO & MANDELLI, 2003). Durante o verão (período de maturação), a maior atividade fotossintética é obtida em temperaturas entre 20 °C e 25 °C, sendo que temperaturas diurnas amenas possibilitam uma maturação mais lenta e favorece a qualidade da uva. Assim como a ocorrência de noites relativamente frias *“favorece o acúmulo de polifenóis, especialmente as antocianinas nas cultivares tintas e a intensidade dos aromas nas cultivares brancas”* (TONIETTO &

MANDELLI, 2003). As temperaturas acima de 35 °C são consideradas excessivas, pois podem resultar em uvas com maiores teores de açúcar, mas com baixa acidez (TONIETTO & MANDELLI, 2003).

5.1.4.2 Precipitação

A videira é uma cultura que resiste muito bem às condições de seca, podendo ser produzida sem irrigação em regiões com precipitação de 250 a 350 mm no período vegetativo (da brotação da videira até a maturação da uva) (TONIETTO & MANDELLI, 2003). A demanda hídrica da videira varia ao longo do seu período vegetativo e deve ser levado em conta o tipo de solo e sua cobertura (vegetada ou não-vegetada) (TONIETTO & MANDELLI, 2003). Segundo Soares & Costa (2009), o consumo hídrico da videira varia entre 450 a 900 mm durante o período vegetativo. No inverno (período de dormência), as chuvas pouco influenciam sobre a videira, apesar de serem importantes para as reservas hídricas do solo e, durante a primavera (período de brotação), as chuvas são fundamentais para o seu desenvolvimento, mas, quando em demasia, favorecem a ocorrência de doenças fúngicas (TONIETTO & MANDELLI, 2003). De acordo com Van Leeuwen (2010), os índices pluviométricos das melhores regiões vitivinícolas do mundo variam entre 300 a 1.000 mm/ano.

5.1.4.3 Radiação Solar

As condições de crescimento da videira são determinadas em grande parte pela radiação solar, pois esta afeta diretamente a temperatura do ar e do solo, a transpiração, a umidade do solo, a umidade atmosférica, a fotossíntese e os processos de fotoestímulo (AGRICULTURE CANADA, 1984). A quantidade de radiação solar recebida no vinhedo varia em função da latitude, do período do ano, da nebulosidade, da topografia, da altitude (TONIETTO & MANDELLI, 2003), da declividade e da orientação das encostas, principalmente em áreas montanhosas. Quando ocorrem condições inadequadas de radiação solar, devido ao tempo nublado, os valores desejáveis de açúcar nas uvas podem não ser alcançados, mas os produtores podem recorrer a uma técnica de poda ou a um tipo de sistema de condução que permita a maior penetração da luz nas videiras (AGRICULTURE CANADA, 1984). Uma maior insolação produz uvas com bons teores de açúcar e com acidez adequada, podendo estar, também, relacionada a um menor número de dias de chuva, algo desejável em meio às condições de alta umidade do sul do Brasil (TONIETTO & MANDELLI, 2003). Dependendo da variedade, é aconselhável que a videira receba entre 1.200 e 1.400 horas de sol durante seu período vegetativo (SENTELHAS, 1998).

5.1.4.4 Sistema CCM Geovítica

O Sistema de Classificação Climática Multicritério Geovítica (TONIETTO & CARBONNEAU, 2004) classifica o clima vitícola de uma região a partir de uma abordagem multicritério com base em três índices: Índice Heliotérmico (HUGLIN, 1978), Índice de Frio Noturno (TONIETTO, 1999; TONIETTO & CARBONNEAU, 2004) e Índice de Seca (TONIETTO, 1999; TONIETTO & CARBONNEAU, 2004),

que devem ser calculados a partir de dados climáticos adquiridos com um período de pelo menos 10 anos. Esses índices são classificados em classes de clima vitícola (Tab. 1).

Tabela 1. Classe de clima vitícola com o intervalo de valores para cada índice.

Índice	Classe de Clima Vitícola	Sigla	Intervalo de Classe
Índice Heliotérmico – IH (°C)	Muito Frio	IH-3	$IH \leq 1.500$
	Frio	IH-2	$1.500 < IH \leq 1.800$
	Temperado	IH-1	$1.800 < IH \leq 2.100$
	Temperado Quente	IH+1	$2.100 < IH \leq 2.400$
	Quente	IH+2	$2.400 < IH \leq 3.000$
	Muito Quente	IH+3	$IH > 3.000$
Índice de Frio Noturno – IF (°C)	De Noites Quentes	IF-2	$IF > 18$
	De Noites Temperadas	IF-1	$14 < IF \leq 18$
	De Noites Frias	IF+1	$12 < IF \leq 14$
	De Noites Muito Frias	IF+2	$IF \leq 12$
Índice de Seca – IS (mm)	Úmido	IS-2	$IS > 150$
	Subúmido	IS-1	$50 < IS \leq 150$
	De Seca Moderada	IS+1	$-100 < IS \leq 50$
	De Seca Forte	IS+2	$IS \leq -100$

Fonte: adaptado de Tonietto & Carbonneau (2004).

5.1.5 Fator Vitícola

Os sistemas de condução mais utilizados são latada (Fig. 4A) e espaldeira (Fig. 4B). No sistema de condução latada, também chamado de pérgola, o dossel é horizontal e as varas são atadas horizontalmente aos fios do sistema de sustentação do vinhedo (MIELE & MANDELLI, 2003). No sistema de condução espaldeira, o dossel é vertical e as varas são atadas horizontalmente aos fios da produção do sistema de sustentação do vinhedo (MIELE & MANDELLI, 2003). No sistema de condução latada, o espaçamento entre as fileiras é geralmente de 2 a 3 m com distância entre as videiras de 1,5 a 2 m. No sistema de condução espaldeira, o espaçamento entre as fileiras é geralmente de 2 a 2,5 m com distância entre as videiras de 1,2 a 2 m (MIELE & MANDELLI, 2003).

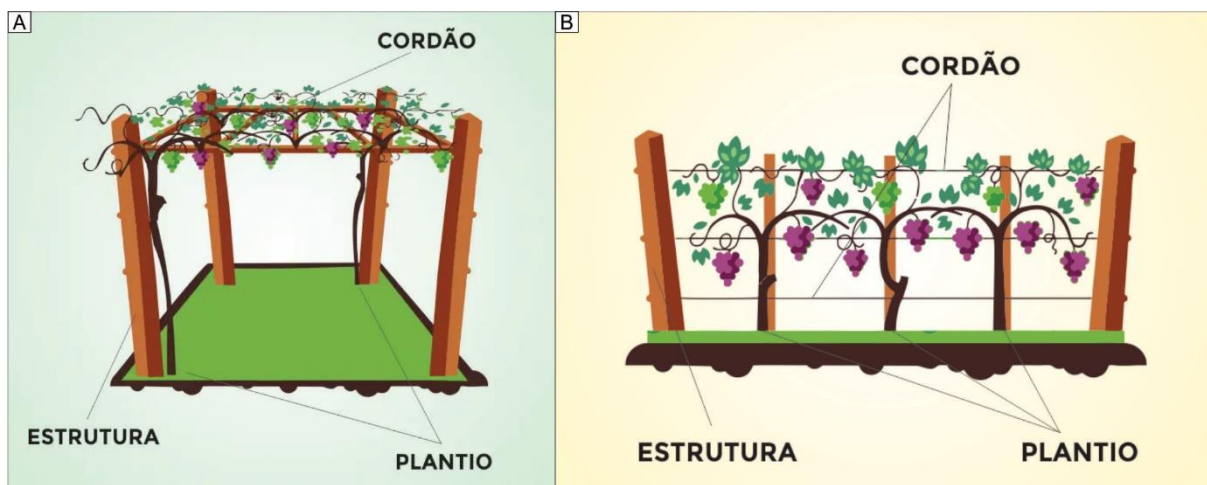


Figura 4. Ilustração dos principais sistemas de condução de videiras: (A) latada e (B) espaladeira. Fonte: adaptado de Vem da Uva (2016).

O uso de porta-enxertos resistentes é fundamental para combater a ação de insetos e doenças provenientes de patógenos do solo, dificilmente controlados com a aplicação de produtos químicos (MENEZES-NETTO et al., 2016). O porta-enxerto Paulsen 1103 apresenta alto nível de resistência a fusariose e é o mais utilizado na viticultura do sul do Brasil (MENEZES-NETTO et al., 2016). Destacam-se também o porta-enxerto VR 043-43, indicado para produção de uvas de mesa, vinhos de mesa e suco devido ao seu vigor e produtividade; e o porta-enxerto IAC 572, que demonstrou resistência a pérola-da-terra (*Eurhizococcus brasiliensis*) e fungos dos solos, e apresenta brotação normal em épocas de frio (MENEZES-NETTO et al., 2016). Para a produção de vinhos de qualidade, é aconselhável que os teores de sólidos solúveis totais (SST) estejam entre 19 e 25 °Brix (GRIS et al., 2010), de pH entre 3,4 e 3,8 (AMERINE & OUGH, 1976) e de acidez total titulavel (ATT) entre 90 e 120 meq.L⁻¹ (FELIPPETO et al., 2016). Outro elemento importante do fator vitícola é o “saber-fazer”, ou seja, o conhecimento da população local empenhada na atividade da viticultura e que varia de região para região.

5.2 VITIVINICULTURA

5.2.1 Viticultura

Viticultura, do latim *vitis* (videira) + *cultura* (cultura), ou seja, o cultivo da videira. A videira é uma angiosperma (semente envolta por um fruto) que pertence à família *Vitaceae* (GIOVANNINI, 2014). É uma planta classificada como liana (trepadeira), caracterizada por possuir tronco retorcido, braços e gavinhas flexíveis, folhas grandes repartidas em cinco lóbulos pontiagudos e cachos (Fig. 5), onde estão concentradas as uvas (bagas) com as quais é produzido o vinho.

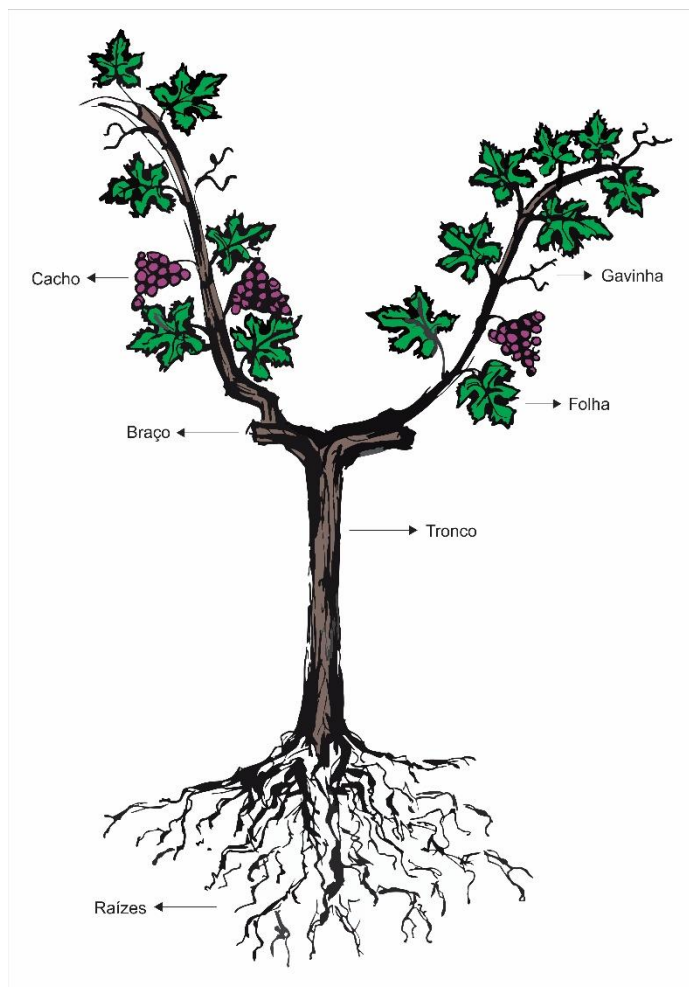


Figura 5. Ilustração das principais partes da videira (raízes, tronco, braço, folha, cacho e gavinha).
Fonte: adaptado de Giovannini (2014).

O fruto mais antigo dessa família, datado em 66 milhões de anos (Cretáceo Superior), foi encontrado na Índia por Manchester et al. (2013) e estava fossilizado em meio aos *cherts* (rocha sedimentar constituída por sílica amorfa e quartzo microcristalino; WINGE, 2021a) que se encontram intertrapeados nos basaltos (rocha vulcânica composta por plagioclásio e piroxênio; WINGE, 2021b) da Província Vulcânica Deccan. Essa nova espécie foi batizada de *Indovitis chitaleyae* (Fig. 6) em homenagem ao pesquisador Dr. Shyamala Chitaley (1918 - 2013) e sua descoberta indica uma possível origem no Hemisfério Sul para a família *Vitaceae*.



Figura 6. Exemplar da espécie *Indovitis chitaleyae* em seção transversal (barra de escala = 1 mm).
Fonte: fotografia de Steven Machester retirada do site do Florida Museum
(<https://www.floridamuseum.ufl.edu/science/worlds-oldest-known-grape-fossils-found-in-india>).

Durante o período Quaternário (2,58 Ma – presente) a videira quase entrou em extinção devido a uma glaciação de grandes proporções que atingiu o Hemisfério Norte, restando apenas as videiras localizadas em três regiões protegidas do frio: uma americana, uma europeia e uma asiático-ocidental (INGLEZ DE SOUZA, 1996). As videiras sobreviventes da região americana deram origem às atuais espécies americanas: *Vitis lambrusca*, *Vitis vulpina*, *Vitis rupestris*, *Vitis aestivalis*, *Vitis rotundifolia*, *Vitis tiliifolia*, *Vitis smalliana*, *Vitis lincecumii*, *Vitis cordifolia*, *Vitis berlandieri*, entre outras. Na região europeia sobreviveu a *Vitis vinifera silvestris* e na região asiático-ocidental a *Vitis vinifera caucasica* (INGLEZ DE SOUZA, 1996).

5.2.2 Vinicultura

Vinicultura, do latim *vinum* (vinho) + *cultura* (cultura), ou seja, a produção do vinho. Alguns autores sugerem que a vinicultura teve origem na Geórgia, na região do Cáucaso, em que dados recentes indicam que o primeiro vinho do mundo foi produzido entre os anos 6.000 - 5.800 a.C. (MCGOVERN et al., 2017). De acordo com a Organização Internacional da Videira e do Vinho, o vinho é a bebida que resulta da fermentação alcoólica parcial ou completa de uvas frescas ou do mosto da uva e deve possuir pelo menos 7% do volume de álcool (OIV, 2021). De acordo com a legislação brasileira, o vinho é a bebida obtida pela fermentação alcoólica do mosto simples da uva sã, fresca e madura (Art. 2º do Decreto nº 8.198 de 20 de fevereiro de 2014).

Existem cerca de 600 espécies de videira e 10.000 variedades de uva (ALLEWELDT & DETTWEILER, 1994). O principal gênero da família *Vitaceae* é o *Vitis* L. e a espécie *Vitis vinifera* L. é a mais importante para a vinicultura. As variedades de uva mais plantadas no mundo destinadas à produção de vinho são: Cabernet Sauvignon (341.000 ha), Merlot (266.000 ha), Tempranillo (231.000 ha), Airen (218.000 ha), Chardonnay (210.000 ha), Syrah (190.000 ha), Garnacha Tinta/Grenache Noir

(163.000 ha), Sauvignon Blanc (123.000 ha), Pinot Noir/Blauer Burgunder (112.000 ha) e Trebbiano Toscano/Ugni Blanc (111.000 ha) (OIV, 2017).

5.2.3 Panorama

5.2.3.1 No Mundo

O universo dos vinhos pode ser dividido em três mundos: Antigo, Velho e Novo (Fig. 7) (PUCKETTE, 2021). No Antigo Mundo (Geórgia, Egito, Grécia, entre outros), a *Vitis vinifera* e o vinho tiveram a sua origem. No Velho Mundo (Itália, França, Portugal, Espanha, entre outros) foram estabelecidas as principais técnicas vitivinícolas. E no Novo Mundo (Canadá, EUA, Chile, Argentina, Uruguai, Brasil, África do Sul, Austrália, Nova Zelândia, entre outros) estão sendo desenvolvidas novas técnicas relacionadas ao cultivo da uva e à produção do vinho.

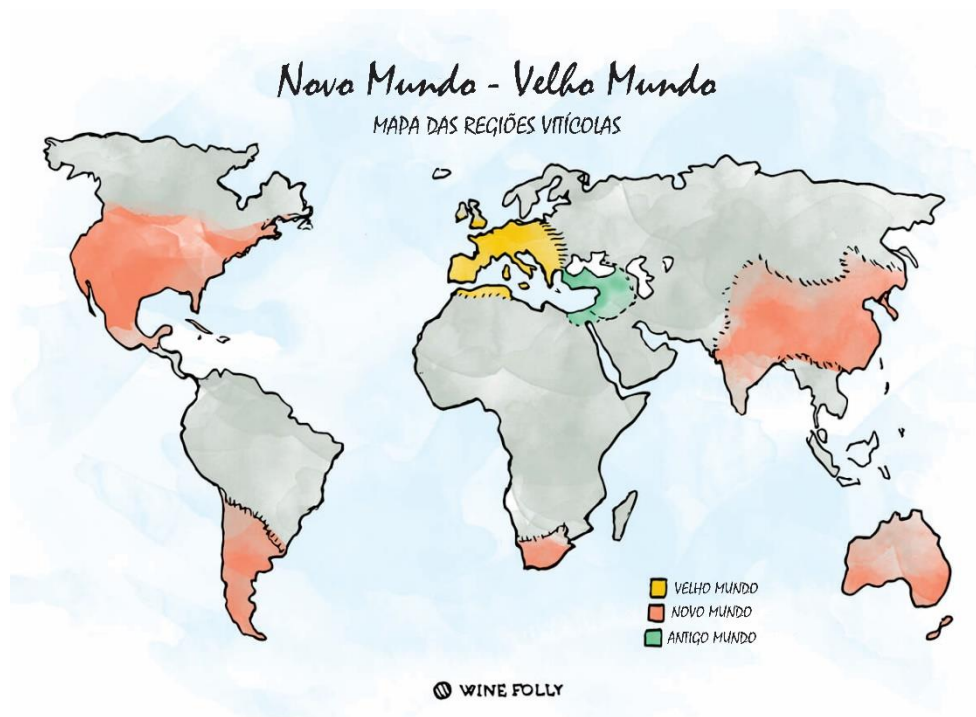


Figura 7. Mapa de localização do Antigo, Velho e Novo Mundo.
Fonte: adaptado de Puckette (2021).

Quanto aos vinhedos, em 2022 a área global ocupada por vinhedos foi de 7,28 milhões de hectares, sendo que apenas cinco países foram responsáveis por 50% dos vinhedos no mundo (OIV, 2023). Dos principais países vitícolas (área cultivada maior que 50 mil hectares), a Espanha é o país que possui a maior área plantada com vinhedos somando 955 mil ha, seguido pela França (812 mil ha), China (785 mil ha), Itália (718 mil ha) e Turquia (410 mil ha) (OIV, 2023). O Brasil ocupa o 22º lugar nessa lista com 81 mil hectares de área cultivada em 2022. Quanto à produção de uva, em 2018 a produção global foi de 77,8 milhões de toneladas, sendo 57% de uvas viníferas, 36% de uvas de mesa e 7% de uvas passas (OIV, 2019) (Fig. 8). Dos principais países vitícolas (produção maior que 1 milhão

de toneladas), a China é o maior produtor com 11,7 milhões de toneladas cultivadas, seguido pela Itália (8,6 mt) e Estados Unidos da América (6,9 mt) (OIV, 2019). O Brasil ocupa o 15º lugar nessa lista com 1,6 milhões de toneladas de uvas produzidas em 2018.

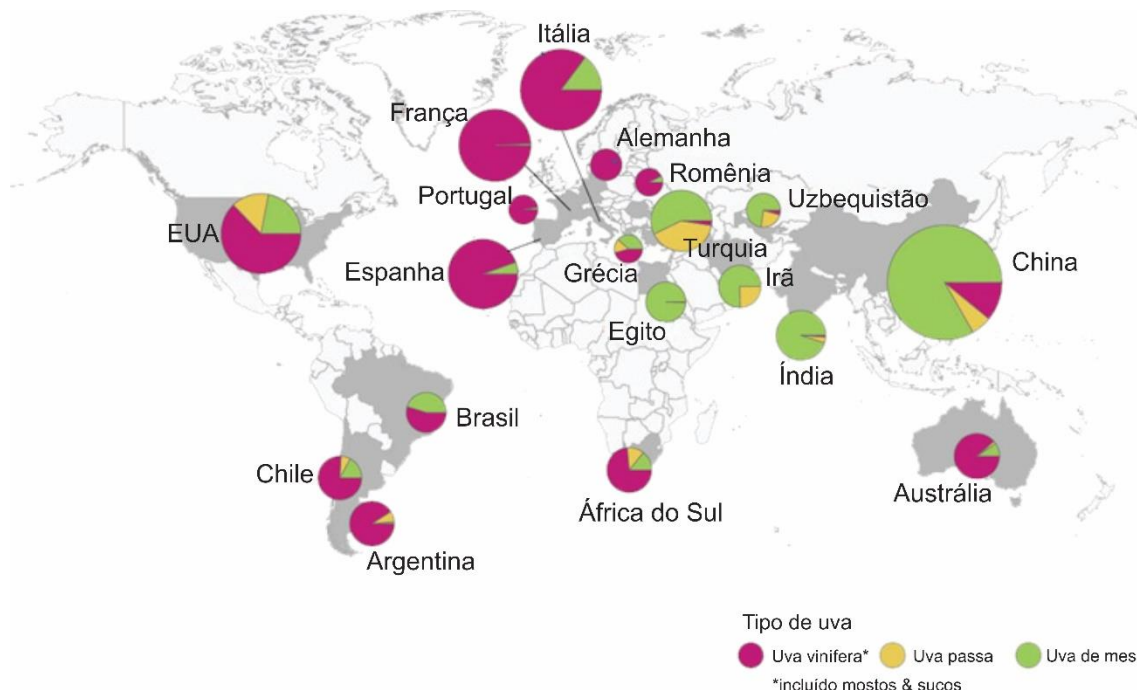


Figura 8. Mapa com os principais países produtores de uva do mundo com a proporção do tipo de uva produzida. Fonte: adaptado de OIV (2019).

Quanto à produção de vinho, em 2022 a produção global foi de 258 milhões de hectolitros, sendo que apenas três países foram responsáveis por 50% da produção de vinhos no mundo (OIV, 2019). Dos principais países vinícolas (produção maior que 1 milhão de hectolitros), a Itália é o maior produtor com 49,8 mhl produzidos, seguido pela França (45,6 mhl) e Espanha (35,7 mhl) (OIV, 2023). O Brasil ocupa o 15º lugar nessa lista com 3,2 milhões de hectolitros de vinho produzidos em 2022. Quanto ao consumo de vinho, em 2022 o consumo global foi de 232 milhões de hectolitros, sendo que apenas cinco países foram responsáveis por quase metade do consumo de vinhos no mundo (OIV, 2023). Dos principais países consumidores (consumo maior que 2 milhões de hectolitros), os Estados Unidos da América são os maiores consumidores com 34 mhl consumidos, seguido pela França (25,3 mhl), Itália (23 mhl), Alemanha (19,4 mhl) e Reino Unido (12,8 mhl) (OIV, 2023). O Brasil ocupa o 16º lugar nessa lista com 3,6 milhões de hectolitros de vinho consumidos em 2022.

5.2.3.2 No Brasil

A viticultura foi trazida ao país nas caravelas pelos colonizadores portugueses. No ano de 1532, o almirante Martim Afonso de Sousa aportou na Capitania de São Vicente, conhecida como o berço da viticultura brasileira, trazendo consigo os melhores agricultores das ilhas da Madeira e dos Açores (INGLEZ DE SOUZA, 1996). Na última década, o Brasil encontra-se entre os principais países em área ocupada por vinhedos, cultivo de uva, produção de vinho e consumo de vinho. A viticultura

está presente em diversos estados brasileiros como Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Minas Gerais, Rio de Janeiro, Espírito Santo, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Distrito Federal, Tocantins, Piauí, Bahia, Pernambuco, Paraíba, Ceará e Rondônia (MELLO & MACHADO, 2022). O principal estado vitícola é o Rio Grande do Sul, com 46.815 ha de área plantada e 951.567 t de uvas cultivadas em 2021, seguido por Pernambuco (8.256 ha e 390.640 t), São Paulo (8.022 ha e 147.359 t), Paraná (4.000 ha e 57.000 t) e Santa Catarina (3.940 ha e 59.638 t) (MELLO & MACHADO, 2022).

Segundo Pereira (2020), o Brasil é o único país do mundo onde são desenvolvidos três tipos de viticultura: tradicional, de inverno e tropical (Fig. 9). A viticultura tradicional (Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Minas Gerais e Espírito Santo) é caracterizada por apresentar um clima temperado e subtropical úmido, a poda da videira é realizada uma vez por ano e uma colheita anual (EMBRAPA, 2020a). A viticultura de inverno (São Paulo, Minas Gerais, Rio de Janeiro, Espírito Santo, Mato Grosso, Goiás, Distrito Federal, Tocantins e Bahia) é realizada em regiões entre 600 a 1.200 m de altitude e caracterizada por um clima subtropical a tropical de altitude, aplicação da técnica da dupla poda (uma poda de formação e uma poda de produção) e uma colheita anual (EMBRAPA, 2020a). A viticultura tropical (Bahia, Pernambuco e Alagoas) é caracterizada por um clima tropical semiárido, a videira é podada duas vezes por ano e são realizadas duas colheitas anuais (EMBRAPA, 2020a).



Figura 9. Mapa com a distribuição geográfica dos três tipos de viticultura no Brasil.
Fonte: retirado de Embrapa (2020a).

5.2.3.3 Em Santa Catarina

A viticultura em Santa Catarina teve início com os primeiros colonizadores portugueses que se instalaram na costa catarinense há mais de duzentos anos. Como em outros estados do Brasil, a viticultura catarinense é marcada pela imigração italiana e pela variedade *Isabel* (INGLEZ DE SOUZA,

1996). A produção de vinhos em Santa Catarina pode ser classificada, de acordo com suas características e tradições, em três regiões: Tradicional, Nova e Super Nova (BRDE, 2005). A região Tradicional é caracterizada pela histórica produção de vinhos coloniais e pequena produção de vinhos finos no Vale do Rio do Peixe (Videira, Tangará, Pinheiro Preto, Salto Veloso, Rio das Antas, Iomerê, Fraiburgo e Caçador) e na região Carbonífera (Urussanga, Pedras Grandes, Braço do Norte, Nova Veneza e Morro da Fumaça), a única região do país onde é cultivada a variedade de uva Goethe. Ainda se destaca na região Tradicional, a imigração italiana, responsável pela consolidação da viticultura em Santa Catarina (DORTZBACH, 2016). A região Nova (municípios de Rodeio, Nova Trento, Cordilheira Alta, Chapecó, Quilombo, entre outros) é caracterizada pela produção de vinhos comuns e coloniais. A região Super Nova (São Joaquim, Água Doce, Bom Retiro, Urupema, Urubici, Campo Belo do Sul, entre outras), também conhecida como de Altitude, tem o diferencial de ser caracterizada pela produção de vinhos finos e pelo desenvolvimento da viticultura estar baseado em pesquisas técnicas e científicas (BRDE, 2005).

Atualmente, o estado de Santa Catarina é um dos principais produtores nacionais de uva. Em 2021, o estado foi o 5º em área plantada com vinhedos (3.940 ha) e também em quantidade de uvas produzidas (59.638 t) (MELLO & MACHADO, 2022). De acordo com o Sistema Integrado de Informações Agropecuárias da Secretaria de Estado da Agricultura e da Pesca de Santa Catarina (INFOAGRO/SC, 2021), na safra 2017/2018, o estado de Santa Catarina produziu 46.691,47 t de uva (comum, de mesa e vinífera) em uma área plantada de 3.287,07 ha. Os maiores municípios produtores são Tangará (9.324,48 t), Pinheiro Preto (6.478,97 t), Videira (5.912,99 t), Caçador (5.400,00 t) e Major Gercino (1.875,02 t). Em relação ao cultivo de uva vinífera, na safra 2017/2018, o estado de Santa Catarina produziu 1.486,61 t de uva em 346,03 ha, sendo que os principais municípios produtores se encontravam nas zonas de produção do Planalto Catarinense (São Joaquim – 540 t, Bom Retiro – 235,01 t, Urubici – 67,99 t, Urupema – 65 t, Campo Belo do Sul – 35 t, entre outros) e do Vale do Rio do Peixe (Água Doce – 144 toneladas, Tangará – 120,01 t, Videira – 120 t, Curitibanos – 7 t, entre outros) (INFOAGRO/SC, 2021).

5.3 INDICAÇÃO GEOGRÁFICA

De acordo com a Lei da Propriedade Industrial (Lei Nº 9.279, de 14 de maio de 1996), a Indicação Geográfica (Artigo 176º) é dividida em Indicação de Procedência (IP) e Denominação de Origem (DO), sendo definida a IP (Artigo 177º) como “*o nome geográfico de país, cidade, região ou localidade de seu território, que se tenha tornado conhecido como centro de extração, produção ou fabricação de determinado produto ou de prestação de determinado serviço*” e a DO (Artigo 178º) como “*o nome geográfico de país, cidade, região ou localidade de seu território, que designe produto ou serviço cujas qualidades ou características se devam exclusiva ou essencialmente ao meio geográfico, incluídos fatores naturais e humanos*” (BRASIL, 1996).

Atualmente, no Brasil estão registradas 78 Indicações Geográficas (IGs), sendo 57 indicações de procedência e 21 denominações de origem, distribuídas por todas as regiões do território nacional (MAPA, 2023). A primeira indicação geográfica reconhecida no Brasil foi a Indicação de Procedência

Vale dos Vinhedos (vinhos tintos, brancos e espumantes) no ano de 2002, localizada no estado do Rio Grande do Sul (IBGE, 2019). No estado de Pernambuco foi reconhecido, no ano de 2012, a Indicação de Procedência Porto Digital responsável por serviços de tecnologia da informação e comunicação através de desenvolvimento, manutenção e suporte (IBGE, 2019), o que torna o país pioneiro ao ser o único a ter uma indicação geográfica de serviço, diferente da tradicional indicação geográfica de produto. Os principais tipos de indicações geográficas estão relacionados a produtos como vinho, café, rocha, cacau, cachaça, banana, queijo e mel.

5.3.1 Em Santa Catarina

No estado de Santa Catarina foram reconhecidas sete indicações geográficas: Indicação de Procedência Vales da Uva Goethe em 2012, Denominação de Origem Banana da Região de Corupá em 2018 (IBGE, 2019), Denominação de Origem Campos de Cima da Serra em 2020 (EPAGRI, 2020), Indicação de Procedência Vinhos de Altitude de Santa Catarina em 2021 (INPI, 2021), Denominação de Origem Mel de Melato da Bracatinga do Planalto Sul Brasileiro em 2021 (EPAGRI, 2021a), Denominação de Origem Maçã Fuji da Região de São Joaquim em 2021 (EPAGRI, 2021b) e Denominação de Origem Erva-Mate do Planalto Norte em 2022 (EPAGRI, 2022).

5.3.1.1 Indicação de Procedência Vinhos de Altitude de Santa Catarina

A região de altitude de Santa Catarina é considerada como a região vitivinícola mais fria do Brasil (PANDOLFO & VIANNA, 2020). Segundo o critério de Köppen (1936), a região é classificada como do tipo climático Cfb – subtropical úmido (C) sem estação seca (f) e com verão moderado (b), caracterizado por verões amenos com temperatura média abaixo de 22 °C no mês mais quente e sem estação seca definida (ALVARES et al., 2013). Os solos encontrados nessa região variam de rasos e pouco desenvolvidos a profundos e muito desenvolvidos com fertilidade natural que varia de baixa a alta, dependendo do material de origem e grau de intemperismo (PANDOLFO & VIANNA, 2020). De maneira geral, esses solos geralmente apresentam coloração brunada ou bruno-amarelada, alta taxa de lixiviação (perda de Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ e Na⁺), pH ácido (< 7), altos teores de alumínio e acidez potencial, baixa fertilidade natural e geralmente ocorrem em relevo acidentado, sendo comum a presença de pedregosidade no perfil do solo (PANDOLFO & VIANNA, 2020).

A área registrada para a Indicação de Procedência Vinhos de Altitude de Santa Catarina (Fig. 10) abrange parte dessa região de altitude em uma área de 19.676 km² e 29 municípios catarinenses: Água Doce, Anitápolis, Arroio Trinta, Bom Jardim da Serra, Bom Retiro, Brunópolis, Caçador, Campo Belo do Sul, Capão Alto, Cerro Negro, Curitibaanos, Fraiburgo, Frei Rogério, Iomerê, Lages, Macieira, Painel, Pinheiro Preto, Rancho Queimado, Rio das Antas, Salto Veloso, São Joaquim, São José do Cerrito, Tangará, Treze Tílias, Urubici, Urupema, Vargem Bonita e Videira (INPI, 2021). Desses municípios, em apenas 12 municípios foram identificados vinhedos no cadastro vitícola (EPAGRI, 2019), que contabilizou 41 propriedades destinadas a viticultura, 527 vinhedos e 269,3 hectares de área plantada (PANDOLFO & VIANNA, 2020).



Figura 10. Mapa de delimitação da área da Indicação de Procedência Vinhos de Altitude de Santa Catarina de acordo com Parecer nº 001/2021 de 03 de maio de 2021 da Secretaria de Estado da Agricultura, da Pesca e do Desenvolvimento Rural do Estado de Santa Catarina. Fonte: retirado de EPAGRI/CIRAM (2021).

A maior parte das propriedades vitivinícolas da região de altitude do estado de Santa Catarina estão localizadas sobre rochas vulcânicas (Grupo Serra Geral) e algumas sobre rochas sedimentares (formações Botucatu, Rio do Rastro e Teresina) da Bacia do Paraná (PANDOLFO & VIANNA, 2020). As altitudes na região chegam até 1.824 metros, sendo que para fazer parte da Indicação de Procedência Vinhos de Altitude de Santa Catarina, o vinhedo deve estar em uma altitude mínima de 840 metros (PANDOLFO & VIANNA, 2020). A indicação de procedência destina-se à produção de vinho fino, vinho nobre, vinho licoroso, vinho espumante natural, vinho moscatel espumante e *brandy*. As principais variedades de uva plantadas são Cabernet Sauvignon, Merlot, Chardonnay, Sauvignon Blanc, Pinot Noir, Sangiovese, Malbec, Cabernet Franc, entre outras (VIANNA et al., 2016). Dos vinhos produzidos, de maneira geral, os tintos são encorpados com acidez equilibrada e os brancos tem corpo médio e acidez viva (INPI, 2021).

5.4 TRAÇADOR ISOTÓPICO

Uma variedade de isótopos pode ser usada como traçador de origem para comprovar a procedência dos vinhos de uma região vitivinícola e/ou indicação geográfica, entre eles: carbono $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, oxigênio $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ (ADAMI et al. 2010; DUTRA et al., 2013; SU et al., 2020; HORACEK et al., 2021) e hidrogênio $^2\text{H}/^1\text{H}$ (DAY et al., 1995; RACO et al., 2015), chumbo $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ e $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ (ALMEIDA et al., 2016; ĐURĐIĆ et al., 2021) e estrôncio $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (VINCIGUERRA et al. 2016; GUIBOURDENCHE et al. 2020; BRASCHI et al. 2018; EPOVA et al., 2019; ALMEIDA, 2021; ALMEIDA et al., 2023).

5.3.1 Isótopos de Estrôncio ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)

As razões dos isótopos de estrôncio ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) têm sido utilizadas em aplicações forenses para autenticar a procedência de produtos como queijo (STEVENSON et al., 2015), xarope de *maple* (HOULE et al., 2021), suco de maçã (AGUZZONI et al., 2019) e café (LIU et al., 2014). Elas também têm sido usadas para rastrear migração humana/animal (TERRILL et al., 2020; WANG et al., 2016; BARBERENA et al., 2021; SHAW et al., 2009; RAUCH et al., 2007) e drogas (DEBORD et al., 2017). As aplicações forenses são possíveis porque as razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ são transferidas para materiais biológicos (plantas e animais) durante a absorção de estrôncio sem fracionamento isotópico (FLORCKHART et al., 2015), preservando assim a “impressão digital” isotópica dos materiais geológicos (rochas e solos) da sua origem geográfica. O estrôncio tem quatro isótopos estáveis de ocorrência natural (^{88}Sr , ^{87}Sr , ^{86}Sr e ^{84}Sr). Enquanto que os isótopos ^{88}Sr , ^{86}Sr e ^{84}Sr têm abundâncias constantes, a do ^{87}Sr radiogênico aumenta devido ao decaimento radioativo do rubídio (^{87}Rb). O rubídio é um metal alcalino (Grupo IA) presente como elemento traço em minerais que possuem potássio, como micas (biotita, muscovita e lepidolita) e feldspatos (ortoclásio e microclina) (FAURE & POWELL, 1972). Portanto, o rubídio é comum na maioria das rochas ígneas mais evoluídas (granitos e riolitos). O estrôncio é um metal alcalino-terroso (Grupo IIA) presente como elemento traço em minerais que

possuem cálcio, como plagioclásio e apatita (FAURE & POWELL, 1972). O estrôncio está, portanto, mais concentrado na maioria das rochas ígneas menos evoluídas (gabros e basaltos).

Há numerosos estudos realizados em regiões produtoras de vinho em todo o mundo que estabeleceram as razões dos isótopos de estrôncio ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) para relacionar a origem geográfica dos vinhos com a geologia dos vinhedos onde as uvas foram plantadas (VINCIGUERRA et al. 2016; GUIBOURDENCHE et al. 2020; MOREIRA et al., 2016; KAYA et al., 2017; COLDWELL et al., 2022; MARCHIONNI et al. 2016; BRASCHI et al. 2018; EPOVA et al., 2019; GABEL, 2019; WILKES et al., 2016; VORSTER et al., 2010; DI PAOLA-NARANJO et al., 2011; ALMEIDA, 2021; ALMEIDA et al., 2023). No sul do Brasil, onde se concentra a maior parte da produção de vinho, está localizada nos municípios de Bento Gonçalves, Garibaldi e Monte Belo do Sul, estado do Rio Grande do Sul, a primeira denominação de origem do país, a Denominação de Origem Vale dos Vinhedos, reconhecida no ano de 2012 (EMBRAPA, 2024). Um estudo realizado por Almeida (2021) mostrou que as razões dos isótopos de estrôncio ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) dos vinhos desta região apresentam diferenças nos vinhos produzidos com uvas cultivadas em solos formados em rochas basálticas-andesíticas da Formação Vale do Sol ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,71239$) daqueles em rochas dacíticas-riolíticas da Formação Palmas ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,71671$ e $0,71739$), ambas formações que pertencem ao Grupo Serra Geral (Província Magmática Paraná).

De acordo com Peate (1997), na Província Magmática Paraná, as rochas basálticas-andesíticas da Formação Vale do Sol (magma-tipos Urubici, Gramado e Esmeralda) apresentam razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ entre 0,7046 e 0,7167 enquanto as rochas dacíticas-riolíticas da Formação Palmas apresentam razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ entre 0,7140 e 0,7280. Isso significa que nestes intervalos podem ser diferenciados os vinhos produzidos com uvas cultivadas em solos formados pelo intemperismo das rochas do Grupo Serra Geral: $< 0,7140$ = rochas basálticas-andesíticas da Formação Vale do Sol e $> 0,7167$ = rochas dacíticas-riolíticas da Formação Palmas.

5.5 SÃO JOAQUIM

O município de São Joaquim, estado de Santa Catarina (Fig. 11), possui área territorial de 1.888,63 km², população estimada de 27.139 pessoas, PIB per capita de R\$ 27.919,27 e IDHM de 0,687 (IBGE, 2020), sendo um dos mais baixos dentre os municípios catarinenses. A fruticultura, assim como o turismo relacionado a ela, é uma das atividades com potencial para gerar o desenvolvimento econômico local, em especial aquele voltado ao cultivo da maçã e da uva.

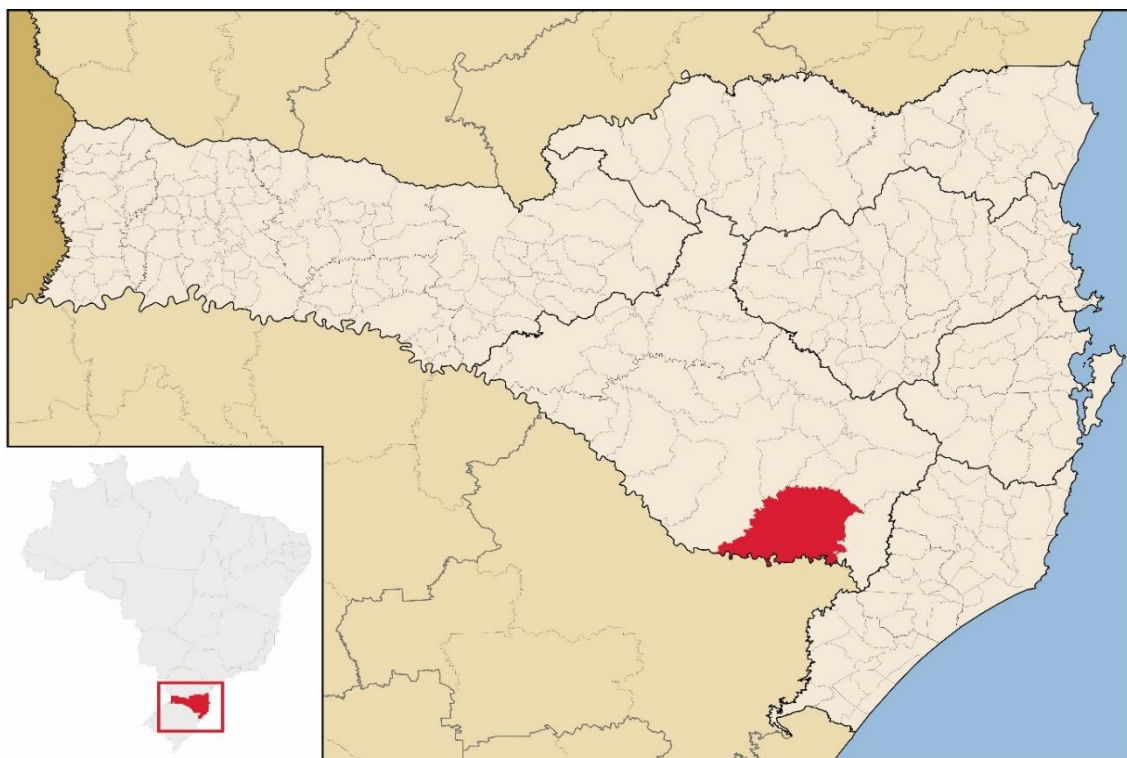


Figura 11. Mapa de localização do município de São Joaquim, estado de Santa Catarina, Brasil.
Fonte: Raphael Lorenzeto de Abreu
(https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1f/SantaCatarina_Municip_SaoJoaquim.svg).

O município é considerado o maior produtor de vinho fino do estado de Santa Catarina com 138,19 hectares de vinhedos (EPAGRI, 2019) e produção anual estimada em 1.100.000 litros de vinho (SANTOS et al., 2019). A viticultura em São Joaquim é bastante jovem (~20 anos) e foi iniciada pelos primeiros vinhedos experimentais plantados na década de 90 pela Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina - EPAGRI (EMBRAPA, 2023a) e os primeiros vinhedos comerciais plantados nos anos 2000 pela vinícola Quinta da Neve (EPAGRI, 2019; CORDEIRO, 2006). O município é famoso pelos vinhos produzidos a partir de variedades de uvas europeias (*Vitis vinifera*) como Cabernet Sauvignon, Merlot, Sauvignon Blanc, Sangiovese, Pinot Noir, Chardonnay, Montepulciano, Cabernet Franc, Vermentino e Touriga Nacional (EPAGRI, 2019). Santos et al. (2022) sugerem a denominação “vinhos vulcânicos de altitude” por eles serem produzidos com uvas plantadas em vinhedos que estão localizados em altitudes superiores a 900 metros, com solos derivados de rochas vulcânicas que formam encostas com alta ou baixa declividade dependendo da morfologia e composição das rochas (Fig. 12).



Figura 12. Exemplo de vinhedos plantados em áreas de altitude (> 900 m) com encostas de baixa declividade (frente da fotografia) e alta declividade (fundo da fotografia) (vinícola Villa Francioni).

A geologia de São Joaquim é composta por rochas vulcânicas pertencentes à Província Magmática Paraná (PEATE, 1992; PEATE, 1997). A Província Magmática Paraná é composta por uma sequência de rochas extrusivas e intrusivas de composição basáltica, andesítica, dacítica e riolítica, que foi formada por um grande evento magmático que precedeu o rompimento do Supercontinente Gondwana e a abertura do Oceano Atlântico por volta de 134 Ma (Cretáceo Inferior) (GOMES & VASCONCELOS, 2021). É considerada uma das maiores províncias magmáticas continentais do mundo com volume de rochas extrusivas estimado em pelo menos 1.700.000 km³ (FRANK et al., 2009). No Brasil, as rochas extrusivas e intrusivas da Província Magmática Paraná estão agrupadas no Grupo Serra Geral (ROSSETTI et al., 2018; 2021), representante vulcânico da Bacia do Paraná (CPRM, 2022). Em São Joaquim, o Grupo Serra Geral é dividido em: (I) Formação Vale do Sol (50,53 - 55,09 % SiO₂), composta por derrames de lavas espessos de andesitos basálticos do tipo *rubbly pahoehoe* de baixo-Ti (~1,75% TiO₂) e do tipo *pahoehoe* de baixo-Ti (1,34 - 1,55 % TiO₂), do magma-tipo Gramado, além de intrusões de composição basáltica alto-Ti (> 3,5% TiO₂) do magma-tipo Urubici e (II) Formação Palmas (66,58 - 70,12 % SiO₂) composta por derrames de lavas tabulares de dacitos baixo-Ti (0,86 – 1,08 % TiO₂) do magma-tipo Palmas (BESSER, 2017; BESSER et al., 2018; SANTOS, 2016; SANTOS et al., 2019; CPRM, 2022).

A geomorfologia de São Joaquim é caracterizada pelas unidades geomorfológicas do Planalto Dissecado Rio Uruguai e Planalto dos Campos Gerais (SANTA CATARINA, 2016). O Planalto Dissecado Rio Uruguai é constituído por um relevo acidentado com encostas dissecadas por vales profundos, enquanto o Planalto dos Campos Gerais é caracterizado por um relevo plano pouco dissecado. De modo geral, o município pode ser caracterizado por altitudes que variam de 715 a 1.638 metros com quase metade de suas encostas com declividade entre 20 – 45 % (do tipo forte ondulado) (SANTOS, 2016; SANTOS et al., 2019).

A pedologia de São Joaquim é formada predominantemente por solos jovens, pedregosos, com textura argilosa (> 35% de argila), distróficos e ácidos (pH < 6,5). As principais classes de solos encontradas são os Cambissolos, Neossolos, Nitossolos, Organossolos e Gleissolos (EMBRAPA, 2004, DORTZBACH, 2016; SANTOS, 2016; SANTOS et al., 2019; SANTOS et al., 2023). Os Cambissolos são moderadamente drenados, possuem textura argilosa, entre 60 - 150 cm de profundidade, com média de 4,21% de matéria orgânica e pH médio de 4,99 (EMBRAPA, 2004; DORTZBACH, 2016; SANTOS, 2016; SANTOS et al., 2023). Os Neossolos são moderadamente drenados, possuem textura argilosa, menos de 60 cm de profundidade, com média de 5,11% de matéria orgânica e pH médio de 4,92 (EMBRAPA, 2004; DORTZBACH, 2016; SANTOS, 2016; SANTOS et al., 2023). Os Nitossolos são bem drenados, possuem textura argilosa, mais de 150 cm de profundidade, média de 3,17% de matéria orgânica e pH médio de 5,17 (EMBRAPA, 2004; DORTZBACH, 2016; SANTOS, 2016; SANTOS et al., 2023). Os Organossolos são moderadamente drenados, possuem textura argilosa, menos de 60 cm de profundidade, com média de 12,39% de matéria orgânica e pH médio de 4,63 (EMBRAPA, 2004; SANTOS et al., 2023). Os Gleissolos são mal drenados, possuem textura argilosa e profundidade inferior a 60 cm (EMBRAPA, 2004). A maioria dos vinhedos são plantados em Cambissolos (DORTZBACH, 2016).

Com uma distância de cerca de 100 km do Oceano Atlântico, o clima de São Joaquim tem influências continentais e oceânicas. De acordo com os critérios de Köppen (1936), o clima do município é classificado como do tipo Cfb (clima subtropical oceânico úmido, sem estação seca e com verão moderado) caracterizado por precipitação anual superior a 40 mm no mês mais seco e temperatura média inferior a 22 °C no mês mais quente (ALVARES et al., 2013). Segundo dados meteorológicos históricos (1961 - 2015), o município é caracterizado por uma temperatura média anual de 13 °C, uma precipitação média total de 1.680 mm/ano e uma radiação solar média total de 1.832 h/ano (SANTOS, 2016; SANTOS et al., 2019). Devido à baixa temperatura e à alta precipitação, o município pode ser afetado por geadas durante todos os meses do ano. É um dos poucos locais do Brasil com ocorrência de neve e com temperatura mínima recorde de -10 °C registrada no inverno de 1991 (INMET, 2023).

6. MATERIAIS E MÉTODOS

6.1 BASE CARTOGRÁFICA

Para elaboração dos produtos cartográficos foram utilizados os dados do Levantamento Aerofotogramétrico do Estado de Santa Catarina disponibilizados pela Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável do Governo do Estado de Santa Catarina (SDE, 2013), que foram importados no software ArcGIS® 10.2.2 (ESRI, 2013) para a geração dos mapas. A estatística dos arquivos do tipo *shapefile* foi calculada utilizando a ferramenta *Calculate Geometry*. As especificações de fontes de dados e tratamento dos mesmos em cada um dos fatores é detalhada em cada item a seguir.

6.2 FATOR GEOLÓGICO

Para análise do fator geológico foram utilizados os dados do Mapa Geológico da Bacia do Paraná (escala 1:1.000.000) (CPRM, 2022) (www.rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/23037), que foram importados no software ArcGIS® 10.2.2 (ESRI, 2013) para a geração do mapa geológico do município de São Joaquim. A estatística do arquivo do tipo *shapefile* foi calculada utilizando a ferramenta *Calculate Geometry*. Em cada um dos 16 afloramentos de rocha de São Joaquim visitados em campo foi realizado registro fotográfico do local, descrição macroscópica das rochas e coleta de amostras para confecção de lâminas petrográficas, realização de análises geoquímicas de rocha total e caracterização das unidades geológicas do município.

Para análise petrográfica foram enviadas amostras de rocha ao Laboratório de Laminação (LabLAM) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) para confecção das lâminas petrográficas e os aspectos mineralógicos e texturais foram descritos com o auxílio do microscópio óptico (Olympus BX41TF). Para análise geoquímica foram enviadas amostras de rocha ao laboratório SGS GEOSOL para quantificação dos elementos maiores, traços e terras raras. Os elementos maiores (Si, Al, Fe, Mg, Ca, Na, K, Ti, P, Mn e Cr) e traços (Ba, Sr, Zr, Zn, V) foram determinados por espectrometria de emissão óptica com plasma acoplado – ICP-OES (*Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry*). Os elementos traços (Rb, Nb, Y, U, Ga, Hf e Co) e terras raras (Ta, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Ho, Er, Yb, Lu, Cs, Th) foram determinados por espectrometria de massa de plasma indutivamente acoplado (ICP-MS – *Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry*). Os dados geoquímicos das 16 amostras de rocha analisadas foram organizados no software Microsoft Excel 2016 (MICROSOFT CORPORATION, 2016), juntamente com mais 5 amostras de rocha de Santos (2016) e 39 amostras de rocha de Besser (2017), e analisados no software Geochemical Data Toolkit (GCDKit), versão 4.1, elaborado por Janoušek et al. (2006). Para dados suplementares das análises geoquímicas consultar ANEXO 4.

6.3 FATOR FISIAGRÁFICO

Para análise do fator fisiográfico foram utilizados os dados do Mapa de Geomorfologia (escala 1:1.000.000) do Atlas Geográfico de Santa Catarina (SANTA CATARINA, 2016) e dados do Modelo Digital de Elevação (MDE) com resolução espacial de 1 metro (escala 1:10.000) do Levantamento Aerofotogramétrico do Estado de Santa Catarina (SDE, 2013), que foram importados no software ArcGIS® 10.2.2 (ESRI, 2013) para a geração dos mapas geomorfológico, de declividade, de altitude e de orientação das encostas do município de São Joaquim. A estatística dos arquivos do tipo *shapefile* foi calculada utilizando a ferramenta *Calculate Geometry* e a estatística dos arquivos do tipo *raster* foi calculada utilizando a ferramenta *Zonal Statistics as Table* do *Spatial Analyst Tool*.

O mapa geomorfológico foi gerado em arquivo do formato *shapefile* a partir da digitalização do Mapa de Geomorfologia (escala 1:1.000.000) do Atlas Geográfico de Santa Catarina (SANTA CATARINA, 2016). O mapa de declividade em porcentagem (%) foi gerado em arquivo do formato *raster* utilizando a ferramenta *Slope* do *Spatial Analyst Tool* e classificado de acordo com as classes

de relevo do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2018). O mapa de altitude foi gerado em arquivo do formato *raster* através da classificação do MDE em intervalos de 100 metros. E o mapa de orientação em graus (°) das encostas foi gerado em arquivo do formato *raster* utilizando a ferramenta *Aspect* do *Spatial Analyst Tool* e classificado em Plano (-1°), Norte (0° - 22,5° e 337,5° - 360°), Nordeste (22,5° - 67,5°), Leste (67,5° - 112,5°), Sudeste (112,5° - 157,5°), Sul (157,5° - 202,5°), Sudoeste (202,5° - 247,5°), Oeste (247,5° - 292,5°) e Nordeste (292,5° - 337,5°).

6.4 FATOR PEDOLÓGICO

Para análise do fator pedológico foram utilizados os dados do Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado de Santa Catarina (escala 1:250.000) (EMBRAPA, 2004) (http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%3Alev_sc_estado_solos_lat_long_wgs84#more), que foram importados no software ArcGIS® 10.2.2 (ESRI, 2013) para a geração do mapa pedológico do município de São Joaquim. A estatística do arquivo do tipo *shapefile* foi calculada utilizando a ferramenta *Calculate Geometry*. Em cada um dos 13 perfis de solo de São Joaquim visitados em campo foi realizada registro fotográfico do local, descrição morfológica dos horizontes e coleta de amostras para análises físicas e químicas e caracterização das unidades pedológicas do município.

As descrições morfológicas das amostras foram realizadas conforme o Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo (SANTOS et al., 2015). As amostras dos horizontes coletados foram enviadas ao Laboratório de Química e Fertilidade do Solo da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, onde os atributos físicos e químicos foram avaliados segundo as metodologias de Embrapa (1997) e Tedesco et al. (1995). As análises realizadas foram: composição granulométrica (areia, silte e argila), 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. = $\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2} + \text{K}^+ + \text{Na}^+$), a $\text{CTC}_{\text{efetiva}}$ (= S.B. + Al^{+3}), a $\text{CTC}_{\text{potencial}}$ (= $\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2} + \text{K}^+ + \text{Na}^+ + \text{Al}^{+3} + \text{H}^+$), o teor de matéria orgânica (M.O. = $\text{C-org} \times 1,724$), a $\text{CTC}_{\text{argila}}$ (= $(\text{CTC}_{\text{potencial}}) / \% \text{ argila} \times 100$), a saturação por alumínio ($\text{m}\% = (\text{Al}^{+3} / \text{CTC}_{\text{efetiva}}) \times 100$) e a saturação por bases ($\text{V}\% = (\text{S.B.} / \text{CTC}_{\text{potencial}}) \times 100$). Os dados físicos e químicos dos 13 perfis de solo analisados (57 amostras) foram organizados, juntamente com amostras de solo de mais 9 perfis de solo de Santos (2016) (51 amostras) e de 15 perfis de solo de Dortzbach (2016) (76 amostras), e analisados no software Microsoft Excel 2016 (MICROSOFT CORPORATION, 2016) quanto seus valores máximos, mínimos, médios, mediana, desvio médio e desvio padrão. Para dados suplementares das análises físicas e químicas consultar ANEXO 5. A classificação dos horizontes diagnósticos superficiais (A ou O) e subsuperficiais (B ou C), e classificação dos perfis de solos até o quarto nível categórico (ordem, subordem, grandegrupo e subgrupo), foi realizada conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2018), *Keys to Soil Taxonomy* (USDA, 2022) e *World Reference Base for Soil Resources* (IUSS, 2022).

Com os dados pedológicos foram publicados dois trabalhos: um livro sobre os solos de São Joaquim que pode ser consultado no ANEXO 1 e um capítulo sobre os solos da Serra Catarinense que pode ser consultado no ANEXO 2.

6.5 FATOR METEOROLÓGICO

Para análise do fator meteorológico foram utilizados os dados climáticos históricos (1970 – 2000) com resolução espacial de 30 arc-sec (~1 km²) disponibilizados pelo WorldClim 2 (FICK & HIJMANS, 2017) (<https://www.worldclim.org/data/index.html>), que são dados gerados interpolando os dados mensais de 9.000 a 60.000 estações meteorológicas localizadas ao redor do globo e apresentam uma validação-cruzada global com correlações de $\geq 0,99$ para temperatura e umidade, de 0,86 para precipitação e de 0,76 para velocidade do vento (FICK & HIJMANS, 2017); e pelo Global Aridity Index and Potential Evapotranspiration Climate Database v2 (TRABUCCO & ZOMER, 2019) (<https://cgiarcsi.community/data/global-aridity-and-pet-database>), que foram gerados a partir daqueles.

Os dados de temperatura média (°C), máxima (°C) e mínima mensal (°C), precipitação média mensal (mm), radiação solar média mensal (MJ.m⁻² convertida para hora) e e evapotranspiração média mensal (mm) que abrangem todo o território de São Joaquim foram importados no software ArcGIS® 10.2.2 (ESRI, 2013) para a geração dos mapas meteorológicos do município. O mapa dos climas vitícolas do Sistema de Classificação Climática Multicritério Geovitícola (TONIETTO & CARBONNEAU, 2004) foi gerado com base em três índices descritos nos itens anteriores: Índice Heliotérmico (HUGLIN, 1978), Índice de Frio Noturno (TONIETTO, 1999; TONIETTO & CARBONNEAU, 2004) e Índice de Seca (TONIETTO, 1999; TONIETTO & CARBONNEAU, 2004). Para maiores informações, acessar o site do Sistema CCM Geovitícola (<https://www.embrapa.br/uva-e-vinho/ccm-geoviticola>).

As médias anuais foram calculadas somando as médias mensais e dividindo pelos 12 meses do ano, enquanto as somas anuais foram calculadas apenas somando as médias mensais. As tabelas de distribuição espacial foram calculadas utilizando a ferramenta *Zonal Statistics as Table* do *Spatial Analyst Tool* no software ArcGIS® 10.2.2 (ESRI, 2013) e os gráficos com linhas que mostram as tendências das médias mensais ao longo do ano foram gerados utilizando a ferramenta *Inserir Gráficos de Linhas ou de Áreas* no software Microsoft Excel 2016 (MICROSOFT CORPORATION, 2016).

6.6 FATOR VITÍCOLA

Para análise do fator vitícola foram utilizados os dados do cadastro vitícola do estado de Santa Catarina realizado pela Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI, 2013; 2019) e analisados no software Microsoft Excel 2016 (MICROSOFT CORPORATION, 2016) para identificar as principais características da vitivinicultura de São Joaquim, como área plantada, variedades cultivadas, porta-enxerto utilizados, sistema de condução, espaçamento entre videiras e espaçamento entre fileiras. Também foi realizado um levantamento nos *sites* das vinícolas do município para identificar os principais tipos de vinhos produzidos em São Joaquim que foram analisados no software Microsoft Excel 2016 (MICROSOFT CORPORATION, 2016) e uma conferência do Caderno de Especificações Técnicas da Indicação de Procedência Vinhos de Altitude de Santa Catarina (INPI, 2021) para identificar os requisitos que devem ser cumpridos no cultivo das uvas e na produção dos vinhos.

6.7 INTEGRAÇÃO DOS FATORES

6.7.1 Sub-unidades de Terroir

Após análise dos fatores que compõem o *terroir* de São Joaquim foram escolhidos os fatores geológico, pedológico e meteorológico (temperatura e precipitação) para análise multifatorial e classificação das diferentes sub-unidades de *terroir* por esses apresentarem maior influência na viticultura do município. Os arquivos em formato *shapefile* (.shp) ou *raster* (.tif) foram analisados no software ArcGIS® 10.2.2 (ESRI, 2013). O formato *shapefile* é um tipo de formato de arquivo utilizado para armazenar localização geométrica e informações dos atributos de feições geográficas que podem ser representadas por pontos, linhas ou polígonos (ESRI, 2021a). O formato *raster* é um tipo de formato de arquivo que consiste em uma matriz de células (*pixels*) organizadas em uma grade de linhas e colunas (*grid*), onde cada célula contém um valor que representa uma determinada informação (e.g. fotografias aéreas digitais, imagens de satélite, fotografias digitais ou até mesmo mapas digitalizados) (ESRI, 2021b).

Os arquivos em formato *shapefile* dos fatores geológico e pedológico foram convertidos para formato *raster* com pixel de tamanho de 100 x 100 metros através da ferramenta *Polygon to Raster* do *Conversion Tool* e os arquivos em formato *raster* dos fatores meteorológico (temperatura e precipitação) foram reamostrados para pixel de tamanho de 100 x 100 metros através da ferramenta *Resample* do *Data Management Tool*. A utilização dos arquivos em formato *raster* foi escolhida para que fosse possível realizar o somatório dos arquivos através da ferramenta *Raster Calculator* do *Spatial Analyst Tool*. Os intervalos de valores dos quatro arquivos em formato *raster* dos fatores geológico, pedológico e meteorológico (temperatura e precipitação) foram reclassificados através da ferramenta *Reclassify* do *Spatial Analyst Tool* e os arquivos foram integrados em um único arquivo em formato *raster* através da soma dos valores reclassificados pela ferramenta *Raster Calculator* do *Spatial Analyst Tool*, cujo valor final somado de cada pixel resulta em um código que representa uma sub-unidade de *terroir*.

6.7.2 Isótopos de Estrôncio ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)

Em março de 2021 foram coletadas amostras de rocha (3 amostras), solo (6 amostras que foram separadas em frações *bulk soil* e *labile soil*), videira (6 amostras de uva e 6 amostras de folhas) e vinho (3 amostras) em vinhedos de três vinícolas comerciais (Villaggio Bassetti, Monte Agudo e Hiragami) localizadas no município de São Joaquim. As razões dos isótopos de estrôncio ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) foram analisadas no laboratório GEOTOP - *Centre de recherche sur la dynamique du système Terre* da *Université du Québec à Montréal* (Canadá) durante o estágio de pesquisa concedido pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) através do Programa de Doutorado Sanduíche no Exterior (PDSE). As amostras de rocha foram coletadas próximas aos vinhedos e armazenadas em sacos plásticos limpos. As amostras de solo (frações *bulk soil* e *labile soil*) foram coletadas próximas ao sistema radicular das videiras numa profundidade entre 0 e 40 cm com

auxílio de uma pá de aço inoxidável e armazenadas em sacos plásticos limpos em temperatura ambiente, conforme a metodologia de Vinciguerra et al. (2016), Guibourdenche et al. (2020) e Almeida (2021). As amostras de videira (uvas e folhas) foram coletadas manualmente das plantas de duas variedades (Sauvignon Blanc e Cabernet Sauvignon) e armazenadas em sacos plásticos limpos a -20 °C. As amostras de vinhos das mesmas variedades foram adquiridas nas vinícolas (vinhos comerciais) e armazenadas em garrafas plásticas esterilizadas (100 mL) a 4 °C. O preparo das amostras foi realizado seguindo o método descrito por Vinciguerra et al. (2016), Guibourdenche et al. (2020) e Almeida (2021). Para maiores detalhes dos procedimentos analíticos da obtenção dos dados isotópicos consultar ANEXO 3.

7. RESULTADOS

7.1 ÁREA DE ESTUDO

O município de São Joaquim, localizado na Serra Catarinense, estado de Santa Catarina, possui uma extensão territorial de 1.887,27 km² (SDE, 2013) e faz divisa com outros cinco municípios catarinenses (Lages, Paineira, Urupema, Urubici e Bom Jardim da Serra) e com o estado do Rio Grande do Sul (Fig. 13). A seguir são descritos os fatores geológico, fisiográfico, pedológico, meteorológico e vitícola que compõem seu *terroir*.

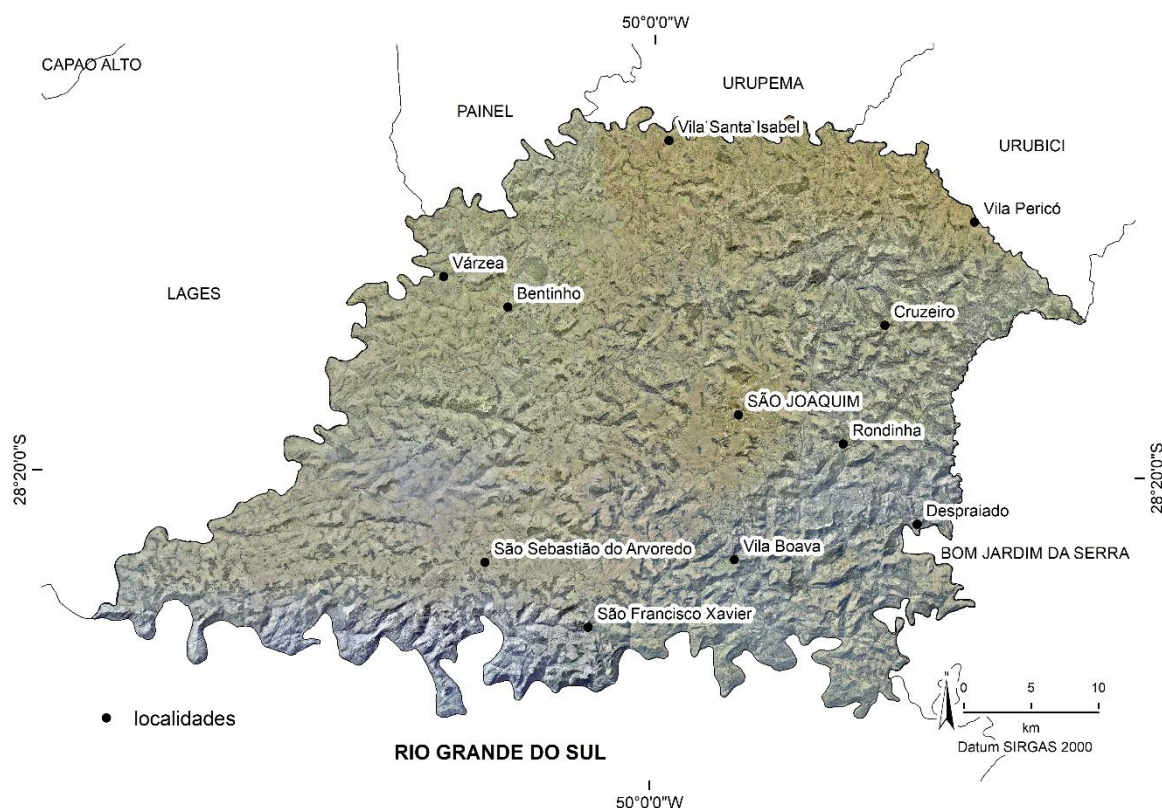


Figura 13. Mapa de localização do município de São Joaquim, estado de Santa Catarina. Fonte: elaborado pelo autor com dados de SDE (2013).

7.2 FATOR GEOLÓGICO

A geologia do município de São Joaquim é composta, segundo o Mapa Geológico da Bacia do Paraná (CPRM, 2022), por duas unidades geológicas do Grupo Serra Geral (Fig. 14), descritas da base para o topo: Formação Vale do Sol, que ocupa a maior parte do município (82,61%, Tab. 2), formada por andesitos basálticos e subordinados andesitos e basaltos; derrames *rubbly pahoehoe* (com brechas autoclásticas no topo), tabulares e espessos; e a Formação Palmas composta por dacitos e subordinados riolitos, afíricos e geralmente devitrificados; derrames espessos tabulares, domos, lobos de lava e sistemas de condutos rasos; camadas e lentes de obsidiana hidratada de cor preta (*pitchstone/vitrófiro*); localmente autobrechas basais e frontais, estruturas e dobras de fluxo.

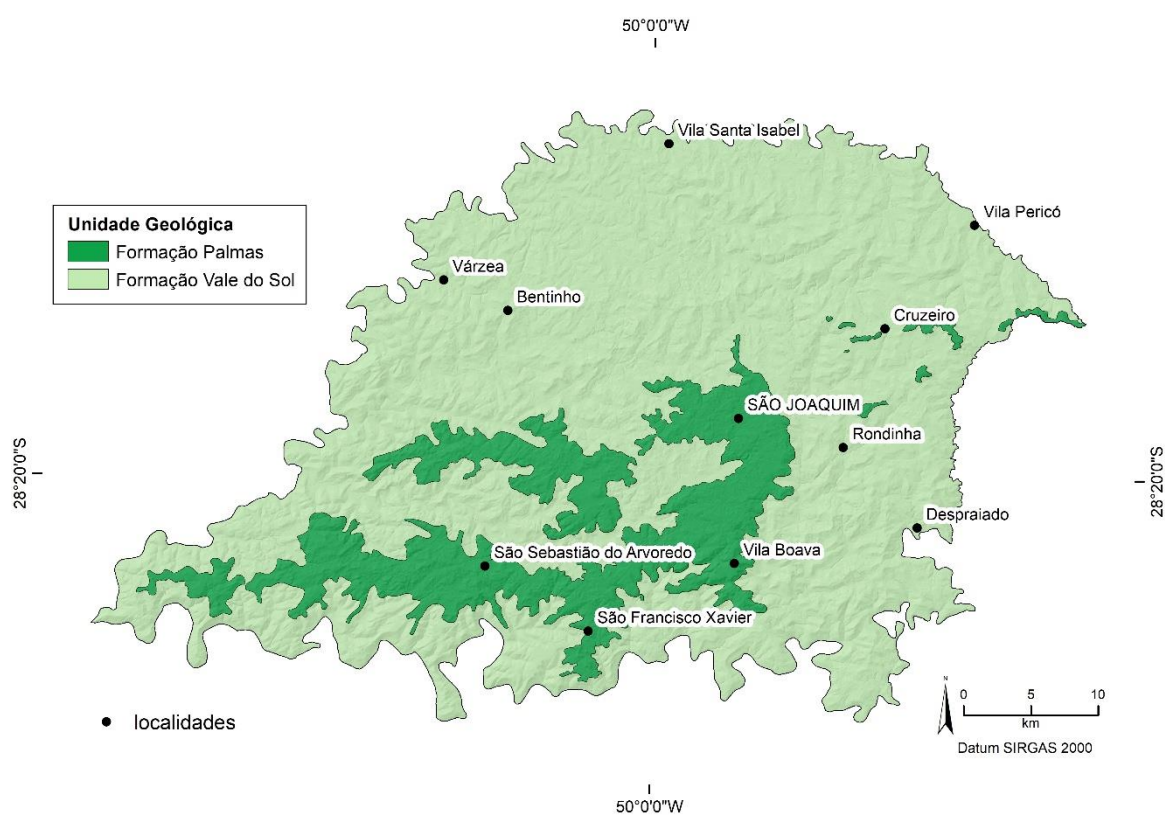


Figura 14. Mapa geológico do município de São Joaquim.
Fonte: elaborado pelo autor com dados de CPRM (2022).

Tabela 2. Distribuição espacial das unidades geológicas no município.

Grupo Serra Geral (Bacia do Paraná)	Área (km ²)	Área (%)
Formação Palmas	328,17	17,39
Formação Vale do Sol	1.559,11	82,61
Total	1.887,28	100,00

Fonte: elaborado pelo autor com dados de CPRM (2022).

Foram compilados os dados geoquímicos de 60 amostras do município de São Joaquim (SANTOS, 2016; BESSER, 2017; presente trabalho), classificadas segundo o diagrama TAS (total álcalis x sílica) de Le Bas et al. (1986) e os magma-tipos de Peate (1992) (Fig. 15, Tab. 3). As rochas

da Formação Vale do Sol foram classificadas como andesitos basálticos, basaltos e andesitos (50,31 - 57,61 % SiO₂) de baixo-titânio (1,27 - 2,05 % TiO₂) dos magma-tipos Gramando e Esmeralda; e basaltos, traqui-basaltos e traqui-andesitos basálticos (49,83 - 52,14 % SiO₂) de alto-titânio (3,61 - 4,10 % TiO₂) dos magma-tipos Urubici e Pitanga. As rochas da Formação Palmas foram classificadas como dacitos, riolitos e traquidacitos (66,58 - 70,12 % SiO₂) de baixo-titânio (0,86 - 1,08 % TiO₂) do magma-tipo Palmas.

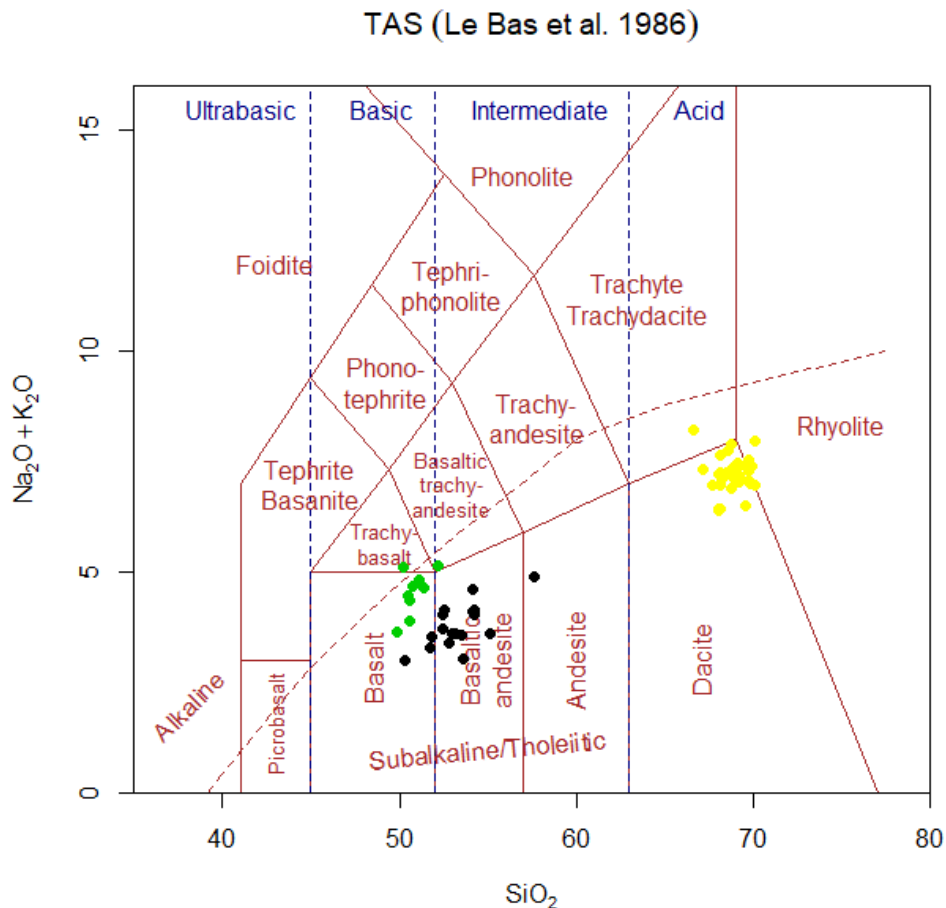


Figura 15. Classificação geoquímica das amostras da Formação Vale do Sol (em preto as baixo-titânio e em verde as alto-titânio) e da Formação Palmas (em amarelo) no diagrama TAS (total álcalis x sílica) de Le Bas et al. (1986).

Tabela 3. Valores mínimos, máximos e médios dos elementos maiores e traços dos dados compilados de amostras de rochas do Grupo Serra Geral no município de São Joaquim.

Estatística	Formação Vale do Sol (n = 26)			Formação Palmas (n = 34)		
	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média
SiO ₂ (%)	49,83	57,61	52,46	66,58	70,12	68,79
TiO ₂ (%)	1,27	4,10	2,29	0,86	1,08	0,94
Al ₂ O ₃ (%)	12,60	14,57	13,64	12,27	14,03	12,86
Fe ₂ O ₃ (%)	12,07	16,02	13,85	4,33	6,70	5,67
MnO (%)	0,14	0,22	0,19	0,05	0,14	0,10
MgO (%)	3,28	7,36	4,77	0,90	1,82	1,31
CaO (%)	6,54	10,60	8,43	1,80	3,90	2,82
Na ₂ O (%)	2,36	3,19	2,67	2,42	3,78	3,13
K ₂ O (%)	0,60	2,38	1,36	2,87	4,81	4,08
P ₂ O ₅ (%)	0,17	0,63	0,34	0,26	0,35	0,28
Total (normalizado)	100	100	100	100	100	100
Sr (ppm)	172	776	375	90	191	133
Ba (ppm)	143	789	434	526	836	636
Zr (ppm)	86	349	191	215	289	242
Y (ppm)	22	61	36	33	105	45
Zr/Y	2,05	9,32	5,44	2,43	7,82	5,76
Sr/Y	3,03	21,55	10,72	0,90	5,17	3,21
Ba/Y	4,62	19,15	12,15	7,36	20,17	14,95

Fonte: elaborado pelo autor com dados de Santos (2016), Besser (2017) e do presente trabalho.

A seguir são descritas as amostras de rocha analisadas nesta pesquisa das formações e dos principais magma-tipos encontrados no município:

Da Formação Vale do Sol, os afloramentos de rocha mais comuns em São Joaquim são de andesitos basálticos do magma-tipo Urubici e Gramado. O afloramento de traqui-andesito basáltico do magma-tipo Urubici, localizado próximo à propriedade da vinícola Vinhedos do Monte Agudo apresenta características típicas de um derrame do tipo *rubby pahoehoe*: vesículas e amígdalas na base, estrutura maciça no centro e fragmentos de rocha no topo (Fig. 16A). A amostra dessa rocha analisada ao microscópio óptico apresenta textura afanítica (minerais de tamanho < 1 mm) com microfenocristais de plagioclásio (tamanho de ~20 µm) com estrutura *swallow-tail* (típico de resfriamento rápido), cristais subédricos de clinopiroxênio e minerais opacos com formato cúbico (compondo 15% da lâmina) imersos em uma matriz criptocristalina (compondo 55% da lâmina) que formam uma textura intersetal (Fig. 17AB). O afloramento de andesito basáltico do magma-tipo Gramado, localizado próximo à propriedade da vinícola Villaggio Bassetti, apresenta características típicas de um derrame do tipo *pahoehoe*: estrutura maciça com disjunções em blocos (fraturas de resfriamento sub-horizontais e subverticais) (Fig. 16B). A amostra dessa rocha analisada ao microscópio óptico apresenta textura afanítica (minerais de tamanho < 1 mm) com microfenocristais de plagioclásio (tamanho de ~10 µm) com estrutura *swallow-tail* (típico de resfriamento rápido), cristais subédricos de clinopiroxênio e minerais opacos com formato cúbico (compondo 10% da lâmina) imersos em uma matriz criptocristalina (compondo 45% da lâmina) que formam uma textura intergranular (Fig. 17CD).

Da Formação Palmas, os afloramentos de rocha mais comuns em São Joaquim são de dacitos do magma-tipo Palmas. Um dos afloramentos descritos, localizado próximo à propriedade da vinícola Hiramami, apresenta características típicas de um derrame do tipo tabular maciço com disjunções sub-horizontais (fraturas de resfriamento) (Fig. 16C). A amostra dessa rocha analisada ao microscópio óptico apresenta textura afanítica (minerais de tamanho < 1 mm) com fenocristais de plagioclásio (tamanho de ~ 150 μm) com estrutura *swallow-tail* e *box-shape* (típico de resfriamento rápido), cristais subédricos de clinopiroxênio e minerais opacos com formato cúbico (compondo 5% da lâmina) imersos em uma matriz criptocristalina (compondo 45% da lâmina) com esferulitos que formam textura intersetal e esferulítica (Fig. 17EF).



Figura 16. Feições geológicas das unidades vulcânicas do Grupo Serra Geral em São Joaquim. Formação Vale do Sol: derrames de (A) traqui-andesito-basálticas do magma-tipo Urubici e (B) andesito-basálticas do magma-tipo Gramado, e (C) derrame de dacito da Formação Palmas. Como escala: (A) pessoa de 175 cm e (B, C) marreta de 40 cm.

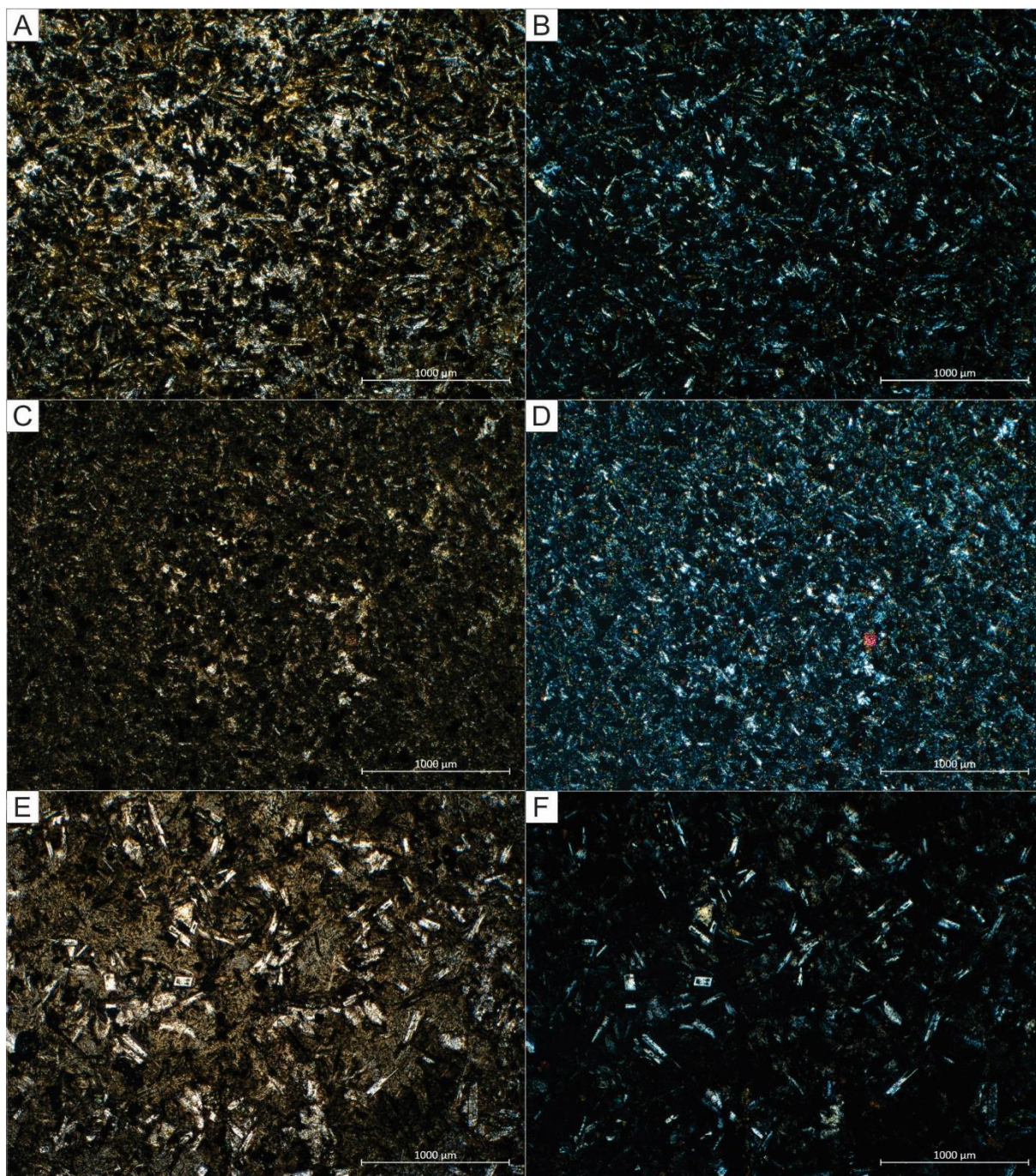


Figura 17. Fotomicrografia das principais rochas do município de São Joaquim: andesito basáltico do magma-tipo Urubici (A – em luz plano polarizada, B – nicóis cruzados), andesito basáltico do magma-tipo Gramado (C – em luz plano polarizada, D – em nicóis cruzados) e dacito do magma-tipo Palmas (E – em luz plano polarizada, E – em luz nicóis cruzados).

7.3 FATOR FISIAGRÁFICO

7.3.1 Geomorfologia

A geomorfologia do município de São Joaquim, segundo o Mapa de Geomorfologia do Atlas Geográfico de Santa Catarina (SANTA CATARINA, 2016), é formada por duas unidades da região geomorfológica Planalto das Araucárias (Fig. 18): a unidade Planalto dos Campos Gerais,

caracterizada por um relevo plano (pouco dissecado) com aprofundamento 1 (Fig. 19), e a unidade Planalto Dissecado Rio Uruguai, caracterizada por encostas em patamares com vales profundos (muito dissecado) com aprofundamento 2 (Fig. 20), sendo a última unidade a que ocupa a maior parte do município (77,63%) (Tab. 4).

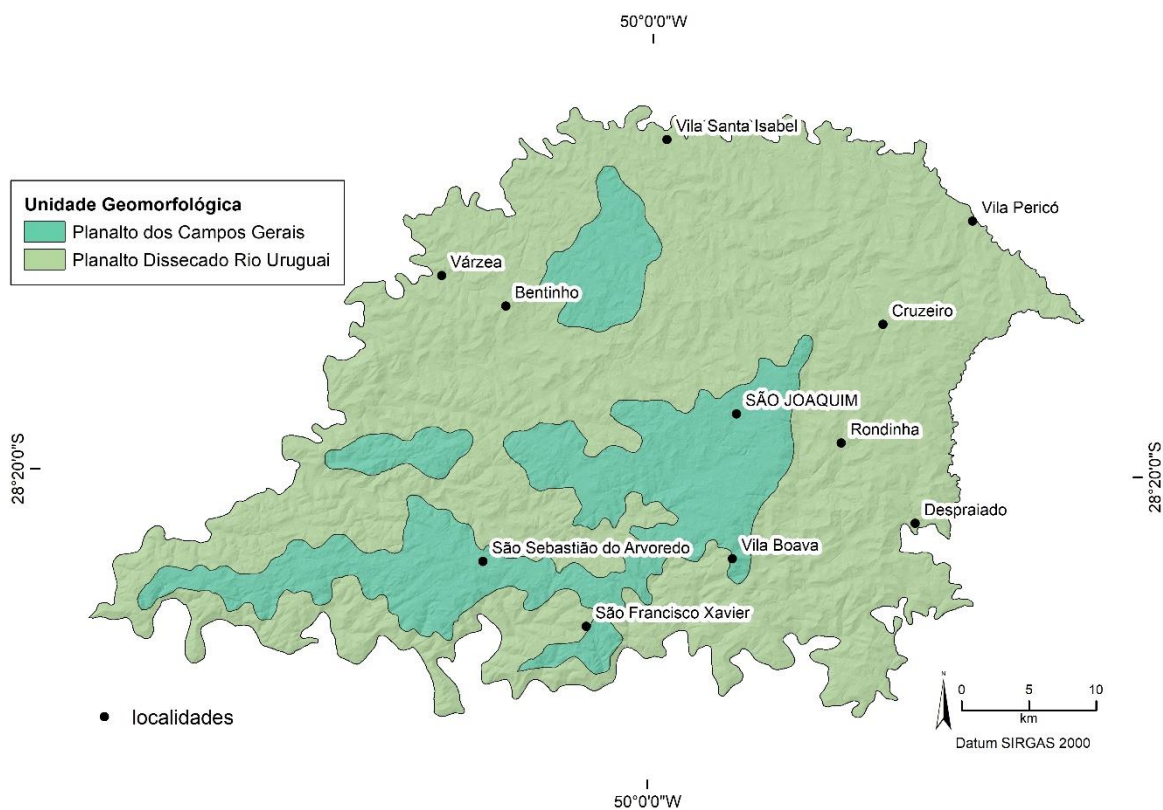


Figura 18. Mapa das unidades geomorfológicas do município de São Joaquim.
 Fonte: elaborado pelo autor com dados de Santa Catarina (2016).

Tabela 4. Distribuição espacial das unidades geomorfológicas no município.

	Área (km ²)	Área (%)
Planalto das Araucárias		
Planalto dos Campos Gerais	422,20	22,37
Planalto Dissecado Rio Uruguai	1.465,08	77,63
Total	1.887,28	100,00

Fonte: elaborado pelo autor com dados de Santa Catarina (2016).



Figura 19. Exemplo de dissecamento na unidade geomorfológica Planalto dos Campos Gerais. Fotografia tirada com drone próximo à vinícola Boutique D'alture.



Figura 20. Exemplo de dissecamento na unidade geomorfológica Planalto Dissecado Rio Uruguai. Fotografia tirada com drone próximo à vinícola Villaggio Bassetti.

7.3.2 Declividade

Em São Joaquim são encontradas declividades que variam de 0 a > 75% (configurando um relevo que varia de plano a escarpado) (Fig. 21) com grande parte do município (43,09%) sendo classificado como do tipo forte ondulado (20 - 45 % de declividade) (Tab. 5). De maneira geral, as menores declividades são encontradas na unidade geomorfológica Planalto dos Campos Gerais (Fig. 22A), enquanto as maiores declividades são encontradas na unidade geomorfológica Planalto Dissecado Rio Uruguai (Fig. 22B).

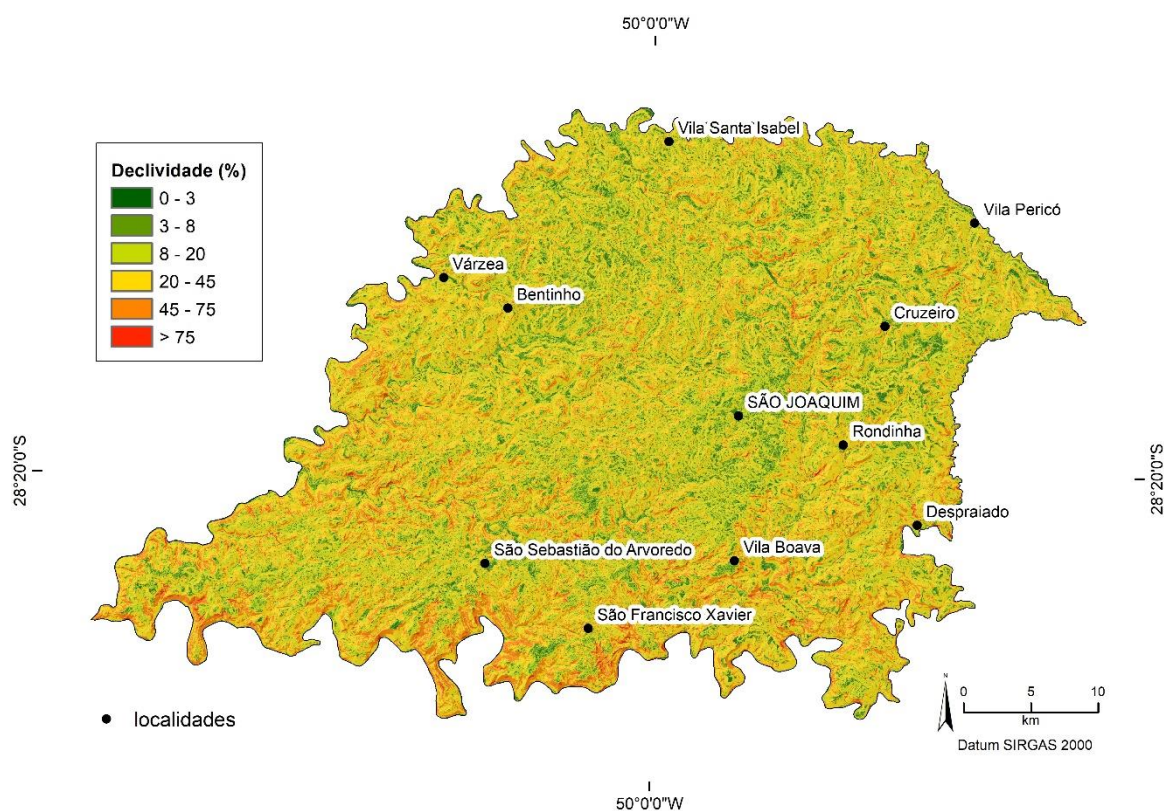


Figura 21. Mapa de declividade das encostas do município de São Joaquim.
Fonte: elaborado pelo autor com dados de SDE (2013).

Tabela 5. Distribuição espacial das classes de declividade (%) no município.

Declividade (%)	Área (km ²)	Área (%)
0 - 3 (plano)	72,10	3,82
3 - 8 (suave ondulado)	213,84	11,33
8 - 20 (ondulado)	523,85	27,76
20 - 45 (forte ondulado)	813,25	43,09
45 - 75 (montanhoso)	245,80	13,02
> 75 (escarpado)	18,41	0,98
Total	1.887,27	100,00

Fonte: elaborado pelo autor com dados de SDE (2013).

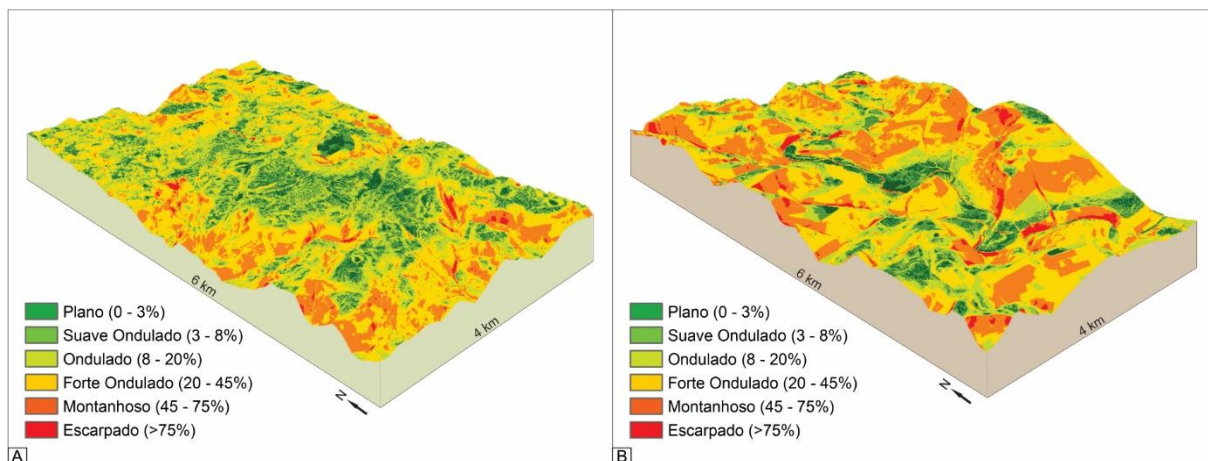


Figura 22. Blocos 3D das unidades geomorfológicas (A) Planalto dos Campos Gerais e (B) Planalto Dissecado Rio Uruguai classificadas de acordo com as classes de relevo de EMBRAPA (2018).
Fonte: elaborado pelo autor com dados de SDE (2013).

7.3.3 Altitude

Em São Joaquim são encontradas altitudes que variam de 715 m na porção sudoeste a 1.638 m na porção nordeste do município (Fig. 23), com o intervalo de 1.100 a 1.200 m ocupando a maior parte (24,90%) do município (Tab. 6). Os vinhedos mais altos estão implantados em altitudes superiores a 1.400 metros (Fig. 24).

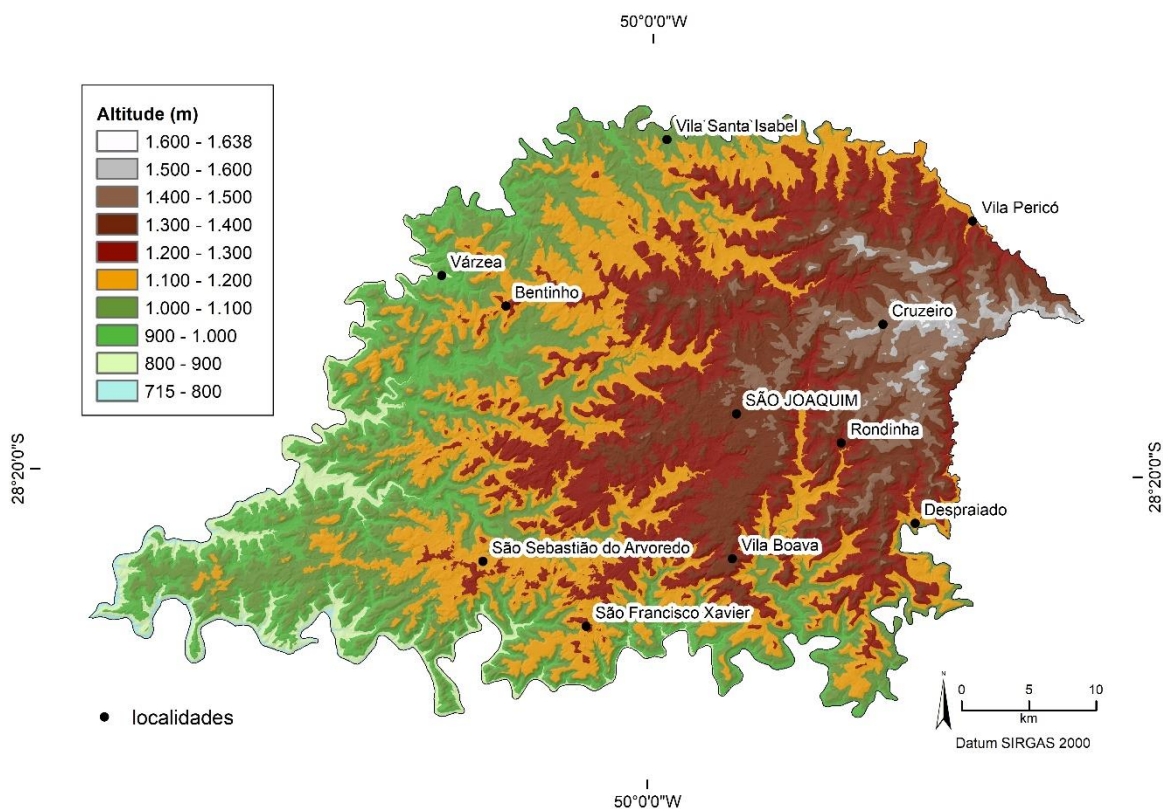


Figura 23. Mapa de altitude do município de São Joaquim.
Fonte: elaborado pelo autor com dados de SDE (2013).

Tabela 6. Distribuição espacial dos intervalos de altitude (m) no município.

Altitude (m)	Área (km ²)	Área (%)
715 - 800	12,59	0,67
800 - 900	71,97	3,81
900 - 1.000	191,86	10,17
1.000 - 1.100	376,93	19,97
1.100 - 1.200	469,89	24,90
1.200 - 1.300	375,43	19,89
1.300 - 1.400	248,39	13,16
1.400 - 1.500	115,63	6,13
1.500 - 1.600	23,52	1,25
1.600 - 1.638	1,06	0,06
Total	1.887,27	100,00

Fonte: elaborado pelo autor com dados de SDE (2013).



Figura 24. Vinhedos da vinícola Hiragami, um dos mais altos do município (> 1.400 m de altitude).

7.3.4 Orientação

Em São Joaquim são encontradas encostas com distribuição paritária (10,57 e 14,37 %) entre as diferentes orientações (N, NO, L, SE, S, SO, O, NE) e com raras ocorrências de encostas sem orientação (totalmente planas) no município (Fig. 25, Tab. 7).

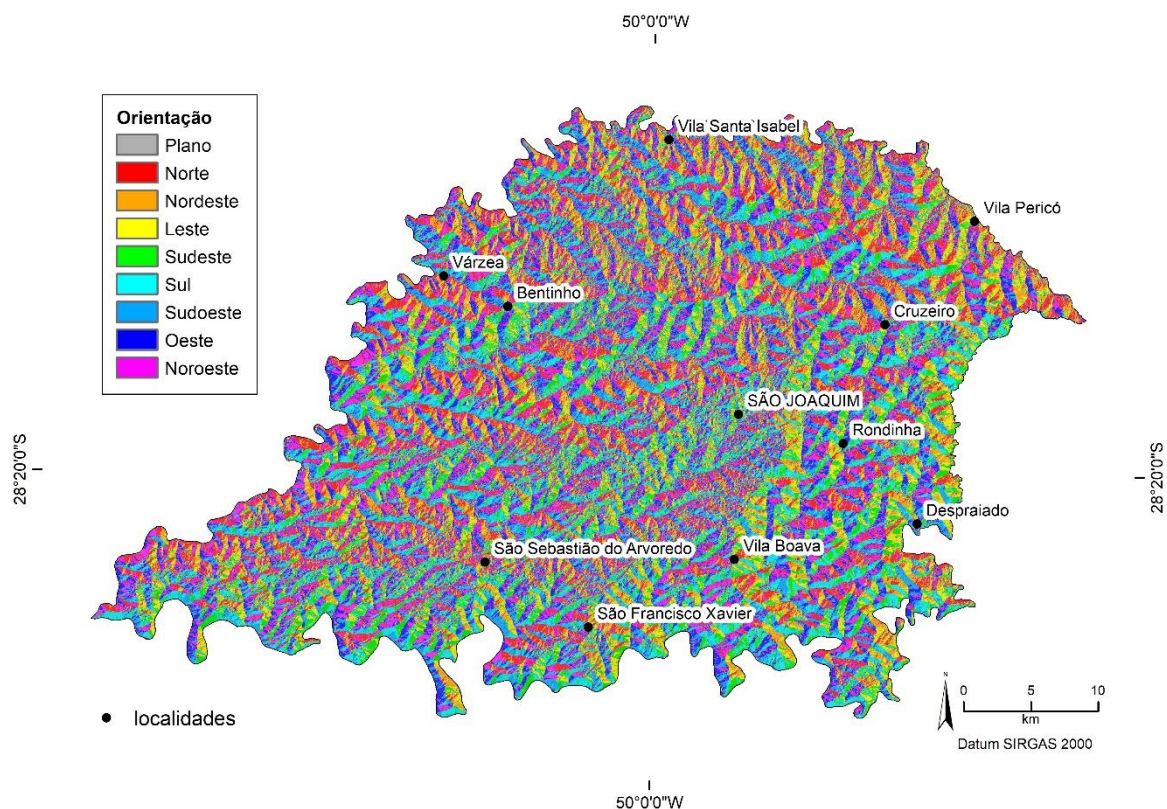


Figura 25. Mapa de orientação das encostas do município de São Joaquim.
Fonte: elaborado pelo autor com dados de SDE (2013).

Tabela 7. Distribuição espacial dos intervalos de orientação das encostas (°) no município.

Orientação (°)	Área (km ²)	Área (%)
Plano (-1°)	0,16	0,01
Norte (0° - 22,5° e 337,5° - 360°)	257,39	13,64
Nordeste (22,5° - 67,5°)	215,01	11,39
Leste (67,5° - 112,5°)	199,56	10,57
Sudeste (112,5° - 157,5°)	224,03	11,87
Sul (157,5° - 202,5°)	243,98	12,93
Sudoeste (202,5° - 247,5°)	229,33	12,15
Oeste (247,5° - 292,5°)	246,61	13,07
Noroeste (292,5° - 337,5°)	271,20	14,37
Total	1.887,27	100,00

Fonte: elaborado pelo autor com dados de SDE (2013).

7.4 FATOR PEDOLÓGICO

A pedologia do município de São Joaquim, segundo os dados do levantamento de EMBRAPA (2004) e de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2018), é formada por sete associações de solos: RL19 (Neossolos Litólicos Distróficos + Cambissolos Háplicos Tb), que ocupa a maior parte do município (30,01%), 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), CH20 (Cambissolos Húmicos Tb Distróficos + Neossolos Litólicos Distróficos + Nitossolos Brunos Distróficos), CH13 (Cambissolos Húmicos Distróficos + Neossolos Litólicos Distróficos + Gleissolos Melânicos Tb Distróficos) e CH18 (Cambissolos Húmicos Tb Distróficos + Neossolos Litólicos Distróficos) (Tab. 8). Os solos das classes dos Neossolos e Cambissolos predominam em todo município, enquanto os Nitossolos são encontrados na porção Norte e Leste (CH20, RL21 e RL24) e os Gleissolos numa pequena porção no Sul (CH13) (Fig. 26). Além disso, são encontrados solos da classe dos Organossolos, típicos de regiões de altitude, nas porções mais altas de algumas encostas do município.

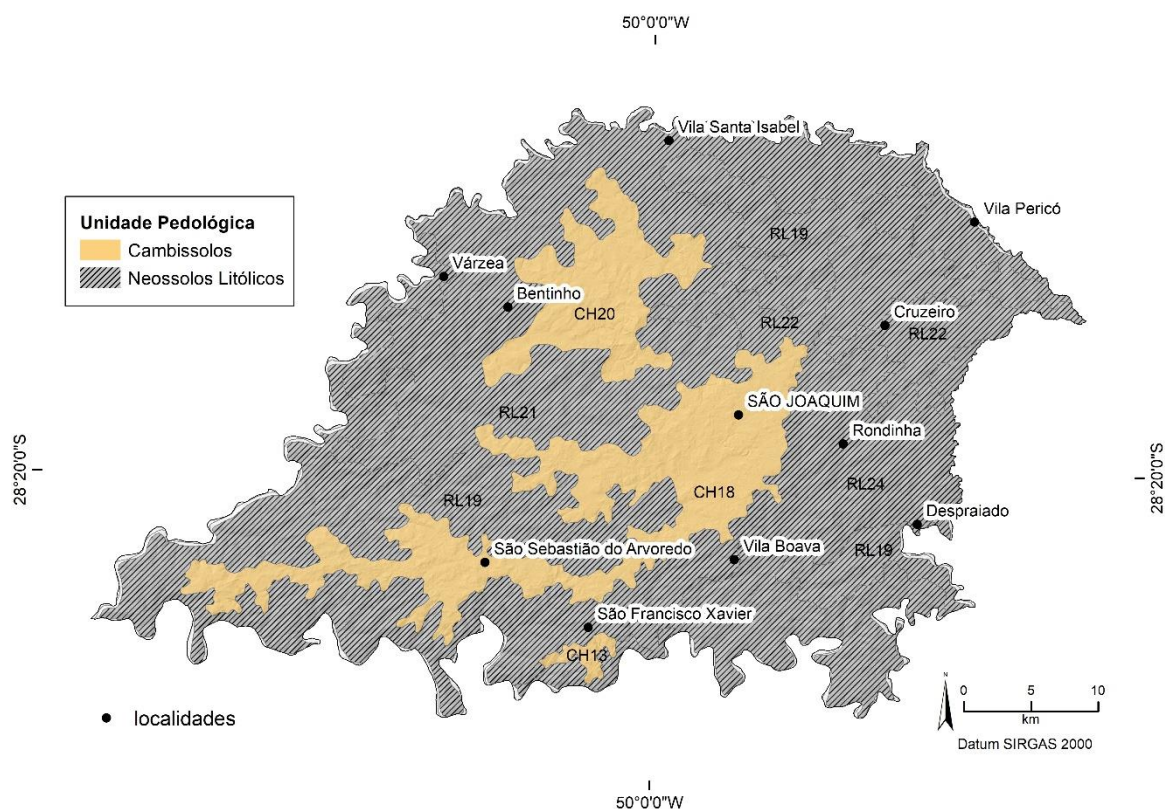


Figura 26. Mapa pedológico do município de São Joaquim.
Fonte: elaborado pelo autor com dados de EMBRAPA (2004).

Tabela 8. Distribuição espacial das associações de solos no município.

Associação	Área (km ²)	Área (%)
RL19 - Associação de Neossolos Litólicos Distróficos + Cambissolos Háplicos Tb	553,18	30,01
RL21 - Associação de Neossolos Litólicos Distróficos + Cambissolos Háplicos Tb + Nitossolos Brunos Distróficos	456,50	24,77
RL22 - Associação de Neossolos Litólicos Distróficos + Cambissolos Háplicos Tb + Neossolos Litólicos Eutróficos	94,41	5,12
RL24 - Associação de Neossolos Litólicos Distróficos + Cambissolos Háplicos Tb Distróficos + Neossolos Litólicos Eutróficos + Nitossolos Brunos/Nitossolos Vermelhos Eutróficos	367,58	19,94
CH20 - Associação de Cambissolos Húmicos Tb Distróficos + Neossolos Litólicos Distróficos + Nitossolos Brunos Distróficos	109,50	5,94
CH13 - Associação de Cambissolos Húmicos Distróficos + Neossolos Litólicos Distróficos + Gleissolos Melânicos Tb Distróficos	8,19	0,44
CH18 - Associação de Cambissolos Húmicos Tb Distróficos + Neossolos Litólicos Distróficos	253,91	13,78
Total	1.843,28	100,00

Fonte: elaborado pelo autor com dados de EMBRAPA (2004).

Através da compilação de 184 amostras de solos analisadas (Tab. 9 e 10) foi possível identificar que, em média, os solos de São Joaquim apresentam textura argilosa (139,54 g/kg de areia, 361,01 g/kg de silte e 498,42 g/kg de argila); alto teor de matéria orgânica (43,14 g/kg); pH fortemente ácido (5,03 em água); médio teor de Ca⁺² (1,75 cmolc/kg); alto teor de Mg⁺² (1,45 cmolc/kg); baixo teor de K⁺ (0,10 cmolc/kg); baixa soma de bases (3,30 cmolc/kg); alto teor de Al⁺³ (3,51 cmolc/kg); alto teor de H⁺ (10,55 cmolc/kg); alta saturação por alumínio (m% = 54,52%); baixa saturação por bases (V% = 22,41%) (distróficos); alta CTCpotencial (17,36 cmolc/kg) e alta CTCargila (36,32 cmolc/kg), segundo os valores descritos no Guia Prático para Interpretação de Resultados de Análises de Solo (EMBRAPA, 2015). Os solos de São Joaquim também são pedregosos (fase pedregosa; EMBRAPA, 2018) como pode ser observado na paisagem do município (Fig. 27).

Tabela 9. Caracterização física e química dos solos de São Joaquim.

	Areia	Silte	Argila	Relação Silte/Argila	C-org	M.O.	CTC _{argila}	pH _{água}
n = 184	-----g/kg-----				-----g/kg-----		cmolc/kg	
Média	140	362	498	0,81	25,03	43,14	36,32	5,03
Mediana	128	351	511	0,68	23,00	39,65	32,06	5,00
Máximo	467	745	730	3,52	133,62	230,36	109,63	6,50
Mínimo	25	184	212	0,26	2,32	4,00	11,19	4,09
Desvio Médio	53	77	84	0,31	11,81	20,36	13,27	0,32
Desvio Padrão	70	98	106	0,43	17,02	29,35	16,99	0,40

Fonte: elabora pelo autor com dados de Santos (2016), Dortzbach (2016) e do presente trabalho.

Tabela 10. Caracterização química dos solos de São Joaquim.

	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	S.B.	Al ⁺³	H ⁺	CTC ^{potencial}	m	V
n = 184	-----cmolc/kg-----							-----%-----	
Média	1,75	1,45	0,10	3,30	3,51	10,55	17,36	54,52	22,41
Mediana	1,05	1,00	0,05	2,26	3,25	9,20	15,74	56,37	17,76
Máximo	15,47	6,70	0,89	22,81	10,15	40,80	49,37	98,51	85,59
Mínimo	0,00	0,10	0,00	0,14	0,00	1,72	7,20	0,00	0,33
Desvio Médio	1,56	0,98	0,09	2,50	2,02	5,04	5,57	28,97	17,22
Desvio Padrão	2,19	1,29	0,14	3,40	2,35	6,81	7,35	32,89	21,18

Fonte: elaborado pelo autor com dados de Santos (2016), Dortzbach (2016) e do presente trabalho.



Figura 27. Encosta com blocos de rochas aflorando na superfície (fase pedregosa) em São Joaquim.

A seguir são descritos perfis de solo analisados nesta pesquisa que são representativos das principais classes de solo encontradas no município:

Da classe dos Cambissolos (solos pouco desenvolvidos com horizonte B incipiente) foi escolhido um perfil de solo localizado na vinícola Villaggio Bassetti classificado como Cambissolo Háplico Tb Alumínico típico de acordo com SANTOS et al. (2018), *Humic Dystrudepts* de acordo com USDA (2022) e *Dystric Cambisol* de acordo com IUSS (2022) (Fig. 28). O perfil de solo encontra-se num terço superior de encosta com declividade de 35% (relevo forte ondulado) em uma altitude de 1.296 m e apresenta profundidade maior que 90 cm. Na descrição morfológica dos horizontes (A, BA, Bi e BC) foi possível observar que predominam cores brunadas, textura muito argilosa, estrutura em blocos subangulares, consistência muito dura, friável, plástica e pegajosa (Tab. 11). Através das análises físico-química dos horizontes (A, BA, Bi e BC) foi possível constatar que o perfil de solo apresenta textura muito argilosa (> 600 g/kg), baixa CTC_{argila} (< 27 cmolc/kg), médio m% (entre 30 - 50

%), baixo V% (< 50%), pH predominantemente fortemente ácido (entre 4,3 - 5,3), alto teor de matéria orgânica no horizonte A (> 30 g/kg), médio teor de matéria orgânica no horizonte BA (entre 15 - 30 g/kg), baixo teor de matéria orgânica nos horizontes Bi e BC (< 15 g/kg), com baixos teores de soma de bases e altos teores de acidez potencial (Tab. 12).

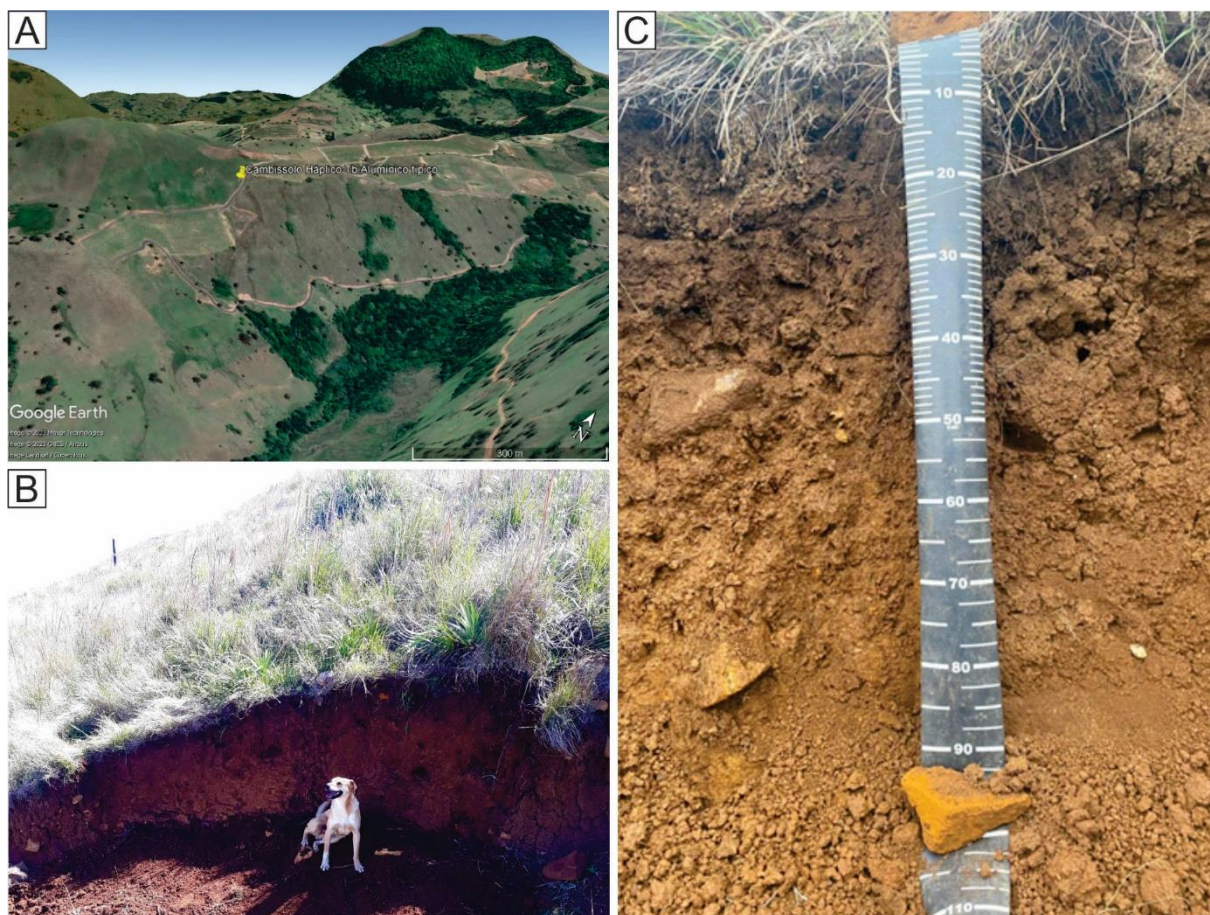


Figura 28. Cambissolo Háplico Tb Alumínico típico: (A) imagem 3D do Google Earth, (B) localização na paisagem e (C) perfil de solo.

Tabela 11. Descrição morfológica do perfil de solo Cambissolo Háplico Tb Alumínico típico.

Horizonte	Descrição
A	0 - 20 cm, bruno escuro (7,5YR 3/3, úmida); (7,5YR 4/4, seca); muito argilosa; moderado pequena granular e forte média blocos subangulares; muito dura; friável; plástica e pegajosa; transição plana e clara.
BA	20 - 45 cm, bruno escuro (7,5YR 3/4); muito argilosa; moderado e forte média blocos subangulares; muito dura; friável a firme; plástica e pegajosa; transição plana e clara.
Bi	45 - 70 cm, bruno (7,5YR 4/4); muito argilosa; moderado e forte média blocos subangulares; muito dura; friável; plástica e pegajosa; transição ondulada e clara.
BC	70 - 90+ cm, bruno (7,5YR 4/6); muito argilosa; moderado e forte pequena a grande blocos subangulares; muito dura; friável a firme; plástica e pegajosa.

Tabela 12. Dados das análises físicas e químicas do Cambissolo Háplico Tb Aluminico típico.

Horizonte	Profundidade (cm)	Granulometria (g/kg)			CTC _{argila} (cmol _e /kg)	m (%)	V (%)	P (mg/kg)
		Areia	Silte	Argila				
A	0 - 20	109	206	685	23,58	48	17	0,65
BA	20 - 45	96	184	720	20,28	74	11	0,30
Bi	45 - 70	63	207	730	22,97	78	10	0,30
BC	70 - 90+	85	315	600	23,50	79	8	0,15

Horizonte	pH _{água}	C-org (g/kg)	Complexo Sortivo (cmol _e /kg)						
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺	Al ³⁺	CTC _{pH7}
A	4,53	31,47	1,30	1,30	0,11	0,11	10,79	2,50	16,10
BA	4,93	15,55	0,60	0,80	0,05	0,09	8,61	4,45	14,60
Bi	5,19	9,34	0,60	0,90	0,05	0,06	9,51	5,65	16,77
BC	5,40	8,15	0,45	0,60	0,05	0,05	8,70	4,25	14,10

Da classe dos Neossolos (solos pouco desenvolvidos sem horizonte B diagnóstico) foi escolhido um perfil de solo localizado na vinícola Boutique D'alture, classificado como Neossolo Litólico Húmico típico de acordo com SANTOS et al. (2018), *Lithic Humudepts* de acordo com USDA (2022) e *Leptic Umbrisol* de acordo com IUSS (2022) (Fig. 29). O perfil de solo encontra-se num terço superior de encosta com declividade de 29% (relevo forte ondulado) em uma altitude de 1.313 m e apresenta profundidade de 46 cm. Na descrição morfológica dos horizontes (A1, A2 e A3) foi possível observar que predominam cores brunadas, textura argilosa, estrutura em blocos subangulares, consistência ligeiramente dura, friável, plástica e pegajosa (Tab. 13). Através das análises físico-química dos horizontes (A1, A2 e A3) foi possível constatar que o perfil de solo apresenta textura argilosa (entre 350 e 600 g/kg), alta CTC_{argila} (> 27 cmol_e/kg), alto m% (> 50%), baixo V% (< 50%), pH fortemente ácido (entre 4,3 - 5,3), médio teor de matéria orgânica (entre 15 - 30 g/kg), com baixos teores de soma das bases e altos teores de acidez potencial (Tab. 14).

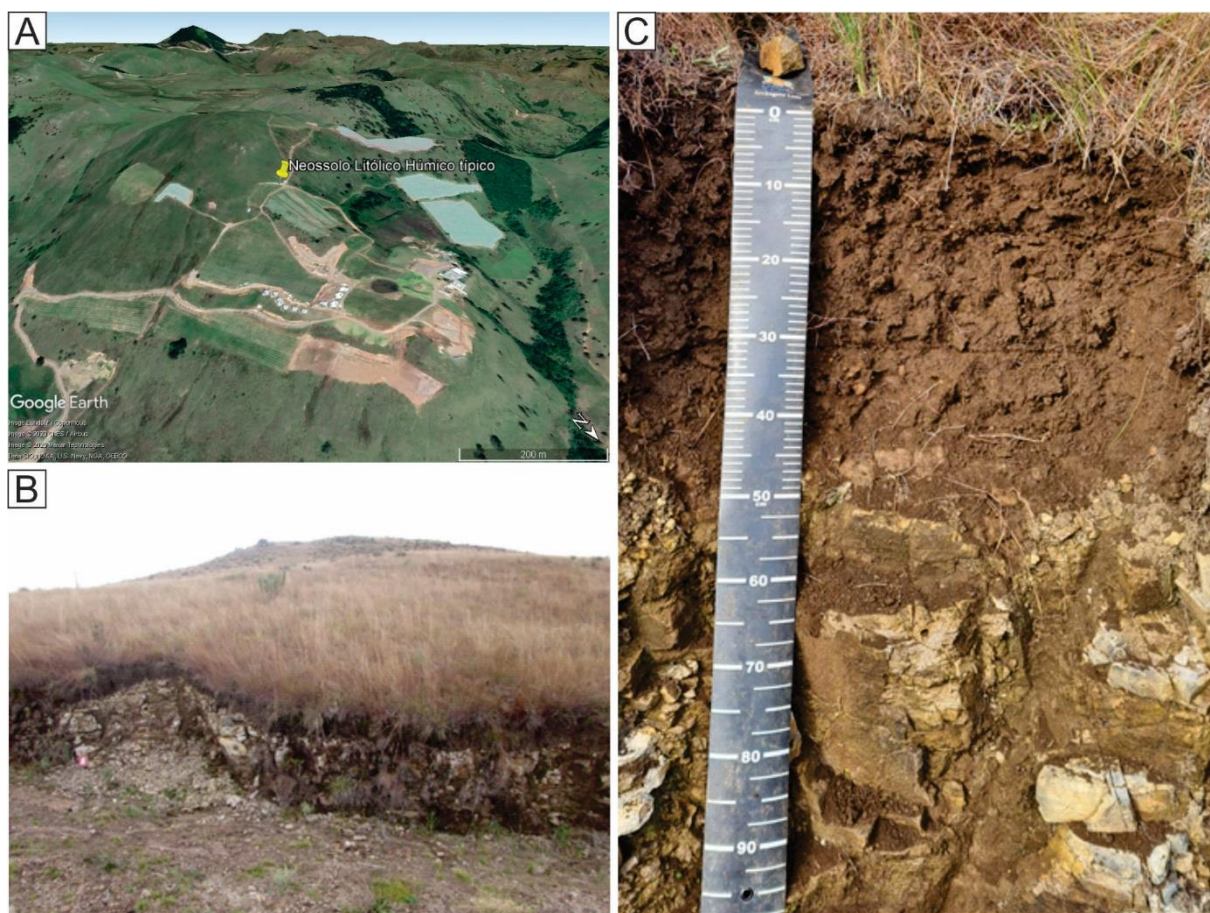


Figura 29. Neossolo Litólico Húmico típico: (A) imagem 3D do Google Earth, (B) localização na paisagem e (C) perfil de solo.

Tabela 13. Descrição morfológica do perfil de solo Neossolo Litólico Húmico típico.

Horizonte	Descrição
A1	0 - 19 cm, bruno muito escuro (10YR 2/2, úmida); bruno muito escuro (10YR 2/2, seca); argila; moderada pequena a média blocos subangulares; ligeiramente dura; muito friável a friável; plástica e pegajosa, transição plana e clara.
A2	19 - 35 cm, bruno muito escuro (10YR 2/2, úmida); bruno muito escuro (10YR 2/2, seca); argila; moderada a forte pequena a grande blocos subangulares; dura; friável; plástica e pegajosa, transição plana e clara.
A3	35 - 46 cm, bruno muito escuro (10YR 2/2, úmida); bruno muito escuro (10YR 2/2, seca); argila; fraca a moderada média e grande blocos subangulares e moderada a forte grande prismática; ligeiramente dura; muito friável; plástica e pegajosa, transição plana e abrupta.
R	46+ cm

Tabela 14. Dados das análises físicas e químicas do Neossolo Litólico Húmico típico.

Horizonte	Profundidade (cm)	Granulometria (g/kg)			CTC _{argila} (cmol _e /kg)	m (%)	V (%)	P (mg/kg)
		Areia	Silte	Argila				
A1	0 - 19	130	364	506	33,60	62	16	0,90
A2	19 - 35	126	355	519	36,89	86	5	1,00
A3	35 - 46	123	345	532	45,52	88	4	1,00
R	46+	-	-	-	-	-	-	-

Horizonte	pH _{água}	C-org (g/kg)	Complexo Sortivo (cmol _e /kg)						
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺	Al ³⁺	CTC _{pH7}
A1	4,60	26,10	1,50	0,90	0,36	0,03	9,70	4,50	17,00
A2	4,70	29,00	0,40	0,50	0,11	0,03	12,20	5,90	19,14
A3	4,50	25,52	0,30	0,50	0,09	0,02	17,30	6,00	24,21
R	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Da classe dos Nitossolos (solos desenvolvidos com horizonte B nítico) foi escolhido um perfil de solo localizado na vinícola Villaggio Bassetti classificado como Nitossolo Bruno Distrófico húmico de acordo com SANTOS et al. (2018), *Humic Hapludults* de acordo com USDA (2022) e *Alic Nitisol* de acordo com IUSS (2022) (Fig. 30). O perfil de solo encontra-se num terço médio de encosta com declividade de 31% (relevo forte ondulado) em uma altitude de 1.220 m e apresenta profundidade maior que 140 cm. Na descrição morfológica dos horizontes (A1, A2, AB, BA, Bt1, Bt2, C e Cr) foi possível observar que predominam cores brunadas nos horizontes superficiais e subsuperficiais e avermelhadas nos horizontes C e Cr, textura argilosa a muito argilosa, estrutura em blocos subangulares nos horizontes superficiais e prismática nos horizontes subsuperficiais, consistência dura, friável a firme, plástica e pegajosa nos horizontes superficiais e muito dura, firme, plástica e pegajosa nos horizontes subsuperficiais (Tab. 15). Através das análises físico-química dos horizontes (A1, A2, AB, BA, Bt1, Bt2, C e Cr) foi possível constatar que o perfil de solo apresenta textura argilosa (entre 350 - 600 g/kg) nos horizontes superficiais e muito argilosa (> 600 g/kg) nos horizontes subsuperficiais, baixa CTC_{argila} (< 27 cmol_e/kg) em grande parte dos horizontes, médio m% (entre 30 - 50 %) em grande parte dos horizontes, baixo V% (< 50%), pH fortemente ácido (entre 4,3 - 5,3) em grande parte dos horizontes, alto teor de matéria orgânica nos horizontes A1 e A2 (> 30 g/kg), médio teor de matéria orgânica nos horizontes AB e BA (entre 15 - 30 g/kg), baixo teor de matéria orgânica nos horizontes Bt1, Bt2, C e Cr (< 15 g/kg), com baixos teores de soma de bases e altos teores de acidez potencial (Tab. 16).

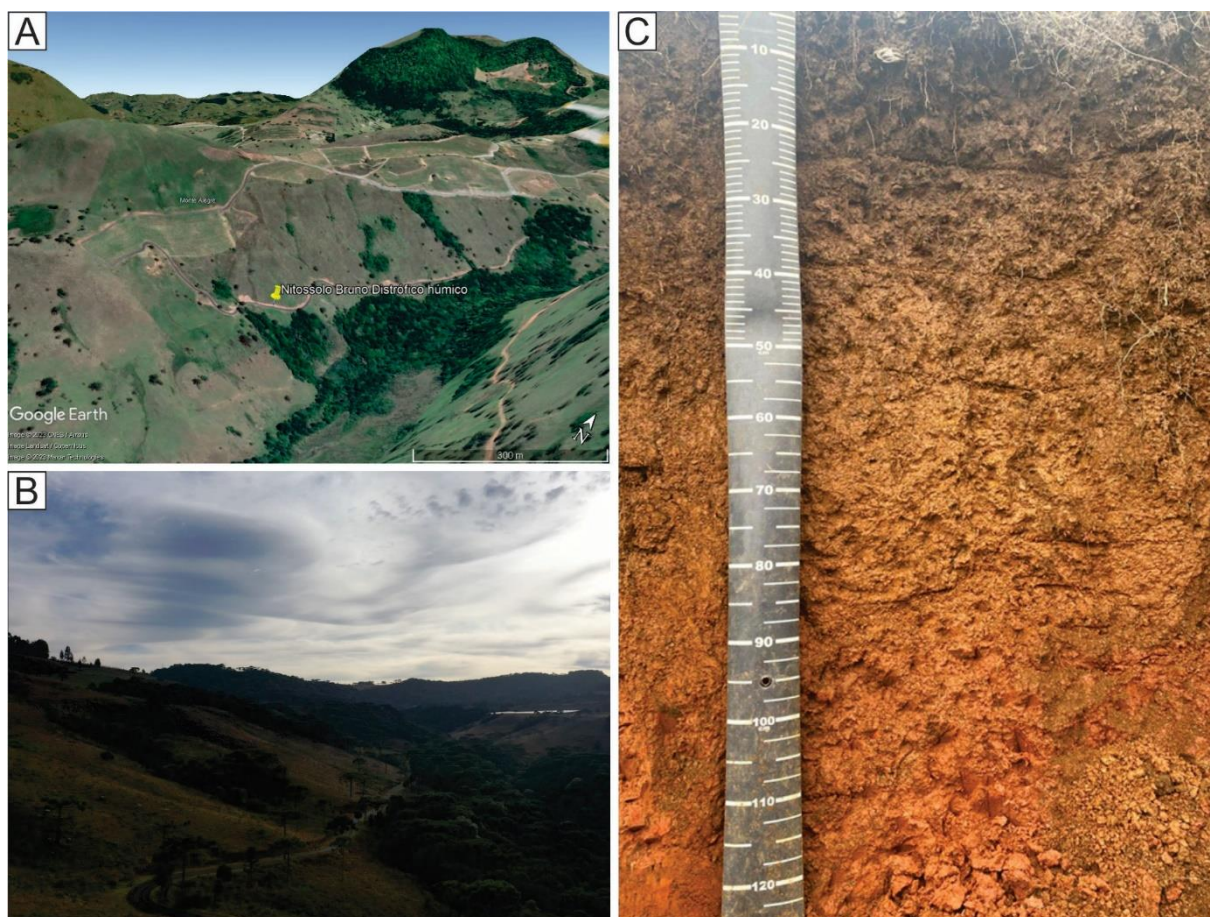


Figura 30. Nitossolo Bruno Distrófico húmico: (A) imagem 3D do Google Earth, (B) localização na paisagem e (C) perfil de solo.

Tabela 15. Descrição morfológica do perfil de solo Nitossolo Bruno Distrófico húmico.

Horizonte	Descrição
A1	0 - 10 cm, bruno muito escuro (7,5YR 2,5/2, úmida); bruno escuro (7,5YR 3/3, seca); argilosa; moderada média granular a forte pequena a grande blocos subangulares; dura; friável a firme; plástica e pegajosa; transição plana e clara.
A2	10 - 24 cm, bruno escuro (7,5YR 3/3, úmida); bruno escuro (7,5YR 3/4, seca); muito argilosa; forte pequena a média blocos subangulares; dura; friável a firme; plástica e pegajosa; transição plana e clara.
AB	24 - 42 cm, bruno escuro (7,5YR 3/4); bruno (7,5YR 4/4, seca); muito argilosa; forte média e grande blocos subangulares e moderada média e grande prismática; dura; friável a firme; plástica a muito plástica e pegajosa; transição ondulada e gradual.
BA	42 - 53 cm, bruno escuro (7,5YR 3/3); muito argilosa; forte média e grande blocos subangulares e moderada média prismática; dura; friável a firme; muito plástica e pegajosa; transição ondulada e gradual.
Bt1	53 - 70 cm, bruno escuro (7,5YR 3/4); muito argilosa; forte média e grande blocos subangulares e moderada grande prismática; cerosidade comum e moderada, muito dura; firme; plástica e pegajosa; transição plana e gradual.
Bt2	70 - 100 cm, bruno avermelhado escuro (5YR 3/4); argila; forte grande blocos angulares e subangulares; muito dura; firme; plástica e pegajosa; cerosidade comum e moderada, transição plana e clara.
C	100 - 120 cm, vermelho escuro (2,5YR 3/6); argilo siltosa; forte média e grande blocos subangulares; muito dura; firme; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.
Cr	120 - 140+ cm, vermelho (2,5YR 4/6); argilo siltosa, forte pequena e média blocos subangulares; dura; friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.

Tabela 16. Dados das análises físicas e químicas do Nitossolo Bruno Distrófico húmico.

Horizonte	Profundidade (cm)	Granulometria (g/kg)			CTC _{argila} (cmol _c /kg)	m (%)	V (%)	P (mg/kg)
		Areia	Silte	Argila				
A1	0 - 10	54	365	581	58,57	41	18	1,00
A2	10 - 24	42	289	669	23,86	36	11	0,90
AB	24 - 42	27	278	695	32,17	50	8	0,80
BA	42 - 53	29	196	776	25,06	53	6	1,00
Bt1	53 - 70	33	224	743	25,30	46	7	0,80
Bt2	70 - 100	37	374	589	25,27	34	8	1,00
C	100 - 120	64	465	472	38,45	39	7	0,90
Cr	120 - 140+	59	490	452	94,78	92	2	0,70

Horizonte	pH _{água}	C-org (g/kg)	Complexo Sortivo (cmol _c /kg)						CTC _{pH7}
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺	Al ³⁺	
A1	5,00	45,24	2,80	1,60	0,21	0,05	18,00	3,30	25,96
A2	5,00	31,32	0,80	0,50	0,08	0,03	10,40	0,80	12,61
AB	4,90	23,78	0,70	0,50	0,06	0,03	13,30	1,30	15,89
BA	5,00	20,88	0,60	0,40	0,04	0,03	14,20	1,20	16,46
Bt1	5,10	11,02	0,60	0,40	0,03	0,03	13,70	0,90	15,66
Bt2	5,40	6,38	0,50	0,40	0,03	0,05	10,30	0,50	11,78
C	5,40	3,48	0,40	0,50	0,03	0,02	11,30	0,60	12,85
Cr	5,00	2,32	0,30	0,50	0,03	0,02	32,60	9,30	42,75

Da classe dos Organossolos (solos com horizonte orgânico) foi escolhido um perfil de solo localizado na vinícola Boutique D'alture, classificado como Organossolo Fólico Sáprico lítico de acordo com SANTOS et al. (2018), *Lithic Humudepts* de acordo com USDA (2022) e *Leptic Umbrisol* de acordo com IUSS (2022) (Fig. 31). O perfil de solo encontra-se num terço médio-superior de encosta com declividade de 27% (relevo forte ondulado) em uma altitude de 1.323 m e apresenta profundidade de 44 cm. Na descrição morfológica dos horizontes (O1, O2 e A) foi possível observar que predominam cores pretas, textura siltosa nos horizontes O e argilosa no horizonte A, estrutura em blocos subangulares, consistência ligeiramente dura, muito friável a friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa (Tab. 17). Através das análises físico-química dos horizontes (O1, O2 e A) foi possível constatar que o perfil de solo apresenta textura siltosa (< 350 g/kg de argila e < de 150 g/kg de areia) nos horizontes O e textura argilosa (entre 350 - 600 g/kg) no horizonte A, alta CTC_{argila} (> 27 cmol_c/kg), baixo m% no horizonte O1 (< 30%) e alto m% (> 50%) nos demais horizontes, baixo V% (< 50%), pH fortemente ácido (entre 4,3 - 5,3), alto teor de matéria orgânica (> 30 g/kg), com baixos teores de soma de bases e altos teores de acidez potencial (Tab. 18).

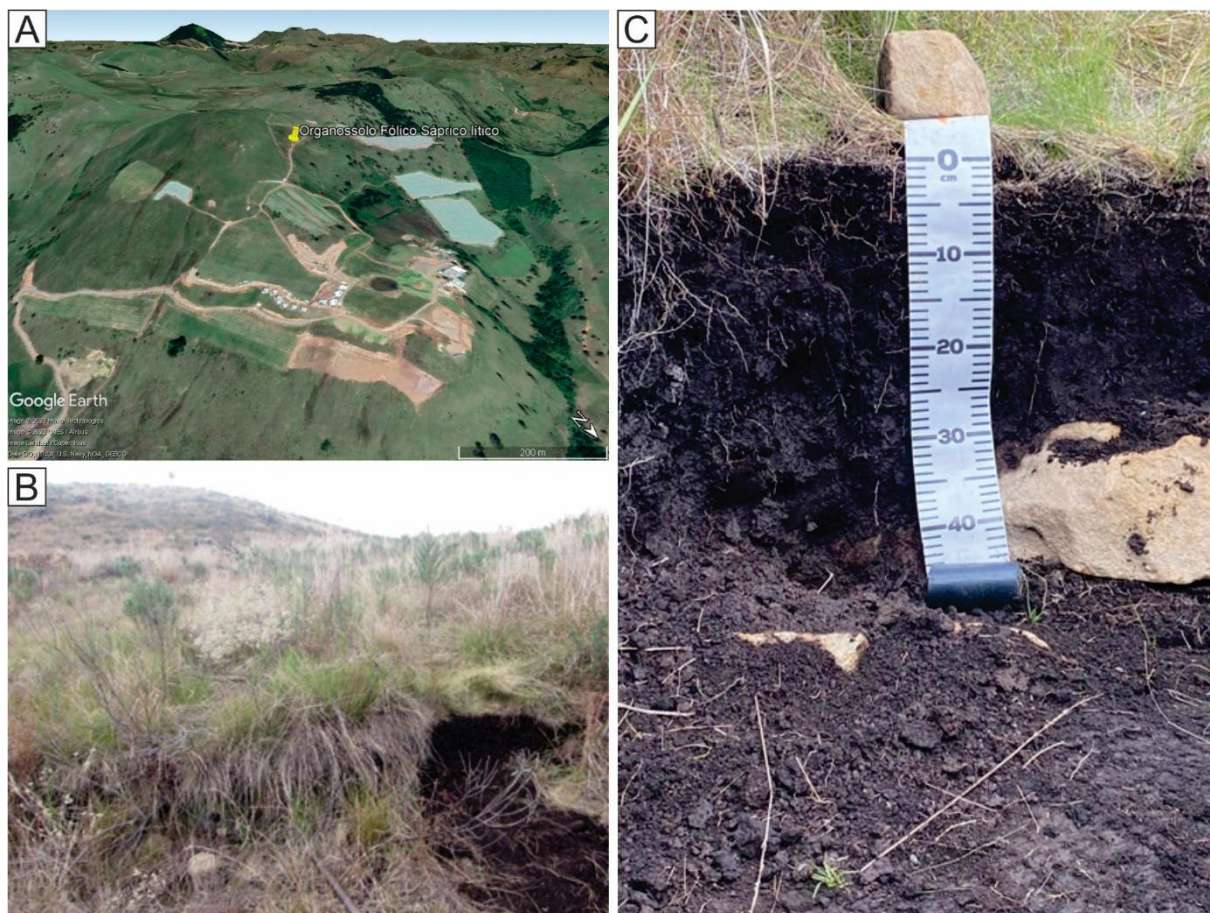


Figura 31. Organossolo Fólico Sáprico lítico: (A) imagem 3D do Google Earth, (B) localização na paisagem e (C) perfil de solo.

Tabela 17. Descrição morfológica do perfil de solo Neossolo Litólico Húmico típico.

Horizonte	Descrição
O1	0 - 10 cm, preto (10YR 2/1, úmida); preto (10YR 2/1, seca); franco argilo-siltosa; forte muito pequena e média blocos subangulares; ligeiramente dura; muito friável a friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa, transição plana e gradual.
O2	10 - 30 cm, preto (10YR 2/1, úmida); preto (10YR 2/1, seca); franco argilo-siltosa; moderada média e grande blocos subangulares e fraca grande prismática; dura; muito friável a friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa, transição plana e clara.
A	30 - 44 cm, preto (10YR 2/1, úmida); preto (10YR 2/1, seca); argila; moderada a forte média e grande blocos subangulares e moderada a forte grande prismática; ligeiramente dura; muito friável a friável; plástica e pegajosa.
R	44+ cm

Tabela 18. Dados das análises físicas e químicas do Neossolo Litólico Húmico típico.

Horizonte	Profundidade (cm)	Granulometria (g/kg)			CTC _{argila} (cmolc/kg)	m (%)	V (%)	P (mg/kg)
		Areia	Silte	Argila				
O1	0 - 10	101	559	340	72,13	27	22	3,40
O2	10 - 30	69	641	291	97,78	72	8	0,80
A	30 - 44	86	384	530	51,63	81	7	0,80
R	44+	-	-	-	-	-	-	-

Horizonte	pH _{água}	C-org (g/kg)	Complexo Sortivo (cmolc/kg)						
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺	Al ³⁺	CTC _{pH7}
O1	4,50	82,88	2,50	2,00	0,75	0,08	17,30	1,90	24,53
O2	4,70	81,78	0,90	0,90	0,36	0,05	20,50	5,70	28,41
A	4,70	50,05	0,70	0,80	0,22	0,05	18,60	7,00	27,36
R	-	-	-	-	-	-	-	-	-

7.5 FATOR METEOROLÓGICO

7.5.1 Temperatura

Em São Joaquim a temperatura média anual varia de 12,3 °C na porção nordeste para 16,7 °C na porção sudoeste do município (Fig. 32), com o intervalo de temperatura entre 14 e 15 °C ocupando a maior parte (39,43%) do território (Tab. 19). O mês com temperatura média mensal mais fria no município é julho com temperatura média anual entre 8,5 e 12,6 °C e o mês mais quente é fevereiro com temperatura média anual entre 16,2 e 20,9 °C (Fig. 33). Esses intervalos de temperatura refletem a variação climática ao longo do território de São Joaquim.

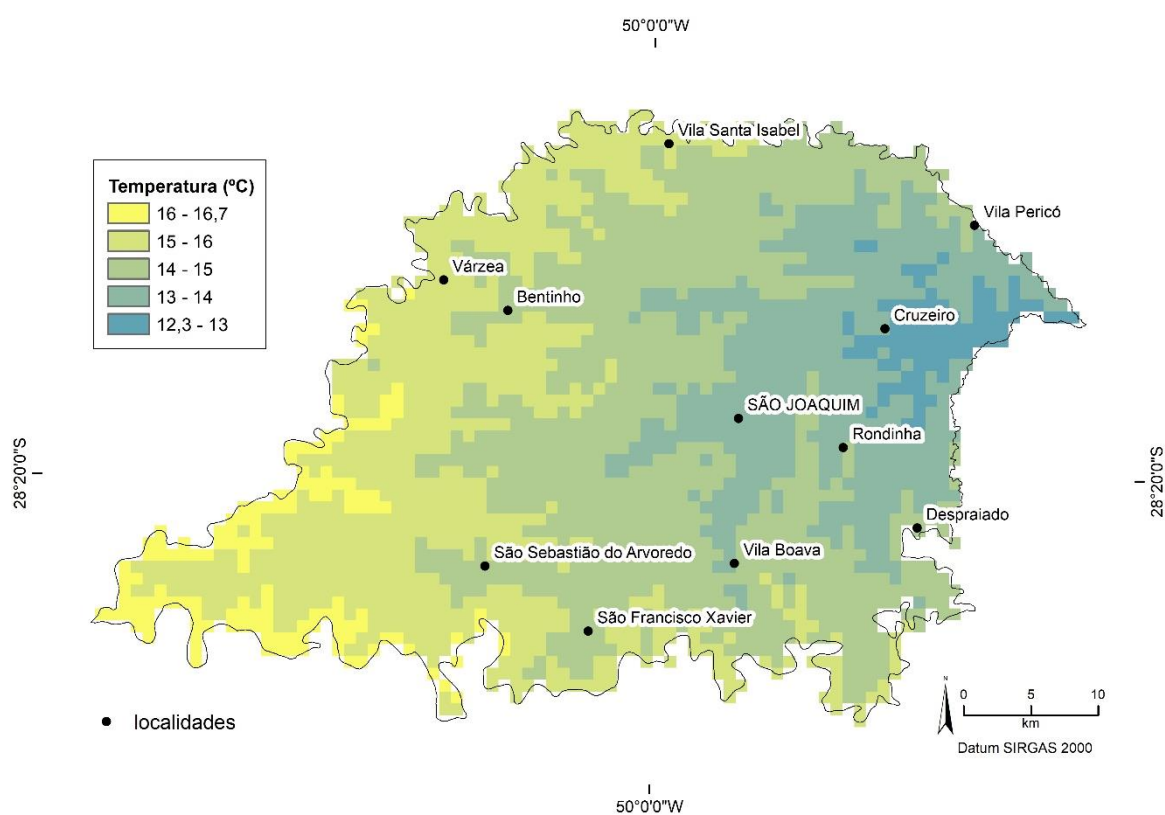


Figura 32. Mapa de temperatura média anual (°C) do município de São Joaquim.
Fonte: elaborado pelo autor com dados de Fick & Hijmans (2017).

Tabela 19. Distribuição espacial da temperatura média anual (°C) no município.

Temperatura Média Anual (°C)	Área (km ²)	Área (%)
12,3 - 13	70,73	3,74
13 - 14	381,63	20,16
14 - 15	746,16	39,43
15 - 16	582,94	30,80
16 - 16,7	111,15	5,87
Total	1.892,61	100,00

Fonte: elaborado pelo autor com dados de Fick & Hijmans (2017).

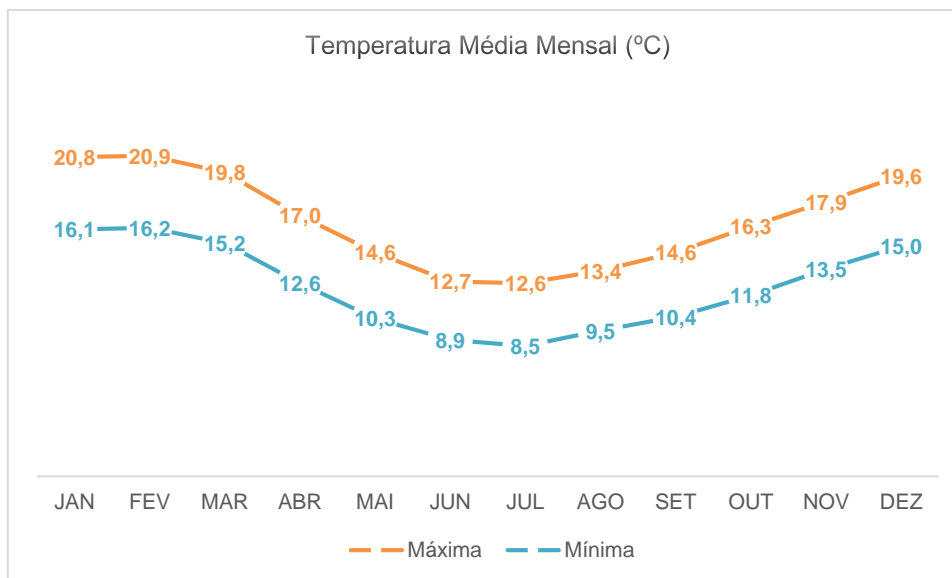


Figura 33. Série histórica (1970 – 2000) da temperatura média mensal (h) do município de São Joaquim. Fonte: elaborado pelo autor com dados de Fick & Hijmans (2017).

7.2.2 Precipitação

Em São Joaquim a precipitação total anual varia de 1.451 mm na porção oeste para 1.734 mm na porção nordeste do município (Fig. 34) com o intervalo de precipitação entre 1.500 e 1.600 mm ocupando a maior parte (54,41%) do território (Tab. 20). O mês mais seco no município, com menor precipitação, é abril com precipitação média mensal entre 98 e 112 m, e o mês mais chuvoso, com maior precipitação, é janeiro com precipitação média mensal entre 145 e 178 mm (Fig. 35). Esses intervalos de precipitação refletem a variação climática ao longo do território de São Joaquim.

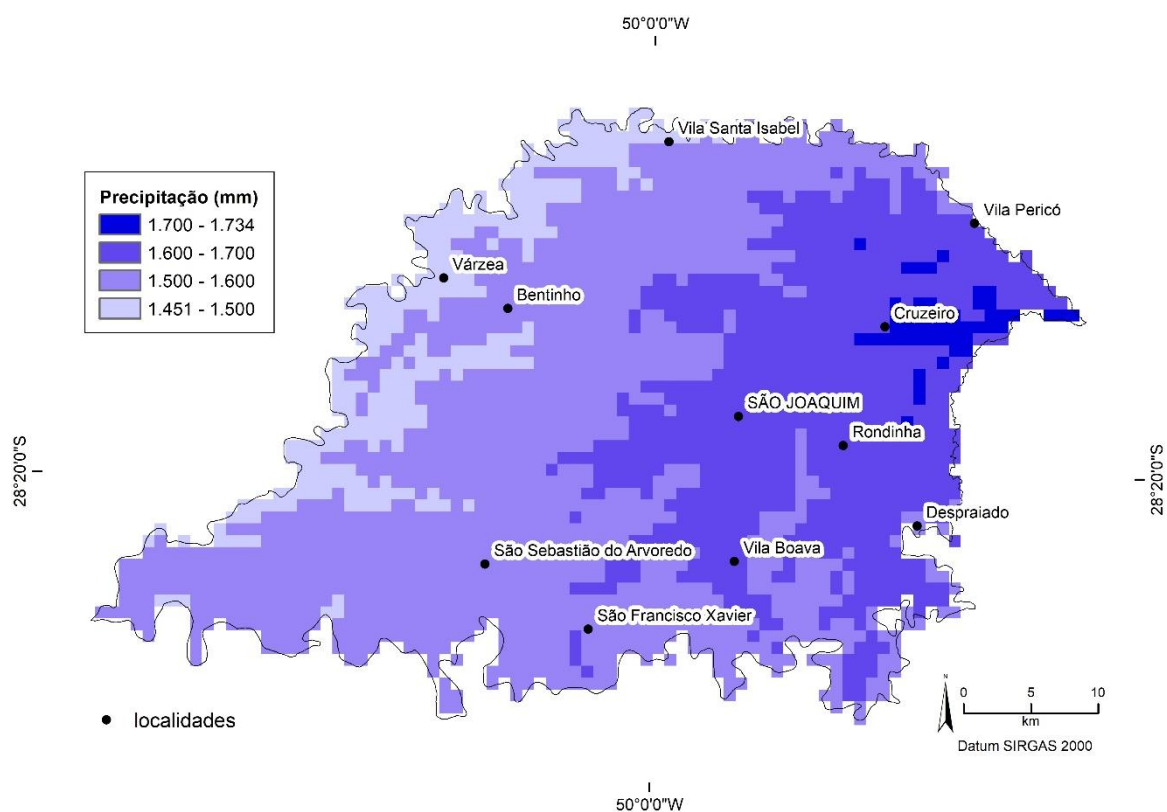


Figura 34. Mapa de precipitação média total anual (mm) do município de São Joaquim.
 Fonte: elaborado pelo autor com dados de Fick & Hijmans (2017).

Tabela 20. Distribuição espacial da precipitação média total anual (mm) no município.

Precipitação Média Anual (mm)	Área (km ²)	Área (%)
1.451 – 1.500	209,08	11,05
1.500 – 1.600	1.029,86	54,41
1.600 – 1.700	615,58	32,53
1.700 – 1.734	38,09	2,01
Total	1.892,61	100,00

Fonte: elaborado pelo autor com dados de Fick & Hijmans (2017).

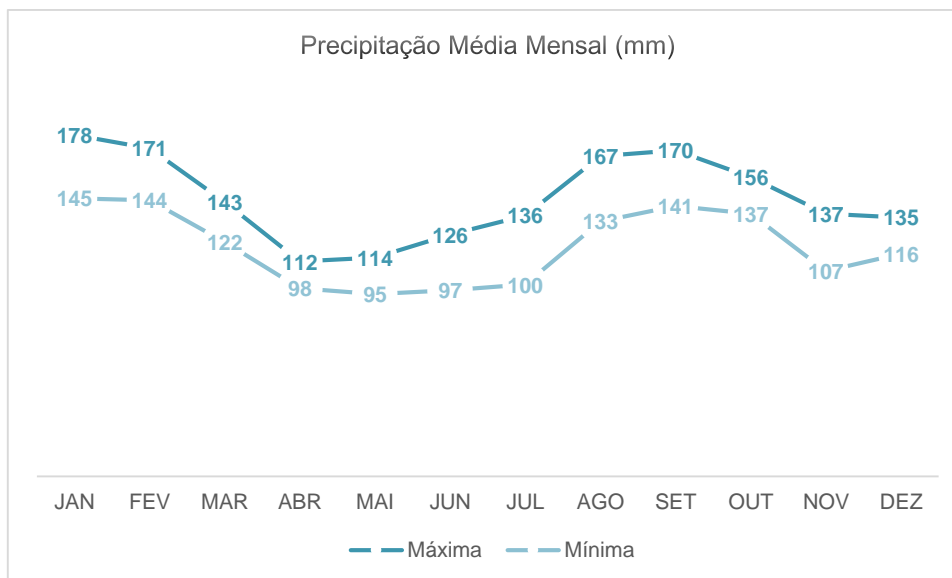


Figura 35. Série histórica (1970 – 2000) da precipitação média mensal (mm) do município de São Joaquim. Fonte: elaborado pelo autor com dados de Fick & Hijmans (2017).

7.5.3 Radiação Solar

Em São Joaquim a radiação solar total anual varia de 1.947 h na porção nordeste para 2.016 h na porção sudeste do município (Fig. 36) com o intervalo de radiação solar entre 1.980 e 1.990 h ocupando a maior parte (34,37%) do território (Tab. 21). O mês com menor radiação solar no município é junho com radiação solar mensal entre 89 e 99 h e o mês com maior radiação solar é dezembro com radiação solar mensal entre 231 e 242 h (Fig. 37). Esses intervalos de radiação solar refletem a variação climática ao longo do território de São Joaquim.

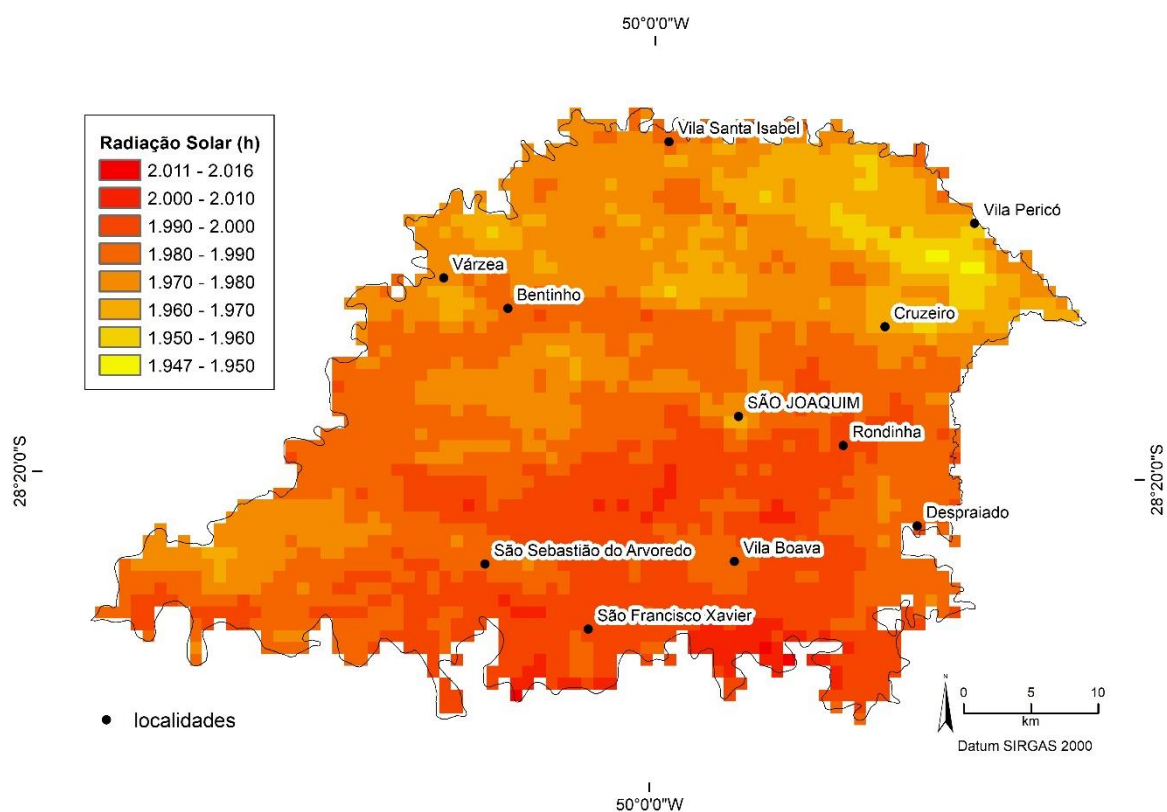


Figura 36. Mapa de radiação solar média total anual (h) do município de São Joaquim.
 Fonte: elaborado pelo autor com dados de Fick & Hijmans (2017).

Tabela 21. Distribuição espacial da radiação solar média total anual (h) no município.

Radiação Solar Média Total (h)	Área (km ²)	Área (%)
1.947 – 1.950	3,11	0,16
1.950 – 1.960	39,64	2,09
1.960 – 1.970	184,21	9,73
1.970 – 1.980	502,11	26,53
1.980 – 1.990	650,56	34,37
1.990 – 2.000	463,24	24,48
2.000 – 2.010	47,41	2,51
2.010 – 2.016	2,33	0,12
Total	1.892,61	100,00

Fonte: elaborado pelo autor com dados de Fick & Hijmans (2017).

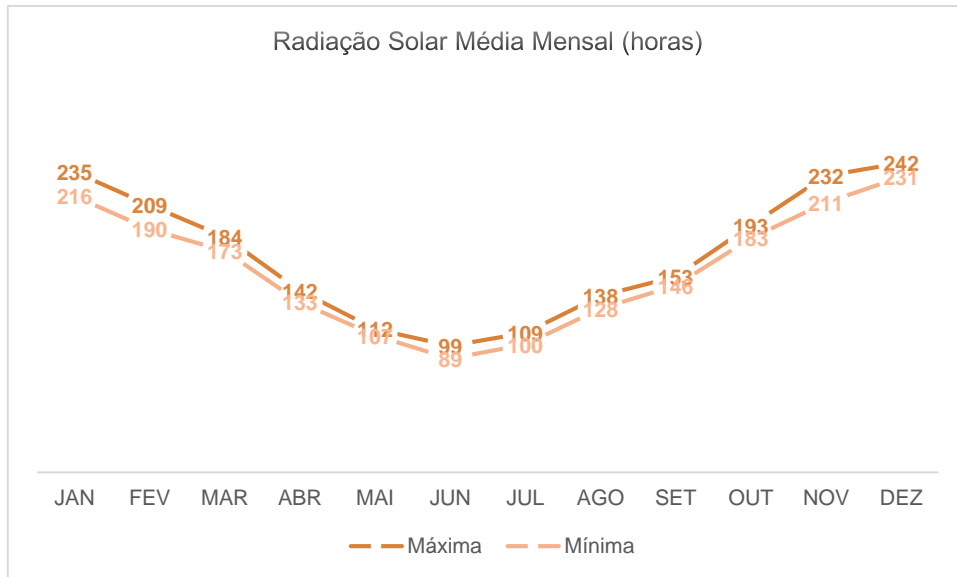


Figura 37. Série histórica (1970 – 2000) da radiação solar média mensal (h) do município de São Joaquim. Fonte: elaborado pelo autor com dados de Fick & Hijmans (2017).

7.5.4 Sistema CCM Geovitícola

Em São Joaquim, de acordo com o Sistema de Classificação Climática Multicritério Geovitícola (TONIETTO & CARBONNEAU, 2004), foram encontrados seis climas vitícolas (IH+1 IF-1 IS-2, IH+1 IF-1 IS-2, IH-1 IF+1 IS-2, IH-2 IF+1 IS-2, IH-2 IF+2 IS-2 e IH-3 IF+2 IS-2) (Fig. 38), sendo que o clima vitícola IH-2 IF+1 IS-2 (Frio, De Noites Frias, Úmido) ocupa a maior parte do município (45,34%) (Tab. 22).

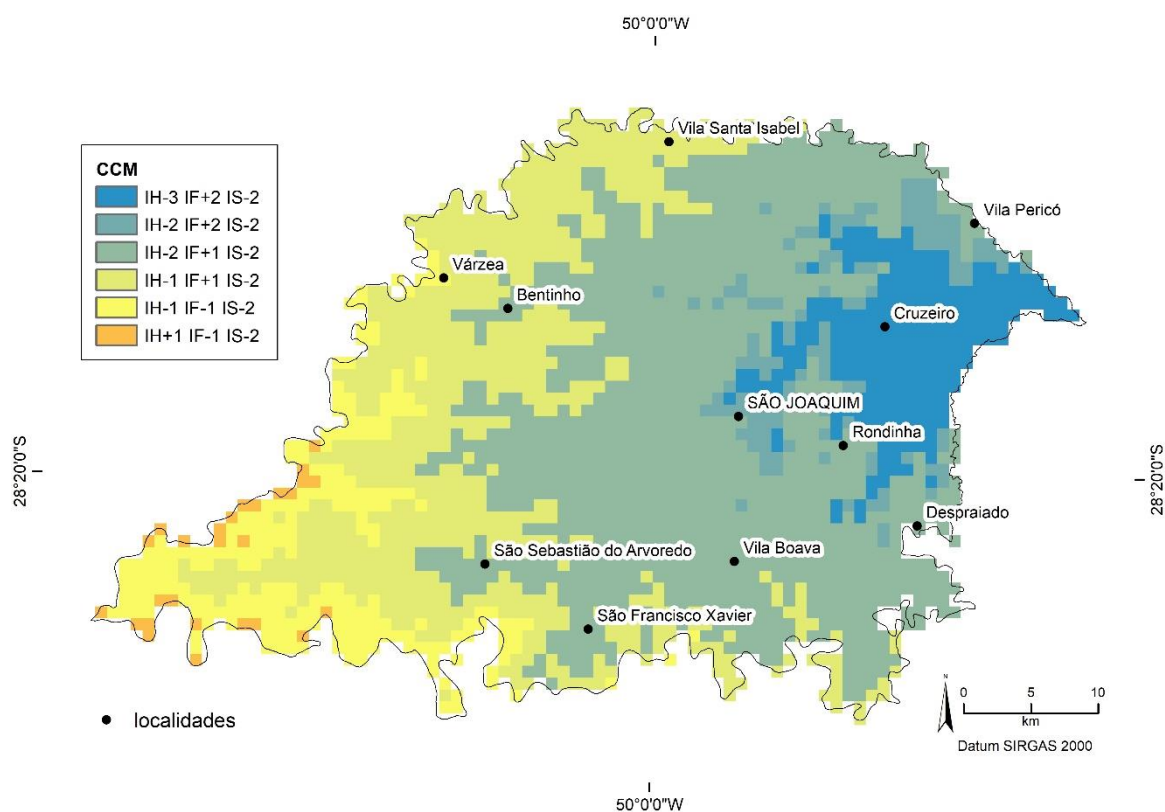


Figura 38. Mapa dos climas vitícolas do município de São Joaquim de acordo com o Sistema de Classificação Climática Multicritério Geovitícola (TONIETTO & CARBONNEAU, 2004).
 Fonte: elaborado pelo autor com dados de Fick & Hijmans (2017) e Trabucco & Zomer (2019).

Tabela 22. Distribuição espacial dos climas vitícolas no município de São Joaquim.

Clima Vitícola	Área (km ²)	Área (%)
IH-3 IF+2 IS-2 (Muito Frio, De Noites Muito Frias, Úmido)	194,31	10,27
IH-2 IF+2 IS-2 (Frio, De Noites Muito Frias, Úmido)	102,60	5,42
IH-2 IF+1 IS-2 (Frio, De Noites Frias, Úmido)	858,09	45,34
IH-1 IF+1 IS-2 (Temperado, De Noites Frias, Úmido)	535,53	28,30
IH-1 IF-1 IS-2 (Temperado, De Noites Temperadas, Úmido)	181,10	9,57
IH+1 IF-1 IS-2 (Temperado Quente, De Noites Temperadas, Úmido)	20,99	1,11
Total	1.892,61	100,00

Fonte: elaborado pelo autor com dados de Fick & Hijmans (2017) e Trabucco & Zomer (2019).

7.6 FATOR VITÍCOLA

Em São Joaquim estão localizadas 25 propriedades destinadas à vitivinicultura com grande parte delas situadas próximo à Rodovia SC-114 em uma região que fica à noroeste da zona urbana, e outras propriedades situadas próximo às localidades de Bentinho, Vila Pericó e Vila Boava, além de algumas propriedades distribuídas de forma esparsa por outras partes do município (Fig. 39).

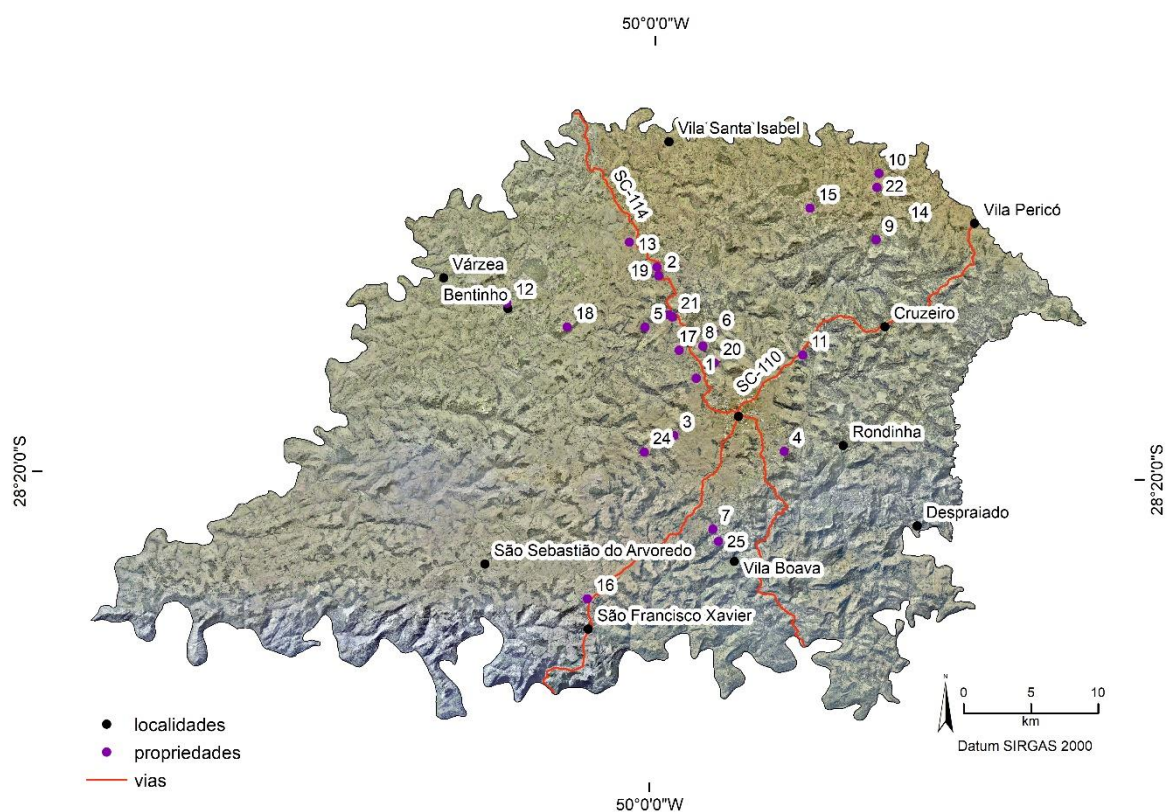


Figura 39. Mapa de localização das propriedades vitivinícolas do município de São Joaquim: 1. Boutique D'alture, 2. Fattoria São Joaquim, 3. Fazenda Colégio, 4. Hiragami, 5. Insolito, 6. Leone Di Venezia, 7. Marcelino Kioshi, 8. Monte Agudo, 9. Morro do Espia, 10. Pericó, 11. Piccola Fattoria, 12. Quinta da Neve, 13. Quinta das Araucárias, 14. Sanjo, 15. Santo Onofre, 16. São Sebastião, 17. Serrinha, 18. Suzin, 19. Tenuta Bergamaschi, 20. Villa Francioni, 21. Villaggio Basettti, 22. Villaggio Conti, 23. Vivalti, 24. Zaga Costa e 25. Zanella Back. Fonte: elaborado pelo autor com dados de EPAGRI (2019) e do presente trabalho.

De acordo com os dados do cadastro vitícola de EPAGRI (2013), no início dos anos 2010, os vinhedos de São Joaquim ocupavam uma área total de 166,80 ha onde eram cultivadas 463.835 videiras de 36 variedades de uvas *Vitis vinifera* (Aglianico, Alicante Bouschet, Cabernet Franc, Cabernet Sauvignon, Chardonnay, Gewurztraminer, Grechetto, Incrocio Manzoni, Longanese, Malbec, Malvasia, Marselan, Merlot, Molinara, Montepulciano, Moscatel, Moscato Bianco, Moscato Giallo, Nebbiolo, Nero d'Avola, Petit Verdot, Pignolo, Pinot Nero, Pinot Noir, Raboso, Rebo, Refosco dal Peduncolo Rosso, Ribolla Gialla, Rondinella, Sangiovese, Sauviong Blanc, Syrah, Tempranillo, Teroldego, Touriga Nacional e Vermentino) principalmente no sistema de condução do tipo espaldeira (manjedoura em alguns vinhedos) geralmente em porta-enxerto Paulsen 1103 com espaçamento entre as plantas que varia de 0,7 a 2,5 m e espaçamento entre as fileiras que varia de 1,2 a 4 m. De acordo com os dados do cadastro vitícola de EPAGRI (2019), no final dos anos 2010, houve uma redução na área dos vinhedos e no número de variedades. Hoje em dia, os vinhedos em São Joaquim ocupam uma área de 138,19 ha onde são cultivadas 31 variedades de uvas *Vitis vinifera* (Aglianico, Alicante Bouschet, Alvarinho, Cabernet Franc, Cabernet Sauvignon, Chardonnay, Gewurztraminer, Grechetto, Longanese, Malbec, Malvasia, Marselan, Merlot, Molinara, Montepulciano, Nebbiolo, Nero D'Avola, Petit Verdot,

Pignolo, Pinot Nero, Pinot Noir, Rebo, Refosco Dal Peduncolo Rosso, Ribolla Gialla, Rondinella, Sangiovese, Sauvignon Blanc, Syrah, Teroldego, Touriga Nacional e Vermentino).

De acordo com um levantamento realizado em dezembro de 2023 nos *sites* das vinícolas de São Joaquim foi constatado que no município são produzidos cerca de 185 rótulos de vinhos dos quais 90 são tintos tranquilos, 18 são rosés tranquilos, 36 são brancos tranquilos, 4 são laranjas tranquilos, 10 são rosés espumantes, 18 são brancos espumantes, 1 é tinto licoroso, 7 são brancos licorosos e 1 é *brandy* (vinho destilado).

8. DISCUSSÕES

8.1 FATOR GEOLÓGICO

Ao redor do mundo a videira é plantada em áreas formadas pelos mais diferentes tipos de rochas (ígneas, metamórficas e sedimentares) e depósitos não-consolidados (sedimentares e vulcânicos). A geologia dos vinhedos de várias regiões vitivinícolas, como Napa Valley (EUA), Rapel Valley (Chile), Ilha do Pico (Portugal), Ilhas Canárias (Espanha), Monte Etna (Itália), Pfalz (Alemanha) e Tokaj (Hungria) (Fig. 40), é formada por rochas vulcânicas, que compõem cerca de 8% das exposições rochosas nos continentes (WILKINSON et al., 2009), e os vinhos produzidos nestes locais são denominados “vinhos vulcânicos” (SZABO, 2016; SZEPESEI, 2017; HOWARD, 2018, WINE-SEARCHER, 2023; WELTMAN, 2023). Os vinhos desse tipo são famosos mundialmente e existe inclusive uma organização chamada Vinhos Vulcânicos Internacional (*Volcanic Wines International*) que tem como principal objetivo “estabelecer um movimento de vinhos vulcânicos e oferecer oportunidades para produtores de vinhos vulcânicos em todo o mundo” (VWI, 2023). De acordo com Szabo (2016), esses vinhos apresentam características em comum como acidez, gosto *savory* e aroma frutado. Mas estas características ainda precisam de comprovação científica.



Figura 40. Exemplos de vinhos vulcânicos produzidos ao redor do mundo.

A geologia de São Joaquim é formada por rochas vulcânicas do Grupo Serra Geral e, por consequência, os vinhos do município são produzidos com uvas cultivadas em vinhedos implantados sobre solos derivados desse tipo de rocha, com isso os vinhos de São Joaquim também podem ser chamados de “vinhos vulcânicos”. Os dados obtidos nesta pesquisa são consistentes e complementares com outros trabalhos realizados no município (SANTOS, 2016; BESSER, 2017; BESSER et al., 2018; SANTOS et al., 2019; CPRM, 2022). Das 25 propriedades vitivinícolas de São Joaquim, 18 estão localizadas em rochas basálticas, 6 estão localizadas em rochas dacíticas e 1 (vinícola Boutique D’alture) está localizada em um contato entre esses dois tipos de rocha vulcânica.

No Brasil, esses “vinhos vulcânicos” podem ser encontrados em vinhedos implantados sobre as rochas do Grupo Serra Geral (Província Magmática Paraná) que ocupam uma área estimada com aproximadamente 917.000 km² (FRANK et al., 2009) em partes dos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso and Mato Grosso do Sul.

8.2 FATOR FISIAGRÁFICO

Existem também muitas regiões vitivinícolas com vinhedos em regiões de altitude, como Califórnia (EUA), Maipo Valley (Chile), Douro (Portugal), Trentino-Alto Adige (Itália), Marlborough (Nova Zelândia), Pays d’Oc (França) e Salta (Argentina), e os vinhos produzidos nesses locais são chamados de “vinhos de altitude” (Fig. 41). O vinhedo mais alto do mundo, com uma altitude de 3.100 metros, pertence à vinícola Bodega Colomé que fica localizada na região de Salta (Argentina). A definição do que seria um vinho de altitude varia de região para região por ser algo relativo que depende da percepção do produtor, e em muitos países ainda não existe uma altitude mínima definida. Em alguns países da Europa (e.g. Itália, Espanha, França, Portugal, Alemanha, entre outros) são considerados

vinhos de altitude (ou de viticultura de montanha) aqueles produzidos com uvas cultivadas em vinhedos acima de 500 metros (CERVIM, 2023), enquanto no estado de Santa Catarina são considerados vinhos de altitude, e podem fazer parte da Indicação de Procedência Vinhos de Altitude de Santa Catarina, aqueles produzidos com uvas cultivadas em vinhedos acima de 840 metros (INPI, 2021).



Figura 41. Exemplos de vinhos de altitude produzidos ao redor do mundo.

A fisiografia de São Joaquim é formada por terrenos com altitudes que variam de 715 a 1.638 metros e, considerando os critérios de INPI (2021), cerca de 98,26% do território do município encontra-se apto para implantação de vinhedos destinados ao cultivo de uvas para a produção de vinhos de altitude. O efeito da altitude na temperatura (diminuição de 0,5 °C na temperatura média para cada aumento de 100 m na altitude; JACKSON, 2008) faz com que São Joaquim seja de 3,5 a 8 °C mais frio que outros municípios localizados próximos da latitude 28° S, como Imbituba, por exemplo, que tem altitude próxima do nível do mar e temperatura média anual em torno de 20,5 °C (CLIMATE DATE, 2023). A preferência na viticultura por terrenos com maiores altitudes em locais com menores latitudes (JACKSON, 2008) tem em São Joaquim um dos seus melhores exemplos. A maior parte das propriedades vitivinícolas de São Joaquim está localizada em altitudes entre 1.200 e 1.400 metros.

Quanto a orientação do terreno, São Joaquim apresenta encostas voltadas para todos os pontos cardiais, o que faz com que seja possível o cultivo da uva tanto em encostas voltadas para o Sol (Norte), que recebem mais radiação solar do que em encostas voltadas para o lado oposto ao Sol (Sul), que recebem menos radiação solar. Quanto a declividade do terreno, São Joaquim apresenta 43,09% do seu território classificado como do tipo forte ondulado (20 - 45 % de declividade). Em virtude dos índices pluviométricos no município, os vinhedos em encostas com maiores declividades podem apresentar melhores drenagens. A viticultura em regiões de maiores declividades é viável desde que acompanhada de conhecimento técnico como é feito na viticultura de montanha em alguns países da Europa (e.g. Itália, Espanha, França, Portugal, Alemanha, entre outros), onde os vinhedos são

implantados em declividades superiores a 30% (CERVIM, 2023). Para facilitar o cultivo da uva em terrenos com maiores declividades (Fig. 42) é utilizada em vários vinhedos ao redor do mundo a técnica conhecida como terraceamento (construção de uma estrutura transversal ao sentido do maior declive do terreno - EMBRAPA, 2023b) (Fig. 43), mas isso onera a implantação do vinhedo.



Figura 42. Encosta de maior declividade com vinhedo da vinícola Villaggio Bassetti em São Joaquim.



Figura 43. Terraceamento de vinhedo da vinícola Villaggio Bassetti em São Joaquim.

8.3 FATOR PEDOLÓGICO

Os solos vulcânicos, formados pelo intemperismo de material vulcanogênico (rochas vulcânicas e depósitos vulcânicos inconsolidados), apesar de representarem apenas 0,7% da superfície terrestre, em sua maioria, têm alto potencial agrônomo sendo responsáveis pelo cultivo de alimentos consumidos por 10% da população mundial (DELMELLE et al., 2015). Eles são conhecidos por apresentarem boa fertilidade natural, serem leves e friáveis com baixa densidade do solo (*bulk soil*), conterem uma fração argila (< 2 mm) dominada por minerais pouco cristalinos ou não cristalinos (vidro vulcânico), e terem alta capacidade de reter água e favorecer o acúmulo matéria orgânica (DELMELLE et al., 2015). Os solos com essas características são denominados *Andisols* (USDA, 2022) ou *Andosols* (IUSS, 2022), do japonês “*anshokudo*” que significa solo de coloração escura (*an*, escuro; *shoku*, coloração; *do*, solo) (DELMELLE et al., 2015). No Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2018) não há uma classe de solo correspondente, pois esses solos estão associados a um vulcanismo mais recente e em paisagens mais antigas ou estáveis os *Andisols* (USDA, 2022), ou *Andosols* (IUSS, 2022) podem evoluir para outros tipos de solo e adquirir novas características (DELMELLE et al., 2015).

Segundo vários Mestres do Vinho (*Masters of Wine*), os vinhos produzidos a partir de solos de origem vulcânica partilham características como frescura, acidez, “mineralidade” e potencial de guarda. No entanto, essa afirmação também é algo meramente empírica, constatada a partir da degustação de vinhos vulcânicos produzidos em várias regiões vitícolas ao redor do mundo, além de que as características dos solos vulcânicos podem variar de um local para outro.

A pedologia de São Joaquim é composta por solos das classes dos Neossolos, Cambissolos, Nitossolos e Organossolos, formados pelo intemperismo de rochas vulcânicas (ou seja, também podem ser chamados de “solos vulcânicos”), com uma ampla variedade composicional (de basaltos a riolitos), mas que apresentam algumas características médias em comum como textura argilosa e fase pedregosa, alto teor de matéria orgânica e pH fortemente ácido.

Em relação a essas características, é indicado para a viticultura que o solo tenha textura média - franca a franco-argilosa - (WHITE, 2003), teor de matéria orgânica entre 20 e 30 g/kg (KURTURAL, 2006) e pH entre 5,0 e 6,0 (MELO, 2003). A textura argilosa dos solos de São Joaquim faz com que haja uma maior retenção de água e seja possível regular sua temperatura durante o período vegetativo da videira, sem necessidade de utilizar da técnica de irrigação (fornecimento controlado de água para as plantas). Uvas plantadas em solos argilosos são empiricamente conhecidas por produzirem vinhos mais encorpados e com mais cor (PUCKETTE, 2020), mas ainda faltam estudos que corroborem essa afirmação.

Os altos teores de matéria orgânica dos solos de São Joaquim (> 40 g/kg) pode fazer com que as videiras tenham excessivo vigor vegetativo e exijam podas periódicas durante seu período vegetativo para otimizar o desenvolvimento da uva, algo que pode aumentar os custos de manutenção dos vinhedos. O pH acima de 5 em solos de alguns vinhedos de São Joaquim faz com que não seja necessária a realização da calagem, caso o produtor opte por ter seus vinhedos com pH entre 5 e 6, intervalo em que há maior disponibilização de nutrientes para a planta (MELO, 2003).

Algumas das características que variam entre as classes de solos encontradas em São Joaquim são profundidade e drenagem. Em relação a drenagem e a profundidade, é indicado para a viticultura que o solo seja bem drenado (WHITE, 2003) e tenha pelo menos 60 cm de profundidade efetiva para o desenvolvimento adequado das raízes da videira (DORTZBACH, 2016). Segundo Pandolfo & Vianna (2020), na região da Indicação de Procedência Vinhos de Altitude Santa Catarina, *“os maiores resultados de rendimento são obtidos em solos profundos e férteis, mas os de maior qualidade das uvas são obtidos em solos menos profundos e pobres”* sendo que *“um mínimo de 30 - 40 cm do solo permeável e sem camadas obstrutivas é necessário para o crescimento ótimo da videira”*. Em São Joaquim são encontrados principalmente solos das classes dos Neossolos, Cambissolos e Nitossolos. Os Neossolos apresentam contato lítico em até 50 cm de profundidade, o que pode causar a má drenagem do solo além de dificultar o desenvolvimento das raízes. Caso o contato lítico seja fragmentário, ele pode favorecer a circulação de ar e água. Os Cambissolos e Nitossolos apresentam horizonte B, são mais profundos e apresentam melhor drenagem quando comparados aos Neossolos. Mas, destaca-se que os Nitossolos apresentam melhores condições de drenagem e profundidade em comparação aos Cambissolos.

Das 25 propriedades vitivinícolas de São Joaquim, 9 estão localizadas na associação de solos RL21 (Neossolos Litólicos Distróficos + Cambissolos Háplicos Tb + Nitossolos Brunos Distróficos), 6 estão localizadas na CH18 (Cambissolos Húmicos Tb Distróficos + Neossolos Litólicos Distróficos), 5 estão localizadas na CH20 (Cambissolos Húmicos Tb Distróficos + Neossolos Litólicos Distróficos + Nitossolos Brunos Distróficos), 2 estão localizados na RL19 (Neossolos Litólicos Distróficos + Cambissolos Háplicos Tb), 2 estão localizados na RL22 (Neossolos Litólicos Distróficos + Cambissolos

Háplicos Tb + Neossolos Litólicos Eutróficos) e 1 está localizada na RL24 (Neossolos Litólicos Distróficos + Cambissolos Háplicos Tb + Neossolos Litólicos Eutróficos + Nitossolos Brunos/Nitossolos Vermelhos Eutróficos). Na associação de solos CH13 (Cambissolos Húmicos Distróficos + Neossolos Litólicos Distróficos + Gleissolos Melânicos Tb Distróficos) não foram encontradas propriedades vitivinícolas.

8.4 FATOR METEOROLÓGICO

8.4.1 Temperatura

A videira suporta temperaturas de -10 a -20 °C no inverno, necessita de temperaturas superiores a 10 °C na primavera e no verão tem maior atividade fotossintética com temperaturas entre 20 e 25 °C (TONIETTO & MANDELLI, 2003). No inverno (junho, julho e agosto), a menor temperatura registrada em São Joaquim foi de -10 °C no dia 02 de agosto de 1991 (INMET, 2023), o que demonstra que no município não há temperaturas extremas nesses meses que possam causar danos às plantas. Na primavera (setembro, outubro e novembro), as temperaturas médias anuais variam, ao longo de todo território de São Joaquim, de 10,4 a 17,9 °C (Fig. 32), o que propicia calor suficiente para que nesses meses as videiras se desenvolvam adequadamente. No verão (dezembro, janeiro e fevereiro), as temperaturas médias anuais variam, ao longo de todo território de São Joaquim, de 15,0 a 20,9 °C (Fig. 32); o que demonstra que no município há calor suficiente nesses meses para desenvolvimento das videiras em algumas partes do município.

8.4.2 Precipitação

A videira pode ser cultivada em condições de seca com precipitação de 250 a 350 mm durante o seu período vegetativo (TONIETTO & MANDELLI, 2003), sendo que seu consumo hídrico médio fica em torno de 450 a 900 mm por período vegetativo (SOARES & COSTA, 2009). Se for levado em conta o período vegetativo estipulado por OIV (2012), de outubro a março a precipitação média total em São Joaquim varia, ao longo de todo território do município, de 771 a 920 mm (Fig. 34), valores considerados dentro do necessário pelas videiras. Se for levado em conta o período vegetativo encontrado por BRIGHENTI et al. (2014), de agosto a maio para algumas variedades de uvas analisadas em São Joaquim, a precipitação média total varia, ao longo de todo território do município, de 1.238 a 1.483 mm (Fig. 34). Esses valores são considerados superiores aos necessários pelas videiras.

8.4.3 Radiação Solar

De acordo com Sentelhas (1998), dependendo da variedade de uva, a videira deve receber entre 1.200 e 1.400 horas de radiação solar total para completar o seu período vegetativo. Se for levado em conta o período vegetativo estipulado por OIV (2012), de outubro a março, a radiação solar média total em São Joaquim varia, ao longo de todo território do município, de 1.013 a 1.295 h (Fig. 36), o que

demonstra que há radiação suficiente para as videiras em algumas partes do município. Já no estudo sobre o período vegetativo encontrado por BRIGHENTI et al. (2014), de agosto a maio, para algumas variedades de uvas analisadas em São Joaquim, a radiação solar média total varia, ao longo de todo território do município, de 1.238 a 1.483 h (Fig. 36). Esses valores estão dentro da faixa considerada necessária pelas videiras.

8.4.4 2020: o ano da safra das safras

O ano de 2020 foi considerado a safra das safras para os vinhos nacionais (EMBRAPA, 2020b). E isso, em grande parte, para São Joaquim se deu pelas condições meteorológicas do município durante o período vegetativo, principalmente na época da colheita. O menor volume de chuvas e maior insolação permitiu uma melhor maturação das uvas que enquadrou os vinhos dessa safra como da classe “Excepcional” (EMBRAPA, 2020b). Se comparado com as médias do município, as temperaturas mensais da safra de 2020 estão dentro da normalidade, enquanto as precipitações mensais da maioria dos meses da safra 2020 estão abaixo do normal, principalmente no mês de março (13 mm), época de colheita de parte das variedades de uvas cultivadas (Tab. 23). Isso demonstra a importância do conhecimento da distribuição territorial das chuvas em São Joaquim para implantar os vinhedos em regiões menos chuvosas do município.

Tabela 23. Comparação do período vegetativo da safra de 2020 com as médias de São Joaquim.

SAFRA 2020 estação A815	Precipitação Média (mm)*	Temperatura Média (°C)*	MÉDIA MENSAL São Joaquim	Precipitação Média (mm)**	Temperatura Média (°C)**
Agosto /2019	27	10,4	Agosto	133 a 167	9,5 a 13,4
Setembro /2019	85	13,4	Setembro	141 a 170	10,4 a 14,6
Outubro /2019	196	15,5	Outubro	137 a 156	11,8 a 16,3
Novembro /2019	102	15,7	Novembro	107 a 137	13,5 a 17,9
Dezembro /2019	71	17,2	Dezembro	116 a 135	15,0 a 19,6
Janeiro /2020	178	17,5	Janeiro	145 a 178	16,1 a 20,8
Fevereiro /2020	88	16,5	Fevereiro	144 a 171	16,2 a 20,9
Março /2020	13	16,8	Março	122 a 143	15,2 a 19,8
Abril /2020	52	13,0	Abril	98 a 112	12,6 a 17,0
Maió /2020	54	11,6	Maió	95 a 114	10,3 a 14,6

Fonte: elaborado pelo autor com de INMET (2023)* e Fick & Hijmans (2017)**.

8.5 FATOR VITÍCOLA

Uma produtividade máxima de 7.000 L de vinho por ha por safra está estipulada no Caderno de Especificações Técnicas da Indicação de Procedência Vinhos de Altitude de Santa Catarina (INPI, 2021). Com vinhedos perfazendo uma área total de 138,19 ha e considerando que toda produção será destinada para vinhos da indicação de procedência, São Joaquim tem uma produção máxima estimada de 973.700 L de vinho por safra. Nos últimos anos foram implantadas novas propriedades e novos vinhedos no município, o que faz com que a área total dos vinhedos e a produção estimada de vinhos possam estar subestimados.

Através da comparação entre o cadastro vitícola (EPAGRI, 2013; 2019) realizado pela Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, foi possível observar que houve uma redução de 17,15% na área plantada com vinhedos no município (Tab. 23). A variedade de uva tinta mais plantada até 2019 foi a Cabernet Sauvignon (53,24 ha) e a variedade de uva branca mais plantada até 2019 foi a Sauvignon Blanc (14,26 ha) (Tab. 23). Em São Joaquim, a Cabernet Sauvignon apresenta um período vegetativo de mais de 200 dias, com brotação em setembro e maturação em abril ou maio, enquanto a Sauvignon Blanc apresenta um período vegetativo de cerca de 170 dias, com brotação em setembro e maturação em fevereiro ou março (BORGHEZAN et al., 2014). Um outro estudo realizado por Brighenti & Tonietto (2004) mostra que a variedade Cabernet Sauvignon leva 189 dias para maturar na Serra Catarinense e apenas 152 dias na Serra Gaúcha, uma diferença de 37 dias (média das safras 1988 a 2001). Em geral, devido às temperaturas mais frias da Serra Catarinense, a maturação das uvas se torna mais lenta e com um período vegetativo maior que em outras regiões vitícolas do Brasil (BRIGHENTI & TONIETTO, 2004).

Tabela 24. Comparação entre os dados do cadastro vitícola 2013 e 2019 do município de São Joaquim.

VARIETADE DE UVA	Área 2013 (ha)	Área 2013 (%)	Área 2019 (ha)	Área 2019 (%)	Balanco 2013-2019 (ha)	Balanco 2013-2019 (%)
Cabernet Sauvignon	72,90	43,71	53,24	38,53	-19,66	-26,96
Merlot	21,40	12,83	17,94	12,98	-3,46	-16,18
Sauvignon Blanc	15,10	9,05	14,26	10,32	-0,84	-5,58
Sangiovese	7,90	4,74	8,89	6,43	0,99	12,54
Pinot Noir	12,00	7,19	8,07	5,84	-3,93	-32,73
Chardonnay	10,30	6,18	7,67	5,55	-2,63	-25,57
Montepulciano	3,30	1,98	7,27	5,26	3,97	120,45
Cabernet Franc	3,10	1,86	4,35	3,14	1,25	40,17
Vermentino	1,10	0,66	2,36	1,70	1,26	114,19
Touriga Nacional	4,90	2,94	1,94	1,40	-2,96	-60,49
Outras	14,80	8,87	12,21	8,84	-2,59	-17,49
Total	166,80	100,00	138,19	100,00	-28,61	-17,15

Fonte: elaborado pelo autor com dados de EPAGRI (2013; 2019).

A grande área plantada (72,90 ha) da Cabernet Sauvignon até o ano de 2013 em São Joaquim pode estar relacionada com um experimento realizado pela EPAGRI no ano de 1991 em que foram plantadas nove variedades de uvas *Vitis vinifera* na Estação Experimental de São Joaquim, mas que após um inverno extremamente rigoroso que dizimou quase que completamente esse experimento, apenas videiras da variedade Cabernet Sauvignon sobreviveram (CORDEIRO, 2006). Talvez esse evento tenha feito com que muitos produtores escolhessem plantar videiras dessa variedade por acreditarem ser a que melhor se adaptava ao *terroir* do município. No entanto, a Cabernet Sauvignon teve uma redução de 19,66 ha (-26,96%) na área plantada entre os anos de 2013 e 2019 (Tab. 23), o que pode estar relacionado com o período vegetativo mais longo dessa variedade ou apenas uma opção dos produtores que vem experimentando o cultivo de outras variedades.

Os vinhos produzidos em São Joaquim têm as seguintes características: vinhos brancos têm uma cor amarelo-claro com reflexos esverdeados e aromas de frutas cítricas e tropicais com notas

vegetais, e vinhos tintos têm uma cor rubi-escura com tons violáceos e aromas com notas frutadas e vegetais (TONIETTO & FIALHO, 2012). Por enquanto, uma das variedades que melhor se adaptou ao *terroir* de São Joaquim foi a Sauvignon Blanc (Fig. 44) (CORDEIRO, 2006), variedade de uva branca com origem no oeste da França que tende a produzir vinhos brancos secos de coloração clara, aromáticos e com acidez refrescante (WINE-SEARCH, 2023). Em Santa Catarina, os vinhos da variedade Sauvignon Blanc apresentam aromas frutados (maracujá, maçã, pera, banana) e florais (MARCON FILHO, 2016). Em São Joaquim, os vinhos da variedade Sauvignon Blanc apresentam coloração entre amarelo pálido e amarelo claro límpida e cristalina com aromas frutados, minerais, florais e vegetais de intensidade mediana, teor alcoólico equilibrado, intensidade e persistência de média a alta (MARTINELLI, 2017). Há outros estudos complementares (Edital FAPESC 03/2022 projeto nº 2022TR001373) que estão em andamento para analisar o perfil sensorial da Sauvignon Blanc em São Joaquim com objetivo de identificar as tipicidades dessa variedade no município.



Figura 44. Cachos de Sauvignon Blanc em vinhedo da vinícola Villaggio Bassetti em São Joaquim.

Um outro estudo realizado por Brighenti et al. (2014) analisou o desempenho de 12 variedades italianas (Aglanico, Aleatico, Ancellotta, Lambrusco Grasparossa, Montepulciano, Negroamaro, Prosecco, Rebo, Sagrantino, Sangiovese, Verdicchio e Vermentino) em São Joaquim em uma altitude de 1.400 metros, que tiveram brotação entre agosto e setembro e maturação entre abril e maio. As variedades que melhor se adaptaram foram Montepulciano, Sagrantino, Sangiovese, Verdicchio e Vermentino. Contudo, deve-se levar em consideração as condições climáticas no local do experimento, pois em São Joaquim são encontradas altitudes que chegam próximas aos 700 metros onde as temperaturas são maiores e que talvez sejam adequadas para outras variedades.

De acordo com o Sistema de Classificação Climática Multicritério Geovíticola (TONIETTO & CARBONNEAU, 2004) são sugeridas, em conformidade com os climas vitícolas identificados no município e o potencial de maturação das uvas, as seguintes variedades para São Joaquim: variedades precoces, especialmente variedades brancas como, por exemplo, Muller-Thurgau, Pinot Blanc, Gamay e Gewurztraminer (IH-3); variedades brancas e tintas como, por exemplo, Riesling, Pinot Noir, Chardonnay, Merlot e Cabernet Franc (IH-2); variedades tardias como, por exemplo, Cabernet Sauvignon, Ugni Blanc e Syrah (IH-1); e demais variedades como, por exemplo, Grenache, Mourvèdre e Carignan (IH+1). Como apontado anteriormente, algumas variedades sugeridas (Gewurztraminer, Pinot Noir, Chardonnay, Merlot, Cabernet Franc, Cabernet Sauvignon e Syrah) já são cultivadas em São Joaquim e se adaptaram bem ao *terroir* do município.

9. CORRELAÇÕES

9.2 FATORES GEOLÓGICO E FISIOGRÁFICO

As rochas vulcânicas são responsáveis por formar extensos planaltos com mais ou menos dissecamento a depender da sua composição química e características físicas. No município de São Joaquim, geologia e geomorfologia podem ser associadas. Como pode ser observado na Fig. 45, que compara as unidades geológicas e geomorfológicas, a unidade geológica Formação Palmas (verde escuro) pode ser associada com a unidade geomorfológica Planalto dos Campos Gerais (verde escuro) e a unidade geológica Formação Vale do Sol (verde claro) pode ser associada com a unidade geomorfológica Planalto Dissecado Rio Uruguai (verde claro). Há indícios da Formação Palmas na porção noroeste do município onde está localizada uma parte da Planalto dos Campos Gerais, mas a referida região ainda carece de dados de mapeamento sistemático e geoquímica.

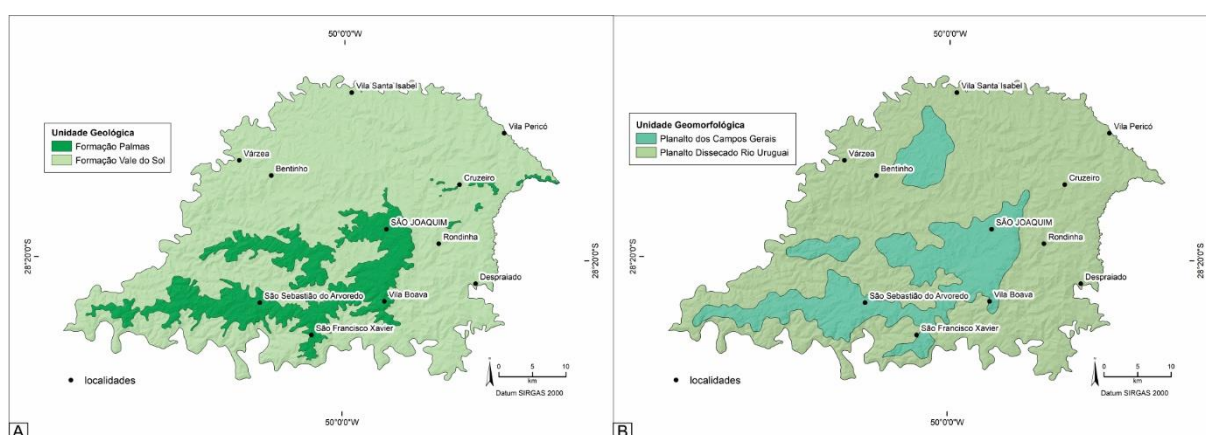


Figura 45. Comparação entre os mapas (A) geológico e (B) geomorfológico de São Joaquim. Fonte: elaborado pelo autor com dados de CPRM (2022) e Santa Catarina (2016).

As rochas vulcânicas da Formação Palmas (dacitos, riolitos e traquidacitos) são associadas com um relevo mais plano (pouco dissecado) do Planalto dos Campos Gerais, enquanto as rochas vulcânicas da Formação Vale do Sol (andesitos basálticos, basaltos, traqui-andesitos basálticos, traquibasaltos e andesitos) são associadas a um relevo mais acidentado (muito dissecado) da Planalto

Dissecado Rio Uruguai (Fig. 46). Isso tende a ocorrer pelo fato das rochas vulcânicas da Formação Palmas possuírem um maior teor de sílica ($> 66\% \text{SiO}_2$) que atenua o intemperismo dos minerais e, em geral, forma uma estrutura com disjunções sub-horizontais que dificulta a percolação de água. Em contrapartida, as rochas vulcânicas da Formação Vale do Sol possuem um menor teor de sílica ($< 58\% \text{SiO}_2$), o que favorece o intemperismo dos minerais e, em geral, uma estrutura de topo do derrame brechado (*rubbly pahoehoe*) que também favorece a percolação da água (Fig. 47). Estes contrastes composicionais e da morfologia dos derrames, bem como de sua estrutura, condicionam as diferentes morfologias do relevo dadas por diferentes graus de dissecamento.

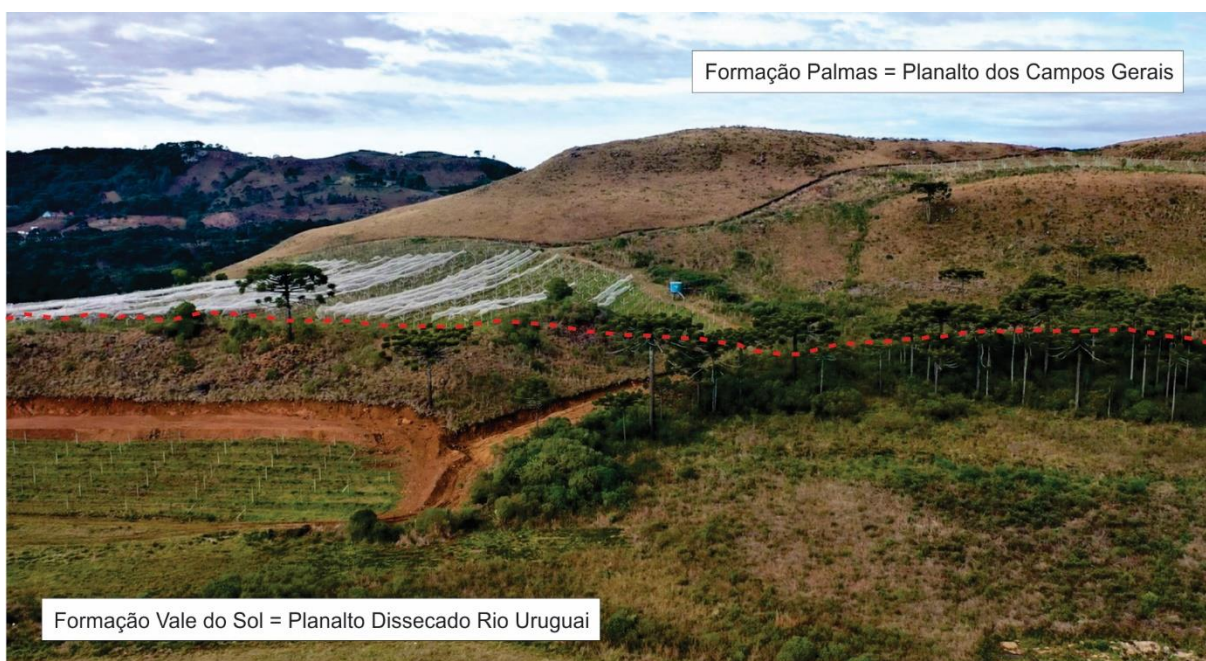


Figura 46. Contato estimado (linha vermelha tracejada) entre unidades geológicas e geomorfológicas.



Figura 47. Comparação entre grau de intemperismo entre rochas vulcânicas da: (A) Formação Palmas (menor intemperismo = menor dissecamento) e (B) Formação Vale do Sol (maior intemperismo = maior dissecamento).

9.2 FATORES GEOLÓGICO E PEDOLÓGICO

As rochas vulcânicas são responsáveis por formar diferentes tipos de solos com profundidades variáveis que, como o grau de dissecamento descrito no item anterior, também dependem da sua composição química e características físicas. No município de São Joaquim, geologia e pedologia podem ser associadas. Como pode ser observado na Fig. 48, que compara as unidades geológicas e pedológicas, a unidade geológica Formação Palmas (verde escuro) pode ser associada com a unidade pedológica CH18 (Cambissolos Húmicos Tb Distróficos + Neossolos Litólicos Distróficos) (amarelo claro) e a unidade geológica Formação Vale do Sol (verde claro) pode ser associada com as demais unidades pedológicas. Há indícios da Formação Palmas na porção noroeste do município onde está localizada a associação de solos CH20 (Cambissolos Húmicos Tb Distróficos + Neossolos Litólicos Distróficos + Nitossolos Brunos Distróficos) (amarelo claro), mas esta correlação demanda o levantamento de dados de mapeamento geológico e geoquímica para sua adequada cartografia.

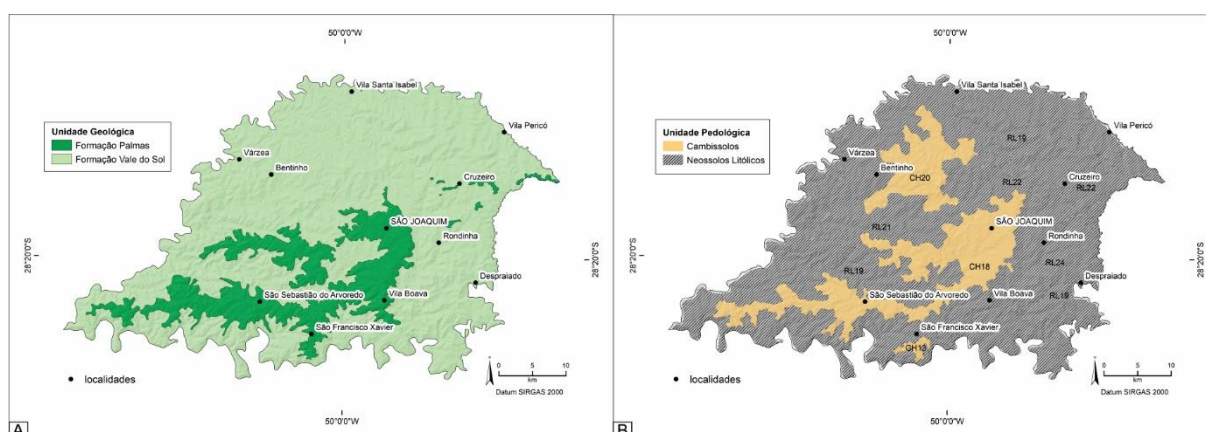


Figura 48. Comparação entre os mapas (A) geológico e (B) pedológico de São Joaquim.
Fonte: elaborado pelo autor com dados de CPRM (2022) e EMBRAPA (2004).

As rochas vulcânicas da Formação Palmas (dacitos, riolitos e traquidacitos) são associadas com solos mais rasos da associação de solos CH18 (Cambissolos Húmicos Tb Distróficos + Neossolos Litólicos Distróficos), enquanto as rochas vulcânicas da Formação Vale do Sol (andesitos basálticos, basaltos, traqui-andesitos basálticos, traquibasaltos e andesitos) são associadas com solos mais profundos das associações de solo RL21 (Neossolos Litólicos Distróficos + Cambissolos Háplicos Tb + Nitossolos Brunos Distróficos), RL24 (Neossolos Litólicos Distróficos + Cambissolos Háplicos Tb + Neossolos Litólicos Eutróficos + Nitossolos Brunos/Nitossolos Vermelhos Eutróficos) e CH20 (Cambissolos Húmicos Tb Distróficos + Neossolos Litólicos Distróficos + Nitossolos Brunos Distróficos), que perfazem mais da metade do município (Fig. 59). Isso tende a ocorrer, como o grau de dissecamento descrito no item anterior, pelo fato das rochas vulcânicas da Formação Palmas apresentarem um maior teor de sílica ($> 66\% \text{ SiO}_2$) que atenua o intemperismo dos minerais e, em geral, uma estrutura com disjunções sub-horizontais que dificulta a percolação de água. E pelo fato das rochas vulcânicas da Formação Vale do Sol apresentarem um menor teor de sílica ($< 58\% \text{ SiO}_2$) que favorece o intemperismo dos minerais e, em geral, uma estrutura de topo do derrame brechado (*rubbly pahoehoe*) que favorece a percolação da água (Fig. 50). Com isso as rochas vulcânicas da Formação

Vale do Sol podem formar um tipo de solo mais desenvolvido e profundo (Nitossolos) que as rochas vulcânicas da Formação Palmas, onde predominam os solos mais rasos e menos desenvolvidos, como os Neossolos.

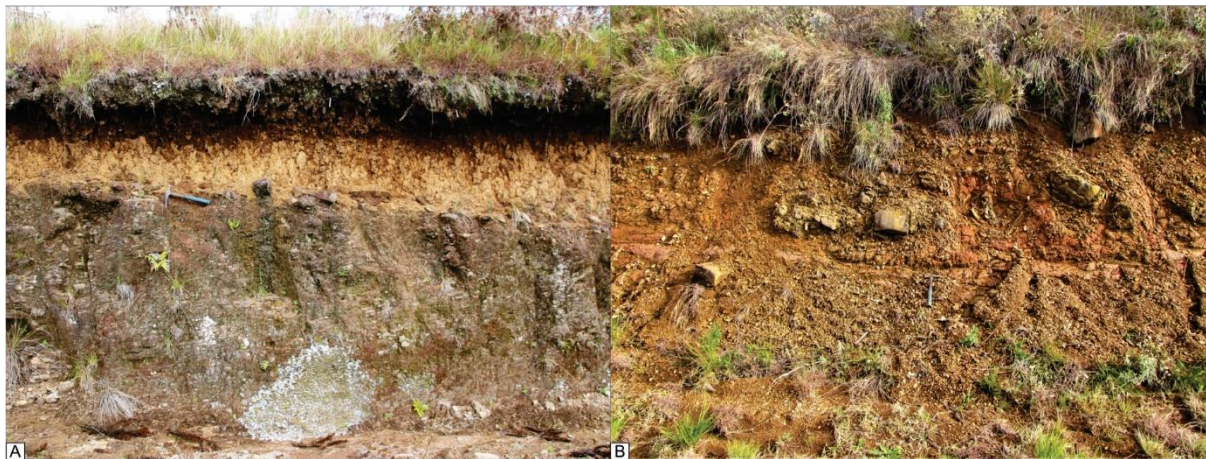


Figura 49. Exemplo: (A) Neossolo da unidade pedológica CH18 (Cambissolos Húmicos Tb Distróficos + Neossolos Litólicos Distróficos) e (B) Nitossolo da unidade pedológica RL21 (Neossolos Litólicos Distróficos + Cambissolos Háplicos Tb + Nitossolos Brunos Distróficos).



Figura 50. Comparação entre grau de desenvolvimento entre solos formados pelo intemperismo das rochas vulcânicas da: (A) Formação Palmas (menor intemperismo = menor desenvolvimento) e (B) Formação Vale do Sol (maior intemperismo = maior desenvolvimento).

Ambas as unidades geológicas formam solos, em média, com textura argilosa (material com conteúdo de argila entre 350 g/kg e 600 g/kg; EMBRAPA, 2018), o que pode estar relacionado com a granulometria afanítica dessas rochas vulcânicas. Em relação aos seus atributos químicos, os solos de São Joaquim formados pelo intemperismo das rochas da Formação Palmas apresentam, em média, um maior teor de carbono orgânico (31,09 g/kg), um maior teor de matéria orgânica (53,60 g/kg), uma

maior CTC_{argila} (42,23 cmol_e/kg), um menor pH (4,66) (Tab. 25), um menor teor de cálcio (0,60 cmol_e/kg), um menor teor de magnésio (0,67 cmol_e/kg), um menor teor de potássio (0,11 cmol_e/kg), uma menor soma de bases (1,38 cmol_e/kg), um maior teor de alumínio (5,65 cmol_e/kg), um maior teor de hidrogênio (14,74 cmol_e/kg), uma maior CTC_{potencial} (21,76 cmol_e/kg), um maior m% (83,94) e um menor V% (6,54) (Tab. 27) do que os solos formados pelo intemperismo das rochas da Formação Vale do Sol. Estes apresentam, em média, um menor teor de carbono orgânico (21,43 g/kg), um menor teor de matéria orgânica (36,95 g/kg), uma menor CTC_{argila} (33,17 cmol_e/kg), um maior pH 5,25 (Tab. 26), um maior teor de cálcio (2,43 cmol_e/kg), um maior teor de magnésio (1,91 cmol_e/kg), um menor teor de potássio (0,10 cmol_e/kg), uma maior soma de bases (4,44 cmol_e/kg), um menor teor de alumínio (2,22 cmol_e/kg), um menor teor de hidrogênio (8,28 cmol_e/kg), uma menor CTC_{potencial} (14,94 cmol_e/kg), um menor m% (37,09) e um maior V% (31,53) (Tab. 28). Ambas as unidades geológicas formam solos com baixo V% (< 50%; EMBRAPA, 2018).

Tabela 25. Caracterização física e química dos solos na Formação Palmas.

	Areia	Silte	Argila	Relação Silte/Argila	C-org	M.O.	CTC _{argila}	pH _{água}
n = 66	-----g/kg-----				-----g/kg-----		cmol _e /kg	
MÉDIA	152	317	531	0,64	31,09	53,60	42,23	4,66
MÍNIMO	68	202	290	0,32	4,00	6,90	16,55	4,09
MÁXIMO	290	641	650	2,21	133,62	230,36	109,63	5,00
MEDIANA	140	314	554	0,57	28,21	48,64	39,08	4,67
DESVIO MÉDIO	42	56	61	0,20	15,66	26,99	12,96	0,16
DESVIO PADRÃO	51	79	79	0,31	22,33	38,50	17,86	0,20

Fonte: elaborado pelo autor com dados de Santos (2016), Dortzbach (2016) e do presente trabalho.

Tabela 26. Caracterização física e química dos solos na Formação Vale do Sol.

	Areia	Silte	Argila	Relação Silte/Argila	C-org	M.O.	CTC _{argila}	pH _{água}
n = 113	-----g/kg-----				-----g/kg-----		cmol _e /kg	
MÉDIA	130	390	480	0,91	21,43	36,95	33,17	5,25
MÍNIMO	25	184	212	0,26	2,32	4,00	11,19	4,33
MÁXIMO	467	745	730	3,52	62,58	107,89	102,17	6,50
MEDIANA	113	394	485	0,82	20,88	36,00	27,79	5,20
DESVIO MÉDIO	57	77	92	0,34	9,08	15,65	12,49	0,25
DESVIO PADRÃO	79	100	117	0,47	11,86	20,44	15,63	0,34

Fonte: elaborado pelo autor com dados de Santos (2016), Dortzbach (2016) e do presente trabalho.

Tabela 27. Caracterização química dos solos na Formação Palmas.

	Ca	Mg	K	SB	Al	H	CTC _{potencial}	m	V
n = 66	-----cmolc/kg-----							-----%-----	
MÉDIA	0,60	0,67	0,11	1,38	5,65	14,74	21,76	83,94	6,54
MÍNIMO	0,00	0,10	0,00	0,14	0,38	3,22	9,34	1,64	0,33
MÁXIMO	15,47	6,45	0,89	22,81	10,15	40,80	49,37	98,51	85,02
MEDIANA	0,00	0,40	0,04	0,62	5,51	12,76	19,79	91,57	2,70
DESVIO MÉDIO	0,84	0,50	0,11	1,38	1,19	5,56	6,04	13,48	6,39
DESVIO PADRÃO	2,00	0,89	0,17	2,98	1,64	7,49	8,09	20,06	12,09

Fonte: elaborado pelo autor com dados de Santos (2016), Dortzbach (2016) e do presente trabalho.

Tabela 28. Caracterização química dos solos na Formação Vale do Sol.

	Ca	Mg	K	SB	Al	H	CTC _{potencial}	m	V
n = 113	-----cmolc/kg-----							-----%-----	
MÉDIA	2,43	1,91	0,10	4,44	2,22	8,28	14,94	37,09	31,53
MÍNIMO	0,00	0,30	0,01	0,65	0,00	1,72	7,20	0,00	1,93
MÁXIMO	11,52	6,70	0,49	16,54	9,30	32,60	42,73	91,85	85,59
MEDIANA	2,00	1,60	0,05	3,52	2,10	7,14	13,55	38,11	26,69
DESVIO MÉDIO	1,54	0,96	0,08	2,47	1,38	3,68	4,14	22,91	16,52
DESVIO PADRÃO	2,05	1,28	0,12	3,18	1,73	5,05	5,53	26,45	19,99

Fonte: elaborado pelo autor com dados de Santos (2016), Dortzbach (2016) e do presente trabalho.

9.3 FATORES FISIOGRAFICO E PEDOLÓGICO

As formas de relevo são responsáveis por condicionar a dinâmica da água na paisagem, o que tem relação direta com os diferentes tipos de solos formados (maior ou menor desenvolvimento pedogenético) dependendo da posição na paisagem (terço superior, médio ou inferior). No município de São Joaquim, geomorfologia e pedologia podem ser associadas. Como pode ser observado na Fig. 51, que compara as unidades geomorfológicas e pedológicas, a unidade geomorfológica Planalto dos Campos Gerais (verde escuro) pode ser associada com as unidades pedológicas CH18 (Cambissolos Húmicos Tb Distróficos + Neossolos Litólicos Distróficos) (amarelo claro) e CH20 (Cambissolos Húmicos Tb Distróficos + Neossolos Litólicos Distróficos + Nitossolos Brunos Distróficos) (amarelo claro) e a unidade geomorfológica Planalto Dissecado Rio Uruguai (verde claro) pode ser associada com as demais unidades pedológicas.

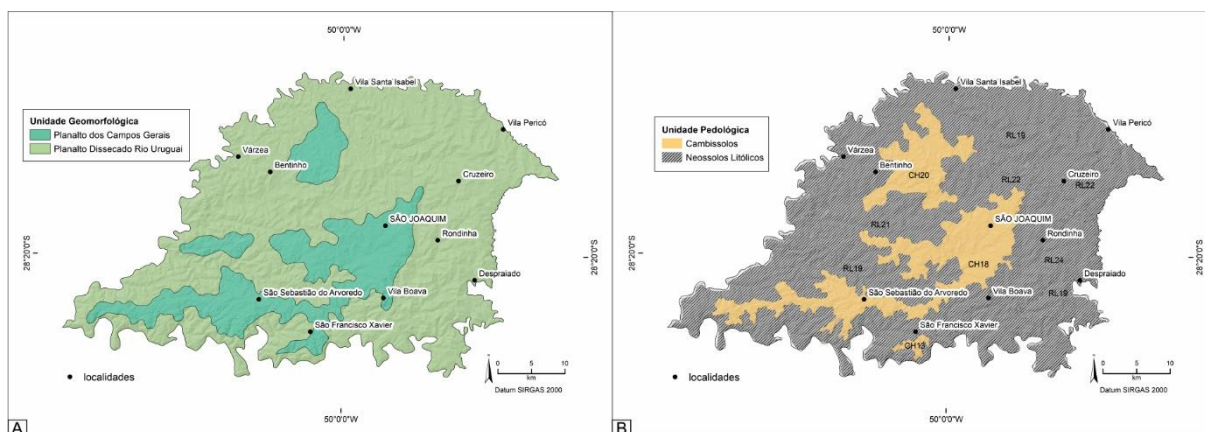


Figura 51. Comparação entre os mapas (A) geomorfológico e (B) pedológico de São Joaquim.
 Fonte: elaborado pelo autor com dados de Santa Catarina (2016) e EMBRAPA (2004).

As formas de relevo do Planalto dos Campos Gerais (pouco dissecado) tendem a gerar solos das classes dos Neossolos, Cambissolos e Organossolos (Fig. 52), enquanto as formas de relevo do Planalto Dissecado Rio Uruguai (muito dissecado) tendem a gerar solos das classes dos Cambissolos, Neossolos e Nitossolos (Fig. 53). Isso tende a ocorrer pelo fato das formas de relevo do Planalto dos Campos Gerais apresentarem um menor dissecamento com relevo mais plano e contato lítico mais próximo da superfície, o que favorece o desenvolvimento de solos mais rasos (Neossolos e Organossolos) em porções de terço superior próximo ao topo da encosta (Fig. 54) e solos intermediários (Cambissolos) em porções de terço médio da encosta (Fig. 55). Enquanto, as formas de relevo do Planalto Dissecado Rio Uruguai apresentarem um maior dissecamento com relevo mais acidentado, o que favorece o desenvolvimento de solos desde mais rasos em porções de terço superior próximo ao topo da encosta (Neossolos) (Fig. 54), solos intermediários (Cambissolos) em porções de terço médio da encosta (Fig. 55) e solos mais profundos (Nitossolos) em porções de terço médio próximo a base da encosta (Fig. 56). A partir dos dados pedológicos levantados em São Joaquim (SANTOS, 2016; DORTBACH, 2016 e do presente trabalho) foi possível verificar que as formas de relevo do Planalto Dissecado Rio Uruguai favorecem a formação dos Nitossolos, o que não foi evidenciado para as formas de relevo da Planalto dos Campos Gerais.

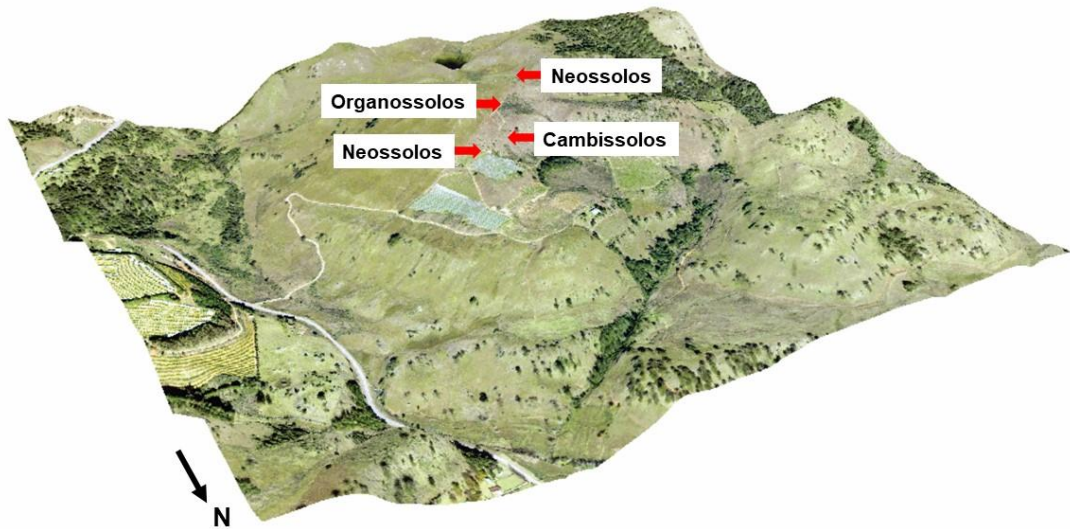


Figura 52. Modelo 3D de parte da unidade geomorfológica Planalto dos Campos Gerais com localização dos perfis de solo analisados próximos da vinícola Boutique D'alture.
Fonte: elaborado pelo autor com dados de SDE (2013) e SANTOS et al. (2023).

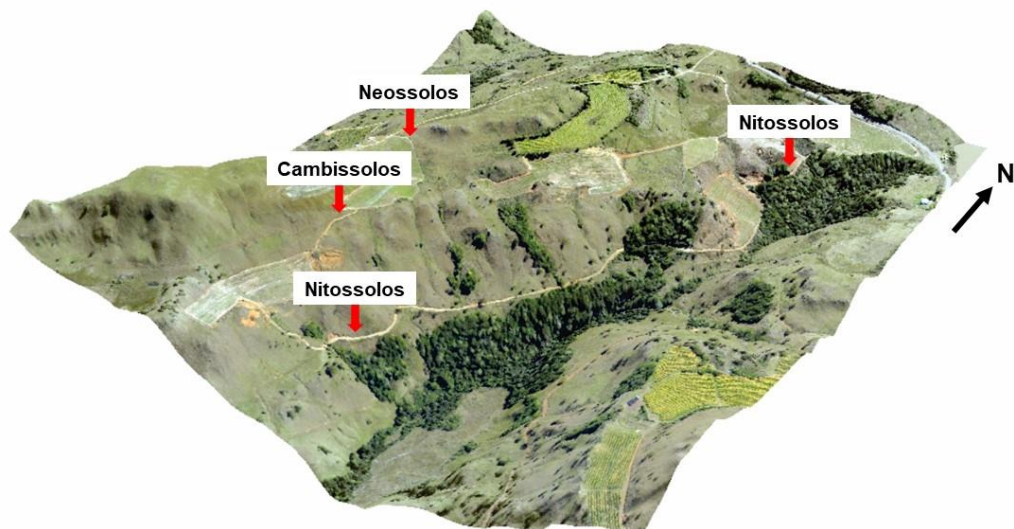


Figura 53. Modelo 3D de parte da unidade geomorfológica Planalto dos Campos Gerais com localização dos perfis de solo analisados próximos da vinícola Villaggio Bassetti.
Fonte: elaborado pelo autor com dados de SDE (2013) e SANTOS et al. (2023).



Figura 54. Exemplo (A) da paisagem e (B) de um perfil da classe dos Neossolos formado no terço superior próximo ao topo da encosta (seta cinza) no município de São Joaquim.



Figura 55. Exemplo (A) da paisagem e (B) de um perfil da classe dos Cambissolos formado no terço médio da encosta (seta amarela) no município de São Joaquim.

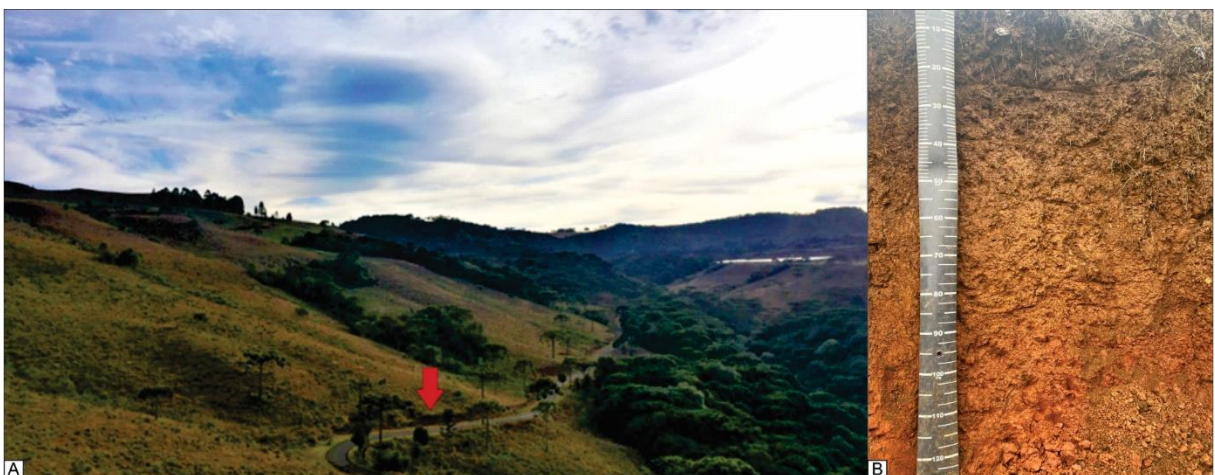


Figura 56. Exemplo (A) da paisagem e (B) de um perfil da classe dos Nitossolos formado no terço médio próximo a base da encosta (seta vermelha) no município de São Joaquim.

9.4 FATORES FISIAGRÁFICO E METEOROLÓGICO

As formas de relevo são responsáveis por condicionar o clima de uma região. No município de São Joaquim, geomorfologia e meteorologia podem ser associadas. Como pode ser observado na Fig. 57, que compara as classes de altitude e classes de temperatura, nas menores altitudes são encontradas as maiores temperaturas e nas maiores altitudes são encontradas as menores temperaturas. Com uma variação altimétrica de 923 metros (715 - 1.638 metros) e uma variação térmica de 4,4 °C (12,3 - 16,7 °C), no município de São Joaquim se tem um decréscimo de 0,48 °C na temperatura média anual para cada acréscimo de 100 metros na altitude. Essa taxa de variação na temperatura de acordo com a altitude é condizente com o descrito por Jackson (2008).

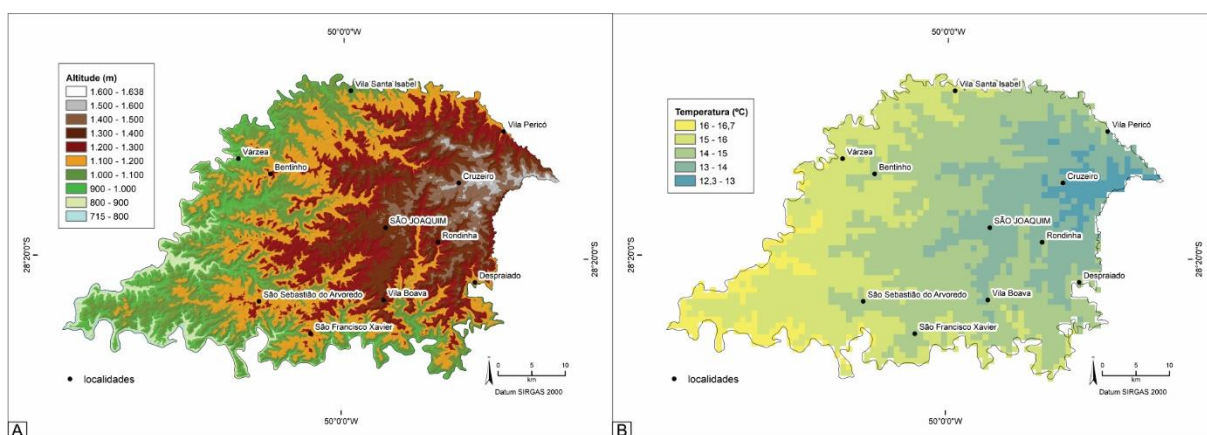


Figura 57. Comparação entre os mapas (A) de altitude e (B) de temperatura de São Joaquim. Fonte: elaborado pelo autor com dados de Santa Catarina (2016) e Fick & Hijmans (2017).

No exemplo abaixo podemos observar a influência da altitude não apenas na temperatura, mas também na precipitação no município de São Joaquim (Fig. 58). Nas porções de vale com menores altitudes (Fig. 58A; em amarelo) são encontradas as maiores temperaturas (Fig. 58B; em amarelo) e menores precipitações (Fig. 58C; em azul claro), enquanto nas porções de topo de morro com maiores altitudes (Fig. 58A; em marrom) são encontradas as menores temperaturas (Fig. 58B; azul claro) e maiores precipitações (Fig. 58C; azul escuro). Isso demonstra como as formas de relevo também podem condicionar as variáveis meteorológicas de São Joaquim e gerar variações em escalas maiores no município.

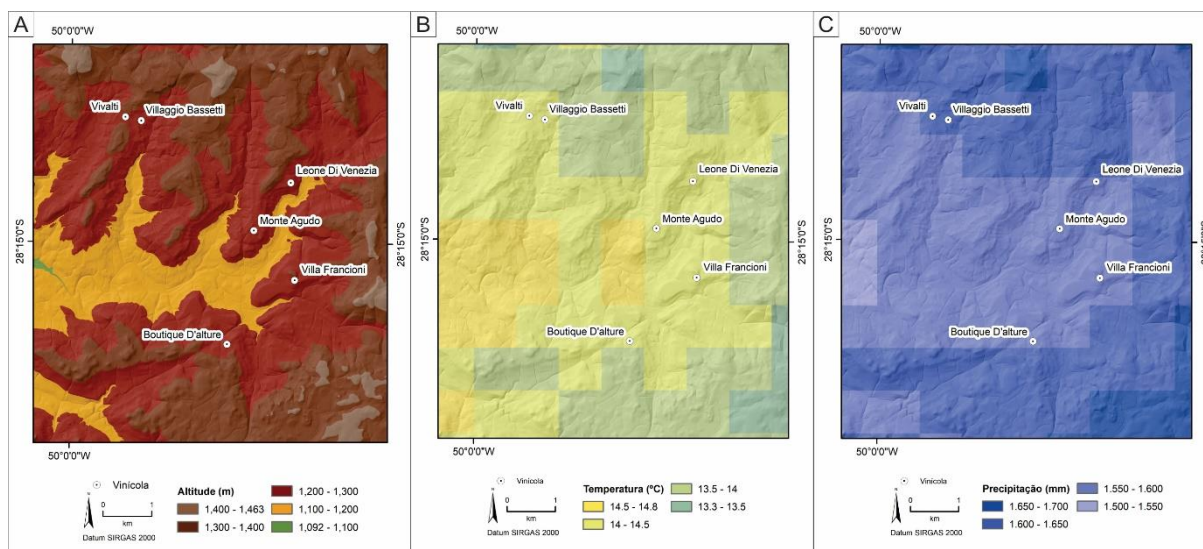


Figura 58. Influência da altitude na temperatura e precipitação de algumas vinícolas de São Joaquim. Fonte: elaborado pelo autor com dados de Santa Catarina (2016) e Fick & Hijmans (2017).

10. INTEGRAÇÃO

10.1 DENOMINAÇÃO DE ORIGEM

Com os resultados obtidos no presente trabalho foi possível observar que os fatores que compõem o *terroir* de São Joaquim apresentam as seguintes características:

- Fator Geológico: o município é composto por rochas vulcânicas do Grupo Serra Geral (Província Magmática Paraná), onde predominam basaltos andesíticos baixo-titânio do magma-tipo Gramado da Formação Vale do Sol e dacitos baixo-titânio do magma-tipo Palmas da Formação Palmas. Por apresentarem uma textura predominantemente afanítica, ao intemperizar essas rochas formam solos de textura predominantemente argilosa. As rochas basálticas da Formação Vale do Sol, em geral, por terem um menor teor de sílica e apresentarem um topo com estrutura brechada, formam relevos com maiores declividades e solos mais profundos com maiores teores de cálcio e magnésio. Já as rochas dacíticas da Formação Palmas, em geral, por terem um maior teor de sílica e apresentarem estrutura com disjunções horizontais, formam relevos com menores declividades e solos menos profundos com maiores teores de alumínio e potássio. A maior parte dos vinhedos está localizada na Formação Vale do Sol. Neste cenário, os vinhos de São Joaquim podem ser considerados como “vinhos vulcânicos”.
- Fator Fisiográfico: o município apresenta altitudes que variam entre 715 a 1.638 m (com os vinhedos mais altos localizados próximos aos 1.400 m) com declividades que variam entre 0 a > 75% (com predomínio de relevo do tipo forte ondulado: 20 - 45 % de declividade) em encostas voltadas para diferentes orientações. O efeito da altitude na temperatura se torna evidente em São Joaquim com menores temperaturas encontradas em regiões de maior altitude e maiores

temperaturas encontradas em regiões de menor altitude. Os vinhos de São Joaquim podem ser considerados como “vinhos de altitude”, se produzidos com uvas de variedades autorizadas cultivadas em vinhedos com altitudes superiores a 840 metros. Em alguns casos, pelas maiores declividades dos terrenos, os vinhedos do município utilizam da técnica de terraceamento para viabilizar o cultivo das uvas. Considerando os dados, em alguns locais a viticultura de São Joaquim pode também ser considerada como “viticultura de montanha”.

- Fator Pedológico: o município é composto por solos das classes dos Neossolos, Cambissolos, Nitossolos, Gleissolos e Organossolos, com profundidades que variam de menores que 50 cm (Neossolos, por exemplo) a maiores que 150 cm (Nitossolos, por exemplo), textura que pode variar de argilosa a muito argilosa, alto teor de matéria orgânica, pH fortemente ácido, alto teor de alumínio, distróficos e fase pedregosa. Os Neossolos predominam no município, mas a maior parte dos vinhedos encontra-se em solos das classes dos Cambissolos. Os Nitossolos possuem as maiores profundidades. Os Gleissolos ocorrem de forma restrita. E os Organossolos ocorrem em porções de terço superior de paisagem em regiões de altitude com relevo mais plano. Os solos de São Joaquim podem ser considerados como “solos vulcânicos”.
- Fator Meteorológico: o município apresenta temperatura média anual entre 12,3 a 16,7 °C (a menor entre os municípios vitivinícolas do Brasil), precipitação total anual entre 1.451 a 1.734 mm e radiação solar total anual entre 1.947 a 2.016 h. A viticultura de São Joaquim pode ser considerada de clima frio se comparada com outras regiões vitivinícolas do país e de clima intermediário se comparada com outras regiões vitivinícolas do mundo. A escolha das variedades de uvas plantadas em São Joaquim pode ser feita considerando a diversidade climática presente ao longo de todo território do município.
- Fator Vitícola: o município é caracterizado por uma viticultura voltada para variedades europeias (*Vitis vinifera*) cultivadas principalmente no sistema de condução do tipo espaldeira e em porta-enxerto Paulsen que produzem vinhos tintos encorpados com acidez equilibrada e vinhos brancos de corpo médio com acidez viva. A viticultura jovem de São Joaquim (~25 anos) ainda procura por variedades de uvas que melhor se adaptam ao *terroir* do município com diversos estudos sendo realizados por instituições de pesquisas e pelas próprias vinícolas. O potencial para descoberta de variedades que expressem a tipicidade da região é imenso.

Com o intuito de sugerir uma denominação de origem para os vinhos de São Joaquim, os dados de localização das propriedades vitivinícolas do município (Fig. 39) foram plotados no mapa de altitude (Fig. 23) para que fosse possível identificar um polígono com um intervalo de altitude que contemplasse todos os vinhedos de São Joaquim. A opção por abranger todos os vinhedos do município na denominação de origem dos vinhos de São Joaquim se deve ao fato de seus vinhos apresentarem uma acidez característica (INPI, 2021) que está relacionada com as baixas temperaturas do município que, por sua vez, estão relacionadas com o efeito térmico da altitude. Com isso, foi possível identificar um

polígono com uma área de 1.209,34 km² entre as altitudes de 1.100 a 1.500 m (em amarelo) (Fig. 59) que apresenta um *terroir* que pode ser resumido como composto por rochas vulcânicas, solos argilosos, relevos acidentados e temperaturas baixas. Com estudos de detalhe semelhantes ao realizado nesta pesquisa pode ser possível expandir essa área proposta da denominação de origem para outros municípios da Serra Catarinense como, por exemplo, Urupema, Urubici e Bom Jardim da Serra.

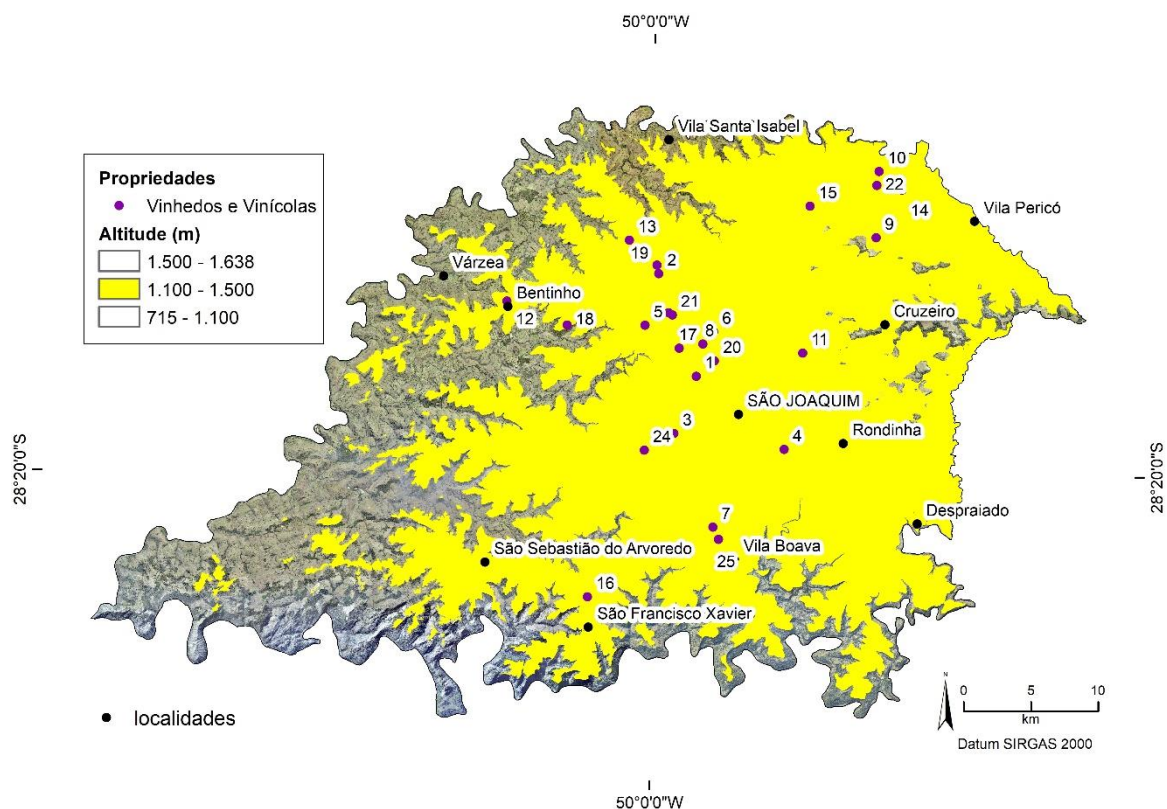


Figura 59. Mapa de altitude de São Joaquim com destaque para o intervalo entre 1.100 e 1.500 m (em amarelo) onde estão localizadas as propriedades vitivinícolas: 1. Boutique D'alture, 2. Fattoria São Joaquim, 3. Fazenda Colégio, 4. Hiragami, 5. Insolito, 6. Leone Di Venezia, 7. Marcelino Kioshi, 8. Monte Agudo, 9. Morro do Espia, 10. Pericó, 11. Piccola Fattoria, 12. Quinta da Neve, 13. Quinta das Araucárias, 14. Sanjo, 15. Santo Onofre, 16. São Sebastião, 17. Serrinha, 18. Suzin, 19. Tenuta Bergamaschi, 20. Villa Francioni, 21. Villaggio Basetti, 22. Villaggio Conti, 23. Vivalti, 24. Zaga Costa e 25. Zanella Back. Fonte: elaborado pelo autor com dados de EPAGRI (2019), SDE (2013) e do presente trabalho.

10.2 SUB-UNIDADES DE *TERROIR*

Com o intuito de identificar as diferentes sub-unidades de *terroir* do município de São Joaquim foi realizada uma análise multifatorial dos fatores geológico (formação geológica), pedológico (associação de solos) e meteorológico (temperatura média anual e precipitação total anual). O fator geológico foi dividido conforme as formações geológicas por apresentarem características físicas e químicas que influenciam na geração de diferentes tipos de relevo e de solos: Formação Vale do Sol (rochas basálticas, com encostas mais declivosas e solos mais profundos com maiores teores de cálcio e magnésio) e Formação Palmas (rochas dacíticas, com encostas mais planas e solos mais rasos com maiores teores de alumínio e potássio). O fator pedológico foi dividido conforme as associações de

solos que apresentavam a classe de solo dos Nitossolos e aquelas que não apresentavam a classe de solo dos Nitossolos por estes serem mais profundos, apresentando, assim mais espaço para o desenvolvimento radicular e uma melhor drenagem que os Neossolos e Cambissolos: CH20, RL21 e RL24 (associações de Cambissolos + Neossolos + Nitossolos) e CH13, CH18, RL19 e RL22 (associações de Cambissolos + Neossolos). O fator meteorológico foi dividido em intervalos de temperatura média anual (°C) e precipitação total anual (mm) abaixo e acima dos seus valores médios no município, uma vez que a videira tem melhor desempenho em locais com temperatura suficiente para maturar por completo as uvas e com precipitação suficiente para suprir as necessidades da videira, mas não em excesso para favorecer o desenvolvimento de fungos e outros patógenos. Os valores atribuídos aos *pixels* de cada um dos fatores estão na Tabela 29.

Tabela 29. Valores atribuídos aos *pixels* dos fatores geológico, pedológico e meteorológico para realização da análise multifatorial através do somatório dos arquivos em formato *raster*.

Fator	Intervalo	Valor
Geológico (Formação)	Palmas	2000
	Vale do Sol	1000
Pedológico (Associação)	CH13, CH18, RL19 e RL22	200
	CH20, RL21 e RL24	100
Meteorológico (Temperatura)	12,3 - 14 °C	20
	14,5 - 16,7 °C	10
Meteorológico (Precipitação)	1.600 - 1.734 mm	2
	1.451 - 1.600 mm	1

Com o somatório dos arquivos em formato *raster* dos fatores geológico, pedológico e meteorológico através da ferramenta *Raster Calculator (Spatial Analyst Tool)* foram geradas 16 classes que representam as sub-unidades de *terroir* de São Joaquim (Tabela 30). Por exemplo, o código 1111 representa os *pixels* em que são encontradas as rochas basálticas da Formação Vale do Sol (valor 1000) com os solos das classes dos Cambissolos, Neossolos e Nitossolos das associações CH20, RL21 e RL24 (valor 100) em locais com temperatura média anual entre 14,5 e 16,7 °C (valor 10) e com precipitação total anual entre 1.451 e 1.600 mm (valor 1). Enquanto o código 2222 representa os *pixels* em que são encontradas as rochas dacíticas da Formação Palmas (valor 2000) com os solos das classes dos Cambissolos e Neossolos das associações CH13, CH18, RL19 e RL22 (valor 200) em locais com temperatura média anual entre 12,3 e 14 °C (valor 20) e com precipitação total anual entre 1.600 e 1.734 mm (valor 2).

Tabela 30. Códigos, elementos e áreas das sub-unidades de *terroir* de São Joaquim.

Código	Elementos	Área (km ²)	Área (%)
1111	Formação Vale do Sol / Associações CH20, RL21 e RL24 / Temperatura entre 14,5 e 16,7 °C / Precipitação entre 1.451 e 1.600 mm	483,93	26,57
1112	Formação Vale do Sol / Associações CH20, RL21 e RL24 / Temperatura entre 14,5 e 16,7 °C / Precipitação entre 1.600 e 1.734 mm	9,27	0,51
1121	Formação Vale do Sol / Associações CH20, RL21 e RL24 / Temperatura entre 12,3 e 14 °C / Precipitação entre 1.451 e 1.600 mm	88,49	4,86
1122	Formação Vale do Sol / Associações CH20, RL21 e RL24 / Temperatura entre 12,3 e 14 °C / Precipitação entre 1.600 e 1.734 mm	294,34	16,16
1211	Formação Vale do Sol / Associações CH13, CH18, RL19 e RL22 / Temperatura entre 14,5 e 16,7 °C / Precipitação entre 1.451 e 1.600 mm	377,28	20,71
1212	Formação Vale do Sol / Associações CH13, CH18, RL19 e RL22 / Temperatura entre 14,5 e 16,7 °C / Precipitação entre 1.600 e 1.734 mm	2,11	0,12
1221	Formação Vale do Sol / Associações CH13, CH18, RL19 e RL22 / Temperatura entre 12,3 e 14 °C / Precipitação entre 1.451 e 1.600 mm	34,87	1,91
1222	Formação Vale do Sol / Associações CH13, CH18, RL19 e RL22 / Temperatura entre 12,3 e 14 °C / Precipitação entre 1.600 e 1.734 mm	203,61	11,18
2111	Formação Palmas / Associações CH20, RL21 e RL24 / Temperatura entre 14,5 e 16,7 °C / Precipitação entre 1.451 e 1.600 mm	22,46	1,23
2112	Formação Palmas / Associações CH20, RL21 e RL24 / Temperatura entre 14,5 e 16,7 °C / Precipitação entre 1.600 e 1.734 mm	0,66	0,04
2121	Formação Palmas / Associações CH20, RL21 e RL24 / Temperatura entre 12,3 e 14 °C / Precipitação entre 1.451 e 1.600 mm	1,81	0,10
2122	Formação Palmas / Associações CH20, RL21 e RL24 / Temperatura entre 12,3 e 14 °C / Precipitação entre 1.600 e 1.734 mm	19,74	1,08
2211	Formação Palmas / Associações CH13, CH18, RL19 e RL22 / Temperatura entre 14,5 e 16,7 °C / Precipitação entre 1.451 e 1.600 mm	149,66	8,22
2212	Formação Palmas / Associações CH13, CH18, RL19 e RL22 / Temperatura entre 14,5 e 16,7 °C / Precipitação entre 1.600 e 1.734 mm	6,30	0,35
2221	Formação Palmas / Associações CH13, CH18, RL19 e RL22 / Temperatura entre 12,3 e 14 °C / Precipitação entre 1.451 e 1.600 mm	15,62	0,86
2222	Formação Palmas / Associações CH13, CH18, RL19 e RL22 / Temperatura entre 12,3 e 14 °C / Precipitação entre 1.600 e 1.734 mm	111,22	6,11
Total		1.821,36	100,00

Como pode ser observado no mapa das sub-unidades de *terroir* de São Joaquim (Fig. 60) foram delimitadas 16 sub-unidades de *terroirs* que perfazem 1.821,36 km² do território do município. Destas sub-unidades de *-terroir* 8 apresentam rochas basálticas e 8 apresentam rochas dacíticas, sendo que a classe “Formação Vale do Sol / Associações CH20, RL21 e RL24 / Temperatura entre 14,5 e 16,7 °C / Precipitação entre 1.451 e 1.600 mm” ocupa a maior parte do município com 483,93 km² (26,57%). Deve ser levado em consideração que a conversão para arquivos em formato *raster* com *pixel* de tamanho de 100 x 100 metros pode modificar os limites e as áreas dos polígonos das sub-unidades de *terroir*. Essa diversidade de sub-unidades de *terroir* se torna interessante pela sua capacidade de produzir vinhos com características distintas ao cultivar uma mesma variedade de uva em diferentes

sub-unidades de *terroir* ou produzir vinhos com características semelhantes ao cultivar em um mesmo micro-*terroir* apenas variedades de uva que melhor se adaptem ali. As sub-unidades de *terroir* aqui estabelecidos podem ser uma ferramenta de auxílio na escolha por quais tipos de vinhos produzir em São Joaquim, e quais podem ser suas características. Em algumas vinícolas, os vinhedos estão localizados em mais de uma sub-unidade de *terroir*, como no caso da vinícola Boutique D'alture que possui videiras plantadas em sub-unidades de *terroir* dos códigos 1122, 1121 e 2122, isso faz com que haja uma maior diversidade nas suas possibilidades de produção.

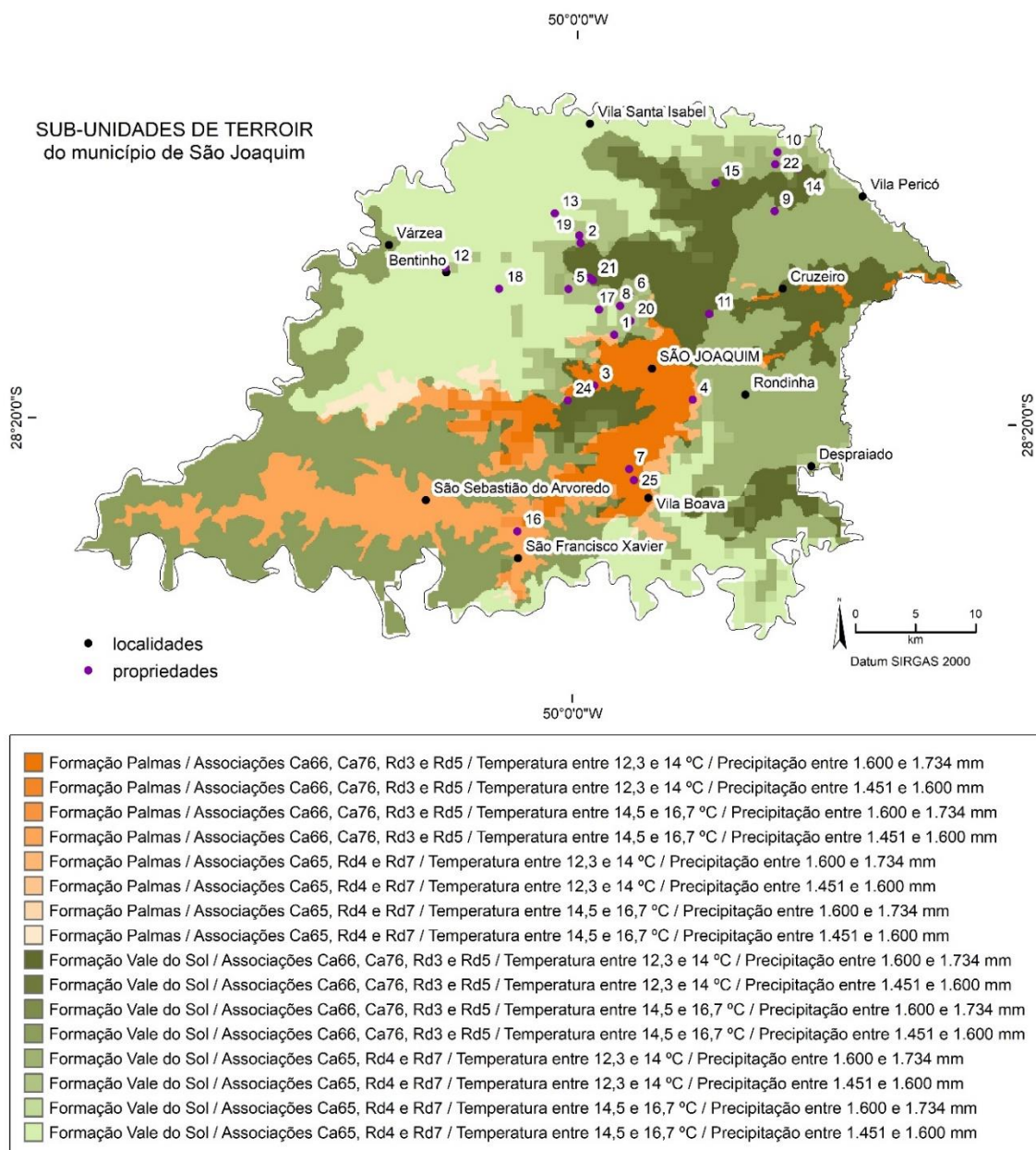


Figura 60. Mapa das sub-unidade de *terroir* do município de São Joaquim com localização das propriedades vitivinícolas: 1. Boutique D'alture, 2. Fattoria São Joaquim, 3. Fazenda Colégio, 4. Hiragami, 5. Insolito, 6. Leone Di Venezia, 7. Marcelino Kioshi, 8. Monte Agudo, 9. Morro do Espia, 10. Pericó, 11. Piccola Fattoria, 12. Quinta da Neve, 13. Quinta das Araucárias, 14. Sanjo, 15. Santo Onofre, 16. São Sebastião, 17. Serrinha, 18. Suzin, 19. Tenuta Bergamaschi, 20. Villa Francioni, 21. Villaggio Basetti, 22. Villaggio Conti, 23. Vivalti, 24. Zaga Costa e 25. Zanella Back. Fonte: elaborado pelo autor com dados de CPRM (2022), EMBRAPA (2004), Fick & Hijmans (2017), EPAGRI (2019) e do presente trabalho.

10.3 SUB-REGIÕES VITIVÍNICOLAS

Com os dados de localização das propriedades vitivinícolas (Fig. 40) plotados no Mapa das sub-unidades de *terroir* do município de São Joaquim (Fig. 60), foi possível observar que a viticultura de São Joaquim se concentra em 4 sub-regiões vitivinícolas do município (Tab. 31, Fig. 61).

Tabela 31. Códigos, elementos e região das principais sub-regiões vitivinícolas de São Joaquim.

Código	Elementos	Sub-Região
1111	Formação Vale do Sol / Associações CH20, RL21 e RL24 / Temperatura entre 14,5 e 16,7 °C / Precipitação entre 1.451 e 1.600 mm	Noroeste
1121	Formação Vale do Sol / Associações CH20, RL21 e RL24 / Temperatura entre 12,3 e 14 °C / Precipitação entre 1.451 e 1.600 mm	Centro-Noroeste
1122	Formação Vale do Sol / Associações CH20, RL21 e RL24 / Temperatura entre 12,3 e 14 °C / Precipitação entre 1.600 e 1.734 mm	Nordeste
2222	Formação Palmas / Associações CH13, CH18, RL19 e RL22 / Temperatura entre 12,3 e 14 °C / Precipitação entre 1.600 e 1.734 mm	Centro-Sul
Total		

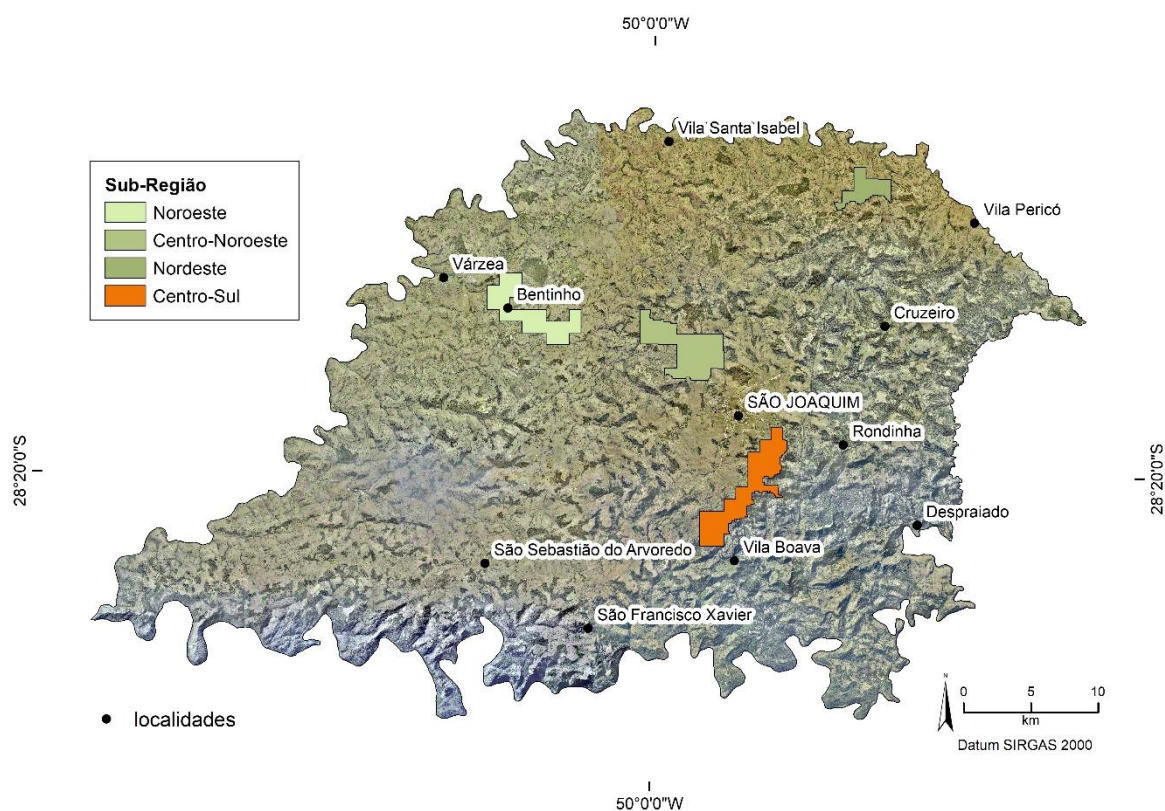


Figura 61. Mapa com propostas das sub-regiões vitivinícolas de São Joaquim.

Na sub-região Noroeste, próximo à localidade de Bentinho e onde estão localizadas as vinícolas Quinta da Neve e Suzin, se encontra a sub-unidade de *terroir* de código 1111 composto por rochas basálticas da Formação Vale do Sol, solos das classes dos Neossolos, Cambissolos e

Nitossolos das associações CH20, RL21 e RL24, com temperatura entre 14,5 e 16,7 °C (mais quente) e precipitação entre 1.451 e 1.600 mm (mais seco). Na sub-região Centro-Noroeste, próximo à sede do município de São Joaquim e onde estão localizadas as vinícolas Vivalti, Villaggio Bassetti, Monte Agudo, Leone di Venezia e Villa Francioni, se encontra a sub-unidade de *terroir* de código 1121 composto por rochas basálticas da Formação Vale do Sol, solos das classes dos Neossolos, Cambissolos e Nitossolos das associações CH20, RL21 e RL24, com temperatura entre 12,3 e 14 °C (mais frio) e precipitação entre 1.451 e 1.600 mm (mais seco). Na sub-região Nordeste, próximo à localidade de Vila Pericó e onde estão localizadas as vinícolas Pericó e Villaggio Conti, se encontra a sub-unidade de *terroir* de código 1122 composto por rochas basálticas da Formação Vale do Sol, solos das classes dos Neossolos, Cambissolos e Nitossolos das associações CH20, RL21 e RL24, com temperatura entre 12,3 e 14 °C (mais frio) e precipitação entre 1.600 e 1.734 mm (mais úmido). Na sub-região Centro-Sul, próximo à localidade de Vila Boava e onde estão localizadas as vinícolas Hiragami e Zanella Back, se encontra a sub-unidade de *terroir* de código 2222 composto por rochas dacíticas da Formação Palmas, solos das classes dos Neossolos e Cambissolos das associações CH13, CH18, RL19 e RL22, com temperatura entre 12,3 e 14 °C (mais frio) e precipitação entre 1.600 e 1.734 mm (mais úmido).

10.3.1 Isótopos de Estrôncio ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)

Com intuito de avaliar a aplicabilidade das razões dos isótopos de estrôncio ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) como ferramenta forense para comprovar a origem geográfica dos vinhos de São Joaquim, foram analisados vinhos comerciais produzidos com uvas das variedades Sauvignon Blanc e Cabernet Sauvignon de três vinícolas do município que fazem parte das sub-regiões Centro-Noroeste (vinícolas Monte Agudo e Villaggio Bassetti) e Centro-Sul (vinícola Hiragami). As razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ dos vinhos produzidos com uvas cultivadas em rochas basálticas da Formação Vale do Sol (0,707257 a 0,707917) são menos radiogênicas do que aquelas dos vinhos produzidos com uvas cultivadas em rochas dacíticas da Formação Palmas (0,708169 a 0,708367) (Fig. 62). Isso torna possível diferenciar os vinhos da sub-região Centro-Noroeste (menos radiogênicos) daqueles da sub-região Centro-Sul (mais radiogênicos).

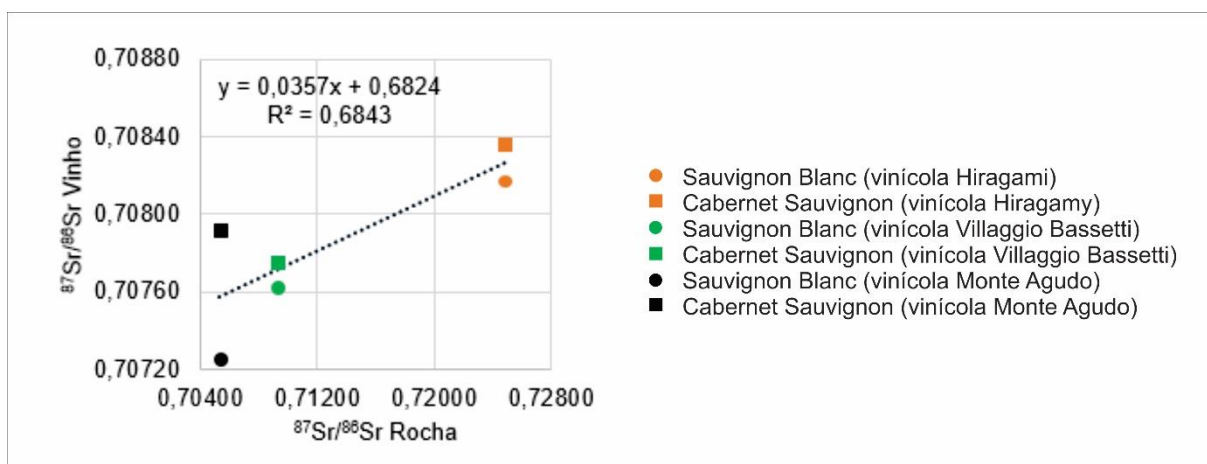


Figura 62. Correlação entre as razões de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ dos vinhos e das rochas de São Joaquim.

Almeida (2021) analisou as razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ dos vinhos de Bento Gonçalves, no Rio Grande do Sul, e relatou razões de 0,71239 para os vinhos produzidos com uvas cultivadas em solos formados pelas rochas basálticas da Formação Vale do Sol e entre 0,71671 e 0,71739 para os vinhos produzidos com uvas cultivadas em solos formados pelas rochas riolíticas da Formação Palmas. Esses dados confirmam o padrão observado para os vinhos produzidos com uvas cultivadas em solos vulcânicos do Grupo Serra Geral: razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ menos radiogênicas em rochas basálticas-andesíticas e razões mais radiogênicas em rochas dacíticas-riolíticas. Esses estudos demonstram o potencial das razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ para diferenciar os vinhos vulcânicos do sul do Brasil produzidos com uvas cultivadas em rochas basálticas da Formação Vale do Sol daquelas cultivadas em rochas dacíticas-riolíticas da Formação Palmas. Além disso, foi possível diferenciar os vinhos de São Joaquim, na Serra Catarinense, com razões de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ entre 0,707257 e 0,708367 (menos radiogênicas) daqueles de Bento Gonçalves, na Serra Gaúcha, com razões de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ entre 0,71239 e 0,71739 (mais radiogênicas). Maiores detalhes sobre o uso dos isótopos de Sr como traçador de origem dos vinhos de São Joaquim, consultar ANEXO 3.

11. CONCLUSÕES

11.1 TERROIR DE SÃO JOAQUIM

Através de uma análise integrada desses fatores foi possível detalhar o *terroir* de São Joaquim, bem como delimitar uma área de 1.209,34 km² entre 1.100 e 1.500 m de altitude com características semelhantes de *terroir* para sugerir uma denominação de origem para os vinhos do município. De maneira geral, o *terroir* de São Joaquim pode ser definido como composto por rochas vulcânicas de composição variada (principalmente basáltica e dacítica) que formam solos de textura argilosa, pedregosos, distróficos (baixa fertilidade) com pH fortemente ácido, alto teor de matéria orgânica e baixa soma de bases em um relevo predominantemente acidentado (forte ondulado) em um clima considerado frio e úmido, se comparado com outras regiões vitícolas, e que produz vinhos com acidez marcante.

11.2 SUB-UNIDADES DE TERROIR E SUB-REGIÕES VITIVINÍCOLAS

Também foi possível identificar 16 diferentes sub-unidades de *terroir* em toda a extensão territorial do município com características distintas umas das outras. Além disso, foram sugeridas quatro sub-regiões vitivinícolas em São Joaquim: (I) uma sub-região no noroeste do município com rochas basálticas que formam solos mais profundos em um clima mais quente e mais seco, (II) uma sub-região no centro-noroeste do município com rochas basálticas que formam solos mais profundos em um clima mais frio e mais seco, (III) uma sub-região no nordeste do município com rochas basálticas que formam solos mais profundos em um clima mais frio e mais úmido e (IV) uma região no centro-sul do município com rochas dacíticas que formam solos mais rasos em um clima mais frio e mais úmido.

11.3 ISÓTOPOS DE ESTRÔNCIO

As razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ indicam que pode ser feita uma distinção entre os vinhos do município de São Joaquim, estado de Santa Catarina, daqueles que são produzidos na mesma unidade geológica (Grupo Serra Geral) no município de Bento Gonçalves, estado do Rio Grande do Sul. Também fornece evidências úteis para traçar a origem desses vinhos, uma vez que as razões de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ das rochas vulcânicas do Grupo Serra Geral têm uma assinatura diferente de outras unidades geológicas, onde os vinhos são cultivados no sul do Brasil, como nas rochas graníticas neoproterozoicas ou em rochas sedimentares paleozoicas.

12. CONSIDERAÇÕES

12.1 TEMPERATURA

É importante levar em conta a grande extensão territorial de São Joaquim e sua diversidade de sub-unidades de *terroir* na hora de escolher as variedades de uvas que serão plantadas. Os vinhedos de estudos realizados em São Joaquim (e.g. GRIS et al., 2008; GRIS et al., 2010; BRIGHENTI et al., 2014; MALOHLAVA et al., 2017) estão localizados, em grande parte, em altitudes que variam de 1.200 a 1.400 metros, onde as temperaturas são diferentes daquelas de outras partes do município. Em regiões de São Joaquim com altitudes menores (800 a 1.200 metros), as temperaturas serão maiores (mais quente) e com altitudes maiores (1.400 a 1.600 metros), as temperaturas serão menores (mais frio) do que as encontradas nesses estudos. É interessante realizar estudos nesses intervalos de altitude para avaliar o potencial de variedades de uva em outras partes do município.

12.2 PRECIPITAÇÃO

Outro ponto importante é que nos locais desses experimentos, as precipitações tendem a ser maiores que em outras regiões do município. Isso pode fazer com que outras variedades de uvas sejam mais adequadas para essas regiões. Por isso, se torna importante conhecer as sub-unidades de *terroir* de São Joaquim para identificar suas peculiaridades e potenciais de cultivo. Com estudos complementares que analisem o perfil sensorial das variedades de uvas plantadas em São Joaquim como, por exemplo, o projeto *Turismo enológico-científico em São Joaquim: uma viagem no tempo através dos vinhos vulcânicos da região vitivinícola mais alta e fria do Brasil* (Edital FAPESC 03/2022 projeto nº 2022TR001373) vai ser possível identificar as tipicidades dos vinhos da variedade Sauvignon Blanc nessas diferentes regiões do município.

12.3 FUTUROS TRABALHOS

Com estudos de detalhamento do *terroir* da Serra Catarinense pode ser possível expandir para outros municípios (e.g. Urupema, Urubici e Bom Jardim da Serra) os limites da denominação de origem

sugerida para os vinhos de São Joaquim e assim propor uma denominação de origem para toda região serrana de Santa Catarina (e.g. DO Vinhos da Serra Catarinense). Por esse motivo se aconselha continuar as análises realizadas durante esta pesquisa para aprimoramento do conhecimento científico dos fatores geológico, fisiográfico, pedológico, meteorológico e vitícola que influencia na vitivinicultura catarinense.

As sub-unidades de *terroir* identificadas podem se tornar referência para instalação de novos vinhedos, principalmente nas sub-unidades com menores precipitações, por estas apresentarem melhores condições sanitárias (menor incidência fúngica) durante o desenvolvimento das uvas. É sugerido realizar experimentos com as mesmas variedades de uva em diferentes sub-unidades de *terroir* de São Joaquim para avaliar como elas se desenvolvem e identificar quais variedades melhor se adaptam nas diferentes sub-unidades do município. Com isso pode ser possível realizar um zoneamento vitícola para propor os melhores locais para cultivar determinadas variedades de uva.

Nas sub-regiões vitivinícolas delimitadas (noroeste, centro-noroeste, nordeste e centro-sul) onde já se tem vinhedos implantados e uma vitivinicultura em desenvolvimento pode ser interessante realizar estudo de maior detalhe (> 1:10.000) dos fatores geológico, fisiográfico, pedológico, meteorológico e vitícola que compõem o *terroir* dessas sub-regiões para otimizar o cultivo das uvas nessas áreas. É sugerido também que seja realizado um detalhamento do perfil sensorial dos vinhos produzidos nessas sub-regiões para identificar quais propriedades dos vinhos (corpo, tanino, álcool, aroma, entre outros) podem ser considerados como típicos de cada um desses locais.

Além disso, os dados obtidos nesta pesquisa podem servir de base para caracterização ambiental de outras indicações geográficas no município para produtos como, por exemplo: maçã, erva-mate, cogumelo, pinhão, mel (de melato de bracinga e de canudo de pito), queijo e frescal. É enorme o potencial de São Joaquim para se tornar um município produtor de alimentos diferenciados, com tipicidade e qualidade que podem atrair um grande número de turistas para região da Serra Catarinense e fomentar sua economia.

13. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMI, L.; DUTRA, S.V.; MARCON, Â.R.; CARNIELI, G.J.; ROANI, C.A.; VANDERLINDE, R. **Geographic origin of southern Brazilian wines by carbon and oxygen isotope analyses. Rapid Communications in Mass Spectrometry.** Volume 24, Issue 20, Pages 2943-2948, 2010. <https://doi.org/10.1002/rcm.4726>.

AGRICULTURE CANADA. **Atlas of Suitable Grape Growing Locations in the Okanagan and Similkameen Valleys of British Columbia.** Agriculture Canada & Association of B. C. Grape Growers, Kelowna, Canada. 88 p. 1984.

AGUZZONI, A.; BASSI, M.; ROBATSCHER, P.; SCANDELLARI, F.; TIRLER, W.; TAGLIAVINI, M. **Intra- and Intertree Variability of the $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ Ratio in Apple Orchards and Its Correlation with the Soil $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ Ratio.** Journal of Agricultural and Food Chemistry. 67, 20, p. 5728–5735, 2019. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b01082>.

ALLEWELDT, G.; DETTWEILER, E. **The resources of vitis: world list of grapevine collections.** 2nd ed. Geilweilwehof, 1994.

ALMEIDA, C.M.S.; ALMEIDA, A.C.; GODOY, M.L.D.P.; SAINT'PIERREB, T.D.; GODOY, J.M. **Differentiation Among Brazilian Wine Regions Based on Lead Isotopic Data**. J. Braz. Chem. Soc., Vol. 27, No. 6, 1026-1031, 2016. <http://dx.doi.org/10.5935/0103-5053.20150358>.

ALMEIDA, B.S. **$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ isotopic characterization as a tool for the designation of origin and geographical indication: application to volcanic rocks, soils, grapes and wines from Brazil and Italy**. Tese (Doutorado) - Department of Earth, Environmental and Resources Sciences. Università Degli Studi di Napoli Federico II, Nápoles. 113 p. 2021.

ALMEIDA, B.S.; FEDELE, L.; D'ANTONIO, M.; MORRA, V.; MERCURIO, M.; STEVENSON, R.; WIDORY, D. **Characterizing wine terroir using strontium isotope ratios: a review, Isotopes in Environmental and Health Studies**. 59:4-6, 327-348, 2023. DOI: 10.1080/10256016.2023.2245122

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; DE MORAES GONÇALVES, J.L.; SPAROVEK, G. **Köppen's climate classification map for Brazil**. Meteorologische Zeitschrift. v. 22, p. 711–728, 2013.

AMERINE, M.A.; OUGH, C.S. **Análisis de vinos y mostos**. Zaragoza: Acribia, 158 p. 1976.

BARBERENA, R.; CARDILLO, M.; LUCERO, G.; LE ROUX P.J.; TESSONE, A.; LLANO, C.; GASCO, A.; MARSH, E.J.; NUEVO-DELAUNAY, A.; NOVELLINO, P.; FRIGOLÉ, C.; WINOCUR, D.; BENÍTEZ, A.; CORNEJO, L.; FALABELLA, F.; SANHUEZA, L.; SANTANA SAGREDO, F.; TRONCOSO, A.; CORTEGOSO, V.; DURÁN, V.A.; MÉNDEZ, C. **Bioavailable Strontium, Human Paleogeography, and Migrations in the Southern Andes: A Machine Learning and GIS Approach**. Frontiers in Ecology and Evolution. 9:584325. 2021. DOI: 10.3389/fevo.2021.584325.

BAUER, A.; WOLZ, S.; SCHORMANN, A.; FISCHER, U. **Authentication of Different Terroirs of German Riesling Applying Sensory and Flavor Analysis**. American Chemical Society: Washington, DC, 19 p. 2011.

BESSER, M. L. **Sequência vulcânica ácida da região de São Joaquim – SC: Reognimbritos 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. **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.

BOWEN, P.A.; BOGDANOFF, C.P.; ESTERGAARD, B.P.; MARSH, S.G.; USHER, K.B.; SMITH, C.A.S.; FRANK, G. **Geology and Wine 10. Use of Geographic Information system technology to access viticultural performance, Okanagan and Simalkameen valleys, British Columbia**. Geoscience Canada 32: 161–176. 2005.

BORGHEZAN, M.; VILLAR, L.; SILVA, T.C.; CANTON, M.; GUERRA, M.P.; CAMPOS, C.G.C. **Phenology and Vegetative Growth in a New Production Region of Grapevines: Case Study in São Joaquim, Santa Catarina, Southern Brazil**. Open Journal of Ecology, 4, 321-335. 2014. <http://dx.doi.org/10.4236/oje.2014.46030>.

BRASCHI, E.; MARCHIONNI, S.; PRIORI, S.; CASALINI, M.; TOMMASINI, S.; NATARELLI, L.; BUCCIANTI, A.; BUCELLI, P.; COSTANTINI, E.A.C.; CONTICELLI, S. **Tracing the $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ from rocks and soils to vine and wine: an experimental study on geologic and pedologic characterisation of vineyards using radiogenic isotope of heavy elements**. Science of The Total Environment v. 628-629, p. 1317-1327, 2018.

BRASIL. **Lei nº 9.279, de 14 de maio de 1996. Regula direitos e obrigações relativos à propriedade industrial**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 15 maio 1996. Seção 1, p. 8353. 1996.

BRDE - BANCO REGIONAL DE DESENVOLVIMENTO DO EXTREMO SUL. Agência de Florianópolis. Gerência de Planejamento. **Vitivinicultura em Santa Catarina: Situação atual e perspectiva**. Florianópolis: Banco Regional de Desenvolvimento do Extremo Sul - BRDE, 83 p. 2005.

BRIGHENTI, E.; TONIETTO, J. **O CLIMA DE SÃO JOAQUIM PARA A VITICULTURA DE VINHOS FINOS: Classificação pelo Sistema CCM Geovítica**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 18., 2004, Florianópolis. Anais... Florianópolis: Sociedade Brasileira de Fruticultura, p. 1-4. 2004

BRIGHENTI, A.F.; SILVA, A.L.; BRIGHENTI, E.; PORRO, D.; STEFANINI, M. **Desempenho vitícola de variedades autóctones italianas em condição de elevada altitude no Sul do Brasil**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 49, p. 465-474, 2014.

CERVIM - CENTRE FOR RESEARCH, ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY AND ADVANCEMENT OF MOUNTAIN VITICULTURE. **About us**. 2023. Disponível em: <https://www.cervim.org/en/about-us>. Acesso em: 13 dez. 2023.

CLIMATE. **CLIMA IMBITUBA (BRASIL)**. 2023. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/americas-do-sul/brasil/santa-catarina/imbituba-43892/>. Acesso em: 13 dez. 2023.

COLDWELL, B.C.; PÉREZ, N.M.; VACA, M.C.; PANKHURST, M.J.; HERNÁNDEZ, P.A.; RODRIGUEZ, G.V.M.; PADRÓN, E.; ASENSIO-RAMOS, M.; RIBEIRO, S.; SANTOS, J.F. **Strontium Isotope Systematics of Tenerife Wines (Canary Islands): Tracing Provenance in Ocean Island Terroir**. Beverages 8, 9, 2022. <https://doi.org/10.3390/beverages8010009>.

COMITÉ CHAMPAGNE. **The Champagne region: the terroir**. 2023. Disponível em: <https://www.champagne.fr/en/explore-champagne/a-great-blended-wine/the-champagne-region>. Acesso em: 02 jan. 2023.

CORDEIRO, W. C. **VITIVINICULTURA EM SÃO JOAQUIM - SC: UMA NOVA ATIVIDADE NO MUNICÍPIO**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 139 f, 2006. Disponível em: <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/89399>. Acesso em: 25 nov. 2023.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Mapa geológico da bacia do Paraná**. Porto Alegre: CPRM. Escala 1:1.000.000. 2022. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/23037>. Acesso em: 03 jan. 2023.

CQFS - COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de calagem e adubação para os Estados de Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 376p. 2016.

DAY, M.; ZHANG, B.L.; MARTIN, G.J.; ASSELIN, C.; MORLAT, R. **Characterization of the region and year of production of wines by stable isotopes and elemental analyses**. OENO One, 29(2), 75–87. 1995. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.1995.29.2.1129>.

DEBORD, J.; POURMAND, A.; JANTZI, S.C.; PANICKER, S.; ALMIRALL, J. **Profiling of heroin and assignment of provenance by ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr isotope ratio analysis**. Inorganica Chimica Acta, Volume 468, Pages 294-299, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ica.2017.07.049>.

DELMELLE, P.; OPFERGELT, S.; CORNELIS, J.T.; PING, C.L. **Chapter 72 - Volcanic Soils**. Editor(s): Haraldur Sigurdsson. The Encyclopedia of Volcanoes (Second Edition), Academic Press. Pages 1253-1264, 2015. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385938-9.00072-9>.

DI PAOLA-NARANJO, R.D.; BARONI, M.V.; PODIO, N.S.; RUBINSTEIN, H.R.; FABANI, M.P.; BADINI, R.G.; INGA, M.; OSTERA, H.A.; CAGNONI, M.; GALLEGOS, E.; GAUTIER, E.; PERAL-GARCÍA, P.; HOOGEWERFF, J.; WUNDERLIN, D.A. **Fingerprints of main varieties of Argentinean wines: Terroir differentiation by inorganic, organic, and stable isotopic analyses coupled to chemometrics**. J. Agric. Food Chem., 59, 7854-7865, 2011.

DORTZBACH, D. **Caracterização dos solos e avaliação da aptidão agrícola das regiões produtoras de vinhos finos de altitude de Santa Catarina**. Tese (Doutorado em Agronomia - Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 192f. 2016.

DURDIĆ, S.; VESNA, S.; RAŽIĆ, S.; MUTIĆ, J. **Is a Lead Isotope Ratios in Wine Good Marker for Origin Assessment?** *Frontiers in Chemistry*, Volume 9, 2021. <https://doi.org/10.3389/fchem.2021.746695>.

DUTRA, S.V.; ADAMI, L.; MARCON, A.R.; CARNIELI, G.J.; ROANI, C.A.; SPINELLI, F.R.; LEONARDELLI, S.; VANDERLINDE, R. **Characterization of wines according the geographical origin by analysis of isotopes and minerals and the influence of harvest on the isotope values.** *Food Chemistry*, Volume 141, Issue 3, Pages 2148-2153. 2013. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.04.106>.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**, 2nd edição: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro, Brazil, 212 p. 1997.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Solos do Estado de Santa Catarina**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 745 p. 2004.

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

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Vinhos no Brasil: contrastes na geografia e no manejo das videiras nas três viticulturas do país**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 22 p. 2020a.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Condições meteorológicas e sua influência na safra vitícola de 2020 em regiões produtoras de vinhos finos do Sul do Brasil**. (Documentos 120). 2020b. Disponível em: <https://www.enologia.org.br/default/uploads/boletim-do-clima/boletim-2020-201106015416.pdf?20146c6cd4446a304b5fffc297fb8bea>. Acesso em: 15 jan. 2024.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Indicações Geográficas de Vinhos do Brasil: IP Vinhos de Altitude de Santa Catarina**. 2023a. Disponível em: <https://www.embrapa.br/uva-e-vinho/indicacoes-geograficas-de-vinhos-do-brasil/ig-registrada/regiao-do-planalto-catarinense>. Acesso em: 04 jan. 2023.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Terraceamento**. 2023b. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/10180/13599347/ID01.pdf>. Acesso em: 02 jan. 2024.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Indicações Geográficas de Vinhos do Brasil: denominação de origem vale dos vinhedos. Denominação de Origem Vale dos Vinhedos**. 2024. Disponível em: <https://www.embrapa.br/indicacoes-geograficas-de-vinhos-do-brasil/ig-registrada/do-vale-dos-vinhedos>. Acesso em: 21 jan. 2024.

EPAGRI - EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA. **Vinhedos de altitude de Santa Catarina**. 2013. Disponível em: <http://ciram.epagri.sc.gov.br/igalt>.

EPAGRI - EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA. **Vinhedos de altitude de Santa Catarina**. 2019.

EPAGRI - EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA. **Queijo artesanal serrano recebe IG Campos de Cima da Serra**. 2020. Disponível em: <https://www.epagri.sc.gov.br/index.php/2020/03/06/queijo-artesanal-serrano-recebe-ig-campos-de-cima-da-serra/>. Acesso em: 22 maio 2021.

EPAGRI - EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA. **Santa Catarina conquista Indicação Geográfica do Mel de Melato da Bracatinga**.

2021a. Disponível em: <https://www.epagri.sc.gov.br/index.php/2021/07/20/santa-catarina-conquista-indicacao-geografica-do-mel-de-melato-da-bracatinga/>. Acesso em: 06 ago. 2021.

EPAGRI - EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA. **SC conquista sua sexta Indicação Geográfica, da Maçã Fuji da Região de São Joaquim**. 2021b. Disponível em: <https://www.epagri.sc.gov.br/index.php/2021/08/03/sc-conquista-sua-sexta-indicacao-geografica-da-maca-fuji-da-regiao-de-sao-joaquim/>. Acesso em: 06 ago. 2021.

EPAGRI - EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA. **Erva-mate do Planalto Norte Catarinense é a sétima Indicação Geográfica de SC**. 2022. Disponível em: <https://www.epagri.sc.gov.br/index.php/2022/05/25/erva-mate-do-planalto-nortecatarinense-e-a-setima-indicacao-geografica-de-sc/>. Acesso em: 30 dez. 2023.

EPAGRI/CIRAM. **Área geográfica delimitada da Indicação de Procedência Vinhos de Altitude de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri/Ciram, 2021. Disponível em: https://www.embrapa.br/documents/1355300/63618808/Nova_Delimit_IG_Vinhos_INPI.jpg/5a91cae6-e764-974e-b2d4-7a3938e65b5f?t=1628504061474. Acesso em: 02 fev. 2024.

EPOVA, E.N.; BÉRAIL, S.; SÉBY, F.; VACCHINA, V.; BAREILLE, G.; MÉDINA, B.; SARTHOU, L.; DONARD, O.F.X. **Strontium elemental and isotopic signatures of bordeaux wines for authenticity and geographical origin assessment**. Food Chem., 294, 35-45, 2019.

ESRI - ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. **ArcGIS Desktop: Release 10.2**. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute. 2013.

ESRI - ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. **What is a shapefile?** 2021a. Disponível em: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/manage-data/shapefiles/what-is-a-shapefile.htm>. Acesso em: 25 nov. 2023.

ESRI - ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. **What is raster data?** 2021b. Disponível em: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/manage-data/raster-and-images/what-is-raster-data.htm#:~:text=In%20its%20simplest%20form%2C%20a,pictures%2C%20or%20even%20scanned%20maps>. Acesso em: 25 nov. 2023.

FAURE, G.; POWELL, J.L. **Strontium Isotope Geology**. Springer Berlin Heidelberg. 1972. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-65367-4>.

FELIPPETO, J.; ALEMBRANDT, R.; CIOTTA, M.N. **Maturação e composição das uvas Cabernet Sauvignon e Merlot produzidas na região de São Joaquim, SC**. Agropecuária Catarinense, Florianópolis, v.29, n.2, p.74-79, maio/ago. 2016.

FICK, S.E.; HIJMANS, R. J. **WorldClim 2: new 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas**. International Journal of Climatology 37(12): 4302-4315. 2017.

FLOCKHART, D.T.T.; KYSER, T.K.; CHIPLEY, D.; MILLER, N.G.; NORRIS, D.R. **Experimental evidence shows no fractionation of strontium isotopes (⁸⁷Sr/⁸⁶Sr) among soil, plants, and herbivores: implications for tracking wildlife and forensic science**. Isotopes in Environmental and Health Studies, 51:3, 372-381, 2015. DOI: 10.1080/10256016.2015.1021345.

FRANK, H.T.; GOMES, M.E.B.; FORMOSO, M.L.L. **Review of the areal extent and the volume of the Serra Geral Formation, Paraná Basin, South America**. Pesquisas em Geociências, Porto Alegre, Rs, v. 1, n. 36, p.49-57, jan. 2009. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/igeo/pesquisas/Sitenovo/3601/05-3601.pdf>. Acesso em: 29 set. 2016.

GABEL, B. **Wine origin authentication linked to terroir – wine fingerprint**. BIO Web of Conferences 15, 02033, 2019. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20191502033>.

GIOVANNINI, E. **Manual de viticultura**. Porto Alegre: Bookman, 253 p. 2014.

GOMES, A.S.; VASCONCELOS, P.M. **Geochronology of the Paraná-Etendeka large igneous province**. Earth-Science Reviews, Volume 220. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2021.103716>.

GRIS, E.F.; BURIN, V.M.; FALCÃO, L.D; BRIGHENTI, E.; BORDIGNON-LUZ, M.T. **Ripening of Vitis vinifera grapes varieties in São Joaquim, a new wine growing region, southern Brazil**. IVES Conference Series, Terroir 2008.

GRIS, E.F.; BURIN, V.M.; BRIGHENTI, E.; VIEIRA, H.; BORDIGNON-LUZ, M.T. **Phenology and ripening of Vitis vinifera L. grape varieties in São Joaquim, southern Brazil: a new South American wine growing region**. Investigación Agraria, v.37, n.2, p.61-75, 2010.

GUIBOURDENCHE, L.; STEVENSON, R.; PEDNEAULT, K.; POIRIER, A.; WIDORY, D. **Characterizing nutrient pathways in Quebec (Canada) vineyards: insight from stable and radiogenic strontium isotopes**. Chemical Geology v. 532, e119375, 2020.

HAYNES, S.J. **Geology and Wine 1: Concept of Terroir and the Role of Geology**. Geoscience Canada, Canada, v. 26, n. 4, p.190-194, dez. 1999.

HORACEK, M.; OGRINC, N.; MAGDAS, D.A.; WUNDERLIN, D.; SUCUR, S.; MARAS, V.; MISUROVIC, A.; EDER, R.; ČUŠ, F.; WYHLIDAL, S.; PAPESCH, W. **Isotope Analysis (¹³C, ¹⁸O) of Wine From Central and Eastern Europe and Argentina, 2008 and 2009 Vintages: Differentiation of Origin, Environmental Indications, and Variations Within Countries**. Frontiers in Sustainable Food Systems, Volume 5, 2021. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.638941>.

HOULE, D.; MARTY, C.; GAGNON, C.; GAUTHIER, S.B.; BÉLANGER, N. **Is the past history of acidic deposition in eastern Canada reflected in sugar maple's tree rings ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr, Sr and Ca concentrations?** Applied Geochemistry, Volume 125, 104860, February 2021. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2020.104860>

HOWARD, A. **Top volcanic wines**. 2018. Disponível em: <https://www.decanter.com/premium/volcanic-wines-325777/>. Acesso em: 10 dez. 2023.

HUGLIN, P. **Nouveau mode d'évaluation des possibilités héliothermiques d'un milieu viticole**. Comptes Rendus de l'Académie de l'Agriculture de France. 64: 1117-1126. 1978.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa das Indicações Geográficas**. 2019. Disponível em: http://geoftp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/mapas_do_brasil/sociedade_e_economia/indicacoes_geograficas_2019_20190919.pdf. Acesso em: 02 fev. 2021.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades e Estados: São Joaquim (código: 4216503)**. 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sc/sao-joaquim.html>. Acesso em 19 de julho de 2021.

INAO - INSTITUT NATIONAL DE L'ORIGINE ET DE LA QUALITÉ. **Le goût de l'origine**. Paris: Hachette, 255 p. 2005.

INFOAGRO/SC. **PRODUÇÃO VEGETAL**. 2021. Disponível em: <https://www.infoagro.sc.gov.br/index.php/safra/producao-vegetal>. Acesso em: 22 maio 2021.

INGLEZ DE SOUZA, J. S. **Uvas para o Brasil**. 2. ed. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz - Fealq, 791 p. 1996.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **SAO JOAQUIM (Codigo Estacao: 83920)**. 2023. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Acesso em: 05 fev. 2023.

INPI - INSTITUTO NACIONAL DE PROPRIEDADE INDUSTRIAL. **Revista da Propriedade Industrial Nº 2634: Indicações Geográficas Seção IV**. 52 p. 2021.

IUSS - INTERNATIONAL UNION OF SOIL SCIENCES. Working Group WRB. **World Reference Base for Soil Resources - International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps** 4th edition. International Union of Soil Sciences (Vienna, Austria 2022). 326 p. 2022.

JACKSON, R. S. **Wine Science: Principles and Applications**. 3. ed. Oxford: Academic Press, 978 p. 2008.

JANOUSĚK, 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.

JORDAN, T. D.; POOL, R. M.; ZABADAL, T.J.; TOMKINS, J.P. **Cultural Practices for Commercial Vineyards**. Ithaca, NY: New York State College Of Agriculture And Life Sciences, Miscellaneous Bulletin, 72 p. 1981.

KAYA, A.; BRUNO DE SOUSA, R.; CURVELO-GARCIA, A.S.; RICARDODA-SILVA, J.; CATARINO, S. **Effect of wood aging on mineral composition and wine $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ isotopic ratio**. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 65, 4766-4776, 2017. <https://dx.doi.org/10.1021/acs.jafc.7b01510>.

KELLER, M. **The Science of Grapevines**. Elsevier: Academic Press, London. 541 p. 2020.

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.

KURTURAL, S.K. **Vineyard site selection**. Cooperative Extension Service. University of Kentucky - College of Agriculture. Horticulture Department. Hort. 7 p. 2006.

LE BAS, M.J.; LE MAITRE, R.W.; STRECKEISEN, A.; ZANETTIN, B. **A Chemical Classification of Volcanic Rocks Based on the Total Alkali-Silica Diagram**. Journal of Petrology, 27, 745-750. 1986. <https://doi.org/10.1093/petrology/27.3.745>.

LIU, H.; YOU, C.; CHEN, C.; LIU, Y.; CHUNG, M. **Geographic determination of coffee beans using multi-element analysis and isotope ratios of boron and strontium**. Food Chemistry Volume 142, Pages 439-445, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.07.082>.

LUCAS, R.E.; DAVIS, J.F. **Relationships between pH values of organic soils and availabilities of 12 plant nutrients**. Soil Sci. 92, 177–182. 1961.

MALOHLAVA, I.T.C.; SIMON, S.; VANDERLINDE, G.; BRIGHENTI, A.F.; MALINOVSKI, L.I.; MUNHOZ, B.; BRIGHENTI, E.; SILVA, A.L. **Ecophysiology of 'Cabernet Sauvignon' and 'Merlot' grown at different altitudes in Santa Catarina State, Brazil**. Acta Hort. 1188, 197-204, 2017. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1188.26>.

MANCHESTER, S.R.; KAPGATE, D K.; WEN, J. **Oldest fruits of the grape family (Vitaceae) from the late cretaceous Deccan cherts of India**. American Journal of Botany 100(9): 1849–1859. 2013.

MAPA - Ministério da Agricultura e Pecuária. **Lista de IGs Nacionais e Internacionais Registradas**. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/indicacao-geografica/listaigs>. Acesso em: 16 dez. 2023.

MARCHIONNI, S.; BUCCIANI, A.; BOLLATI, A.; BRASCHI, E.; CIFELLI, F.; MOLIN, P.; PAROTTO, M.; MATTEI, M.; TOMMASINI, S.; CONTICELLI, S. **Conservation of $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ isotopic ratios during the winemaking processes of 'Red' wines to validate their use as geographic tracer**. Food Chemistry v. 190, p. 777-785, 2016.

MARCON FILHO, J.L. **Sistemas de condução na produção de uvas viníferas e composição química e aromática de vinhos da região de altitude de Santa Catarina**. Tese (Doutorado em Produção Vegetal). Lages: UDESC. 201p. 2016.

MARTINELLI, D.B. **Caracterização sensorial dos vinhos elaborados com a uva Sauvignon Blanc em São Joaquim-Brasil e Sancerre-França**. TCC (Graduação) - Curso de Curso Superior de Tecnologia em Gastronomia, Câmpus Florianópolis-Continente, Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 19 f. 2017.

MCGOVERN, P.; JALABADZE, M.; BATIUK, S.; CALLAHAN, M.P.; SMITH, K.E.; HALL, G.R.; KVAVADZE, E.; MAGHRADZE, D.; RUSISHVILI, N.; BOUBY, L.; FAILLA, O.; COLA, G.; MARIANI, L.; BOARETTO, E.; BACILIERI, R.; THIS, P.; WALES, N.; LORDKIPANIDZE, D. **Early Neolithic wine of Georgia in the South Caucasus**. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. vol. 114 no. 48 E10309-E10318. 10 p. 2017.

MELLO, L.M.R.; MACHADO, C.A.E. **Vitivinicultura brasileira: panorama 2021** (Comunicado Técnico 226). Embrapa Uva e Vinho, 17p. 2022.

MELO, G.W. **Preparo do solo, calagem e adubação**. In: Embrapa Uva e Vinho. Uvas Viníferas para Processamento em Regiões de Clima Temperado. 4. ed. Bento Gonçalves: Embrapa, 2 p. 2003.

MENEZES-NETO, A.C.; SOUZA, A.L.K.; ARIOLI, C.J.; SOUZA, E.L.; HICKEL, E.R.; ANDRADE, E.R.; SCHUCK, E.; ARAÚJO FILHO, J.V.; GARDIN, J.P.P.; DALBÓ, M.A.; DAMBRÓS, R.N. **Declínio e morte de videiras no estado de Santa Catarina: causas e alternativas de controle**. Florianópolis: Epagri, (Boletim Técnico 175). 81 p. 2016.

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

MIELE, A.; MANDELLI, F. **Sistema de Condução**. In: Embrapa Uva e Vinho. Uvas Viníferas para Processamento em Regiões de Clima Temperado. 4. ed. Bento Gonçalves: Embrapa, 2003.

MOREIRA C.; DE PINHO M.; CURVELO-GARCIA, A.S.; BRUNO DE SOUSA, R.; RICARDO-DASILVA, J.M.; CATARINO S. **Evaluating nanofiltration effect on wine $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ isotopic ratio and the robustness of this geographical fingerprint**. South African Journal of Enology and Viticulture, 38 (1), 82-93, 2017. <http://dx.doi.org/10.21548/38-1-942>.

OIV - International Organisation of Vine and Wine. **Resolution OIV/VITI 333/2010: Definition of Vitivinicultural “Terroir”**. 1 p. 2010.

OIV - International Organisation of Vine and Wine. **Resolution OIV-VITI 423-2012 REV1: OIV Guidelines for vitiviniculture zoning methodologies on a soil and on a climate level**. 19 p. 2012.

OIV - International Organisation of Vine and Wine. **Focus OIV 2017 - Distribution of the world's grapevine varieties**. 54 p. 2017.

OIV - International Organisation of Vine and Wine. **2019 Statistical Report on World Vitiviniculture**. 23p. 2019.

OIV - International Organisation of Vine and Wine. **International Code of Oenological Practices**. 435 p. 2021.

OIV - International Organisation of Vine and Wine. **State of the World Vine and Wine Sector in 2022**. 20p. 2023.

PALLIS, T.; GIRARD, M.; FRENCH, M. **Spatial analysis of wine-grape growing in the Warren Hills American Viticultural Area of New Jersey (open-file map OFM 83)**. Department of Environmental Protection. Water Resource Management. New Jersey Geological Survey. 2011.

PANDOLFO, C.; VIANNA, L.F.N. **Vinhos de Altitude de Santa Catarina: Caracterização da região produtora, indicadores e instrumentos para proposição de uma indicação geográfica**. Florianópolis: Epagri, 200 p. 2020.

PEATE, D.W.; HAWKESWORTH, C.J.; MANTOVANI, M. **Chemical stratigraphy of the Parana lavas (South America): classification of magma types and their spatial distribution**. Bulletin Of Volcanology, Pasadena, CA, v. 55, n. 1, p.119-139, 1992.

PEATE, D.W. **The Paraná-Etendeka Province. Large Igneous Provinces**. Continental, Oceanic, and Planetary Flood Volcanism, [s.l.], p.217-245, 1997. Disponível em: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.556.2208&rep=rep1&type=pdf>. Acesso em: 29 set. 2016.

PEREIRA, G.E. **The three different winegrowing zones in Brazil according to climate conditions and vine managements**. In: JORDÃO, A. M.; BOTELHO, R. V. *Vitis: Biology and Species*. Nova Science Publishers, 2020.

PUCKETTE, M. **The Real Differences Between New World and Old World Wine**. 2021. Disponível em: https://winefolly.com/deep-dive/new-world-vs-old-world-wine/?utm_source=wf&utm_medium=related_articles&utm_term=wine-and-junk-food-pairings-that-actually-work. Acesso em: 28 maio 2021.

RACO, B.; DOTSIKA, E.; POUTOUKIS, D.; BATTAGLINI, R.; CHANTZI, P. **O–H–C isotope ratio determination in wine in order to be used as a fingerprint of its regional origin**. Food Chemistry, Volume 168, Pages 588-594, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.07.043>.

RAUCH, E.; RUMMEL, S.; LEHN, C.; BÜTTNER, A. **Origin assignment of unidentified corpses by use of stable isotope ratios of light (bio-) and heavy (geo) elements—A case report**. Forensic Science International, Volume 168, Issues 2–3, Pages 215-218, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2006.02.011>.

ROSSETTI, L.M.M.; LIMA, E.F.; WAICHEL, B.L.; HOLE, M.J.; SIMÕES, M.S.; SCHERER, C.M.S. **Lithostratigraphy and volcanology of the Serra Geral Group, Paraná-Etendeka Igneous Province in Southern Brazil: Towards a formal stratigraphical framework**. Journal of Volcanology and Geothermal Research. Volume 355, pages 98-114. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2017.05.008>.

ROSSETTI, L.M.M.; HOLE, M.J.; LIMA, E.F.; SIMÕES, M.S.; MILLETT, J.M.; ROSSETTI, M.M.M. **Magmatic evolution of Low-Ti lavas in the southern Paraná-Etendeka Large Igneous Province**. Lithos. Volumes 400–401, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2021.106359>.

SANTA CATARINA. Secretaria de Estado do Planejamento; ROCHA, I. O. (Org.). **Atlas Geográfico de Santa Catarina: diversidade da natureza: fascículo 2**. Florianópolis: Ed. da UDESC, 2016. Available at: <https://sites.google.com/a/spg.sc.gov.br/atlas-geografico-de-santa-catarina/fasciculo2>. Access on: 31 jul. 2016.

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.

SANTOS, E.A. **Análise Multicriterial dos Fatores Meteorológico, Fisiográfico, Pedológico e Geológico para Confecção do Mapa de Aptidão à Viticultura do Município de São Joaquim, Santa Catarina** (Trabalho de Conclusão de Curso). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 101 p. 2016.

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, v. 45, p. 137-149, 2019.

SANTOS, E.A.; FLORISBAL, L.M.; LOSS, A.; DORTZBACH, D. **Volcanic Wines Of Altitude**. In: VIII Simpósio De Vulcanismo E Ambientes Associados. 2022. Cuiabá. Anais [...] . Sociedade Brasileira de Geologia, p. 28-28. 2022. Disponível em: <http://www.sbgeo.org.br/assets/admin/imgCk/files/Anais%20SVAA%202022-1.pdf>. Acesso em: 28 out. 2023.

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 out. 2023.

SDE - SECRETARIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO SUSTENTÁVEL. **Levantamento aerofotogramétrico**. 2013. Disponível em <<http://sigsc.sds.sc.gov.br/download/index.jsp>> Acesso em: 13 de jun. 2016.

SEGUIN, G. **Terroirs and pedology of wine growing**. *Experientia*, 42, 861-872. 1986.

SEGUIN, G. **Ecosystems of the great red wines produced in the maritime climate of Bordeaux**, pp. 36-53. In: *Proceedings of the Symposium on Maritime Climate Winegrowing*. Fuller-Perrine L. (Ed.). Department of Horticultural Sciences, Cornell University, Geneva, NY. 1988.

SENTELHAS, P. C. **Aspectos climáticos para a viticultura tropical**. *Informe Agropecuário* 194: 9-14. 1998.

SHAW, B.J.; SUMMERHAYES, G.R.; BUCKLEY, H.R.; BAKER, J.A. **The use of strontium isotopes as an indicator of migration in human and pig *Lapita* populations in the Bismarck Archipelago, Papua New Guinea**. *Journal of Archaeological Science*, Volume 36, Issue 4, Pages 1079-1091, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2008.12.010>.

SOARES, J. M.; COSTA, F. F. Irrigação. In: SOARES, J. M.; LEÃO, P. C. de S. (Ed.). **A vitivinicultura no Semiárido brasileiro**. Brasília: Embrapa Informação tecnológica, Petrolina: Embrapa Semiárido, 756 p. 2009.

SOMMERS, B. J. **The geography of wine: How landscapes, cultures, terroir, and the weather make a good drop**. New York: Plume-Penguin Group. 2008.

SU, Y.Y.; GAO, J.; ZHAO, Y.F.; WEN, H.S.; ZHANG, J.J.; ZHANG, A.; YUAN, C.L. **Geographical Origin Classification of Chinese Wines Based on Carbon and Oxygen Stable Isotopes and Elemental Profiles**. *Journal of Food Protection*, Volume 83, Issue 8, Pages 1323-1334, 2020. <https://doi.org/10.4315/JFP-19-499>.

STEVENSON, R.; DESROCHERS, S.; HELIE, J. **Stable and radiogenic isotopes as indicators of agri-food provenance: Insights from artisanal cheeses from Quebec, Canada**. *International Dairy Journal* 49, 37-45, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2015.04.003>.

SZABO, J. **Volcanic Wines: Salt, Grit and Power**. Beverly: Jacqui Small LLP, 256 p. 2016.

SZEPESI, J.; HARANGI, S.; ÉSIK, Z.; NOVÁK, J.T.; LUKÁCS, R.; SOÓS, I. **Volcanic Geoheritage and Geotourism Perspectives in Hungary: a Case of an UNESCO World Heritage Site, Tokaj Wine Region Historic Cultural Landscape, Hungary**. *Geoheritage*, 9(3), 329-349. 2017.

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

TERRILL, D.F.; HENDERSON, C.M.; ANDERSON, J.S. **New application of strontium isotopes reveals evidence of limited migratory behaviour in Late Cretaceous hadrosaurs**. *Biology Letters*, 16: 20190930. 2020. <http://dx.doi.org/10.1098/rsbl.2019.0930>.

TONIETTO, J. **Les Macroclimats Viticoles Mondiaux et l'Influence du Mésoclimat sur la Typicité de la Syrah et du Muscat de Hambourg dans le Sud de la France - Méthodologie de Caractérisation**. Thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier, Montpellier (France), 216 p. 1999.

- TONIETTO, J.; CARBONNEAU, A. **A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide**. *Agricultural and Forest Meteorology*. 124 (1/2): 81-97. 2004.
- TONIETTO, J.; MANDELLI, F. **Clima**. In: Embrapa Uva e Vinho. *Uvas Viníferas para Processamento em Regiões de Clima Temperado*. 4. ed. Bento Gonçalves: Embrapa (Sistemas de Produção). 2 p. 2003.
- TONIETTO, J.; FIALHO, F.B. **The Geoviticulture MCC System and its international internet site**. In: **Clima, Zonificación y Tipicidad del Vino en Regiones Vitivinícolas Iberoamericanas**. CYTED - Programa Iberoamericano de Ciência y Tecnología para el Desarrollo. Madrid, 407 p. 2012.
- TRABUCCO, A.; ZOMER, R. **Global Aridity Index and Potential Evapotranspiration (ET₀) Climate Database v2**. 2019.
- USDA - United States Department Of Agriculture. Natural Resources Conservation Service Soil Survey Staff. **Keys to Soil Taxonomy**, 13th edition, Washington, DC, 410 p. 2022.
- VAN LEEUWEN, C. **Terroir: the effect of the physical environment on vine growth, grape ripening and wine sensory attributes**. In: REYNOLDS AG. (ed). *Managing wine quality*. Volume1: Viticulture and wine quality. CRC Press: Boca Raton. p. 273-315. 2010.
- VAN LEEUWEN, C.; SEGUIN, G. **The concept of terroir in viticulture**. *J. Wine Res.*, 17, 1-10. 2006.
- VEM DA UVA. **Como se planta a uva para vinho?** 2016. Disponível em: <https://www.vemdauva.com.br/como-e-um-vinhedo-preco-e-qualidade-do-vinho/>. Acesso em: 18 abr. 2023.
- VIANNA, L.F.; MASSIGNAN, A.M.; PANDOLFO, C.; DORTZBACH, D.; VIEIRA, V.F. **Caracterização agrônômica e edafoclimática dos vinhedos de elevada altitude**. *Revista de Ciências Agroveterinárias, Lages*, v. 15, p. 215–226. 2016.
- VINCIGUERRA, V.; STEVENSON, R.; PEDNEAULT, K.; POIRIER, A.; HÉLIE, J.F.; WIDORY, D. **Strontium isotope characterization of wines from Quebec, Canada**. *Food Chemistry* v. 210, p. 121-128, 2016.
- VORSTER, C.; GREEFF, L.; COETZEE, P.P. **The determination of 11B/10B and 87Sr/86Sr isotope ratios by quadrupole-based ICP-MS for the fingerprinting of South African wine**. *South African Journal of Chemistry*, 63, 207-214, 2010.
- VWI - Volcanic Wines International. **The 4th International Volcanic Wine Conference**. 2023. Disponível em: <https://www.volcanicwinesinternational.com/>. Acesso em: 10 dez. 2023.
- WANG, X.; TANG, Z.; WU, J. **Strontium isotope evidence for a highly mobile population on the Pamir Plateau 2500 years ago**. *Scientific Reports* 6, 35162, 2016. <https://doi.org/10.1038/srep35162>.
- WELTMAN, P. **Volcanic Wine 101: What to Know About the Booming Category**. 2023. Disponível em: <https://www.foodandwine.com/wine/volcanic-wine-mount-etna>. Acesso em: 11 dez. 2023.
- WHITE, R. E. **Soils for fine wines**. Nova York: Oxford University Press, 312 p. 2003.
- WILKES, E.; DAY, M.; HERDERICH, M.; JOHNSON, M. **In vino veritas – investigating technologies to fight wine fraud**. *Wine & Viticulture Journal*, 2016.
- WILKINSON, B.H.; MCELROY, B.J.; KESLER, S.E.; PETERS, S.E.; ROTHMAN, E.D. **Global geologic maps are tectonic speedometers - Rates of rock cycling from area-age frequencies**. *GSA Bulletin*: 121 (5-6): 760–779. 2009.
- WILSON, J. E. **Geology and Wine 4: The Origin and Odyssey of Terroir**. *Geoscience Canada*. Canada, v. 28, n. 3, p. 139-141 p. 2001.

WINE-SEARCHER. **The Wild World of Volcanic Wines**. 2023. Disponível em: <https://www.wine-searcher.com/select/volcanic-wines>. Acesso em: 10 dez. 2023.

WINGE, M. **Chert**. 2021a. Disponível em: <http://sigep.cprm.gov.br/glossario/verbete/chert.htm>. Acesso em: 28 maio 2021.

WINGE, M. **Basalto**. 2021b. Disponível em: <http://sigep.cprm.gov.br/glossario/verbete/basalto.htm>. Acesso em: 28 maio 2021.

WOLF, T. K.; BOYER, J. D. **Vineyard Site Selection**. Virginia Cooperative Extension Publication 463-020. 2005.

ANEXO 1 – TRABALHO (LIVRO PUBLICADO)



Figura 63. Capa do livro Guia de campo da excursão pedológica. DA ROCHA À GARRAFA: geologia, solos e vinhos. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/251240>.

ANEXO 2 – TRABALHO (CAPÍTULO PUBLICADO)



Solos da Serra Catarinense

*Erico Albuquerque dos Santos¹, Arcângelo Loss¹,
Luana Moreira Florisbal¹ e Denilson Dortzbach².*

¹Universidade Federal de Santa Catarina

²Empresa de Pesquisa e Extensão Agropecuária de Santa Catarina

Figura 64. Capa do capítulo Solos da Serra Catarinense do livro Compêndio de Solo do Brasil.
Disponível em: https://www.sbcns-nrs.org.br/docs/2024_livro_compedio_de_solos.pdf

ANEXO 3 – TRABALHO (ARTIGO SUBMETIDO)



Erico Albuquerque dos Santos <ericogeologia@gmail.com>

Acknowledgement - CATENA26911 - Confirming your submission to Catena

1 mensagem

Catena <em@editorialmanager.com>

27 de abril de 2024 às 15:59

Responder a: Catena <support@elsevier.com>

Para: Erico Santos <ericogeologia@gmail.com>

Article Type: Research Paper.

Dear Mr. Santos,

Your submission entitled "FROM ROCK TO BOTTLE: STRONTIUM ISOTOPES ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) AS INDICATOR OF PROVENANCE FOR THE VOLCANIC WINES OF ALTITUDE FROM SÃO JOAQUIM, SOUTHERN BRAZIL" has been received by Catena. This will soon be assigned to an editor. You will be able to check on the progress of your paper by logging on to <https://www.editorialmanager.com/catena/> as Author.

It has been assigned the following manuscript number: CATENA26911.

Thank you for submitting your work to this journal.

Kind regards,

Catena

This journal uses the Elsevier Article Transfer Service. This means that if an editor feels your manuscript is more suitable for an alternative journal, then you might be asked to consider transferring the manuscript to such a journal. The recommendation might be provided by a Journal Editor, a dedicated Scientific Managing Editor, a tool assisted recommendation, or a combination. For more details see the journal guide for authors.

#AU_CATENA#

To ensure this email reaches the intended recipient, please do not delete the above code

In compliance with data protection regulations, you may request that we remove your personal registration details at any time. (Remove my information/details). Please contact the publication office if you have any questions.

Figura 65. Comprovante de submissão do manuscrito do artigo ao CATENA.

FROM ROCK TO BOTTLE: STRONTIUM ISOTOPES ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) AS INDICATOR OF PROVENANCE FOR THE VOLCANIC WINES OF ALTITUDE FROM SÃO JOAQUIM, SOUTHERN BRAZIL

Erico Albuquerque dos Santos^{1*}, Luana Moreira Florisbal¹, Ross Stevenson²,
David Widory², Denilson Dortzbach³, Bruna Saar de Almeida² and Arcângelo Loss¹

¹Universidade Federal de Santa Catarina,
email: ericogeologia@gmail.com, luana.florisbal@ufsc.br, arcangelo.loss@ufsc.br

²Université du Québec à Montréal,
email: stevenson.ross@uqam.ca, widory.david@uqam.ca, saar_de_almeida.bruna@uqam.ca

³Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina,
email: denilson@epagri.sc.gov.br

*corresponding author

ABSTRACT

Studies worldwide, particularly in Canada, Italy and Brazil, have demonstrated that the $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio is a reliable indicator of the geographic origin of wines. We present here the first $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ isotope study for the *Wines of Altitude of Santa Catarina* geographical indication that was recently created in the state of Santa Catarina, southern Brazil. The goal of this study is to evaluate the forensic application of strontium isotope ratios as an indicator of provenance for the wines of São Joaquim, the main wine-growing region in the state of Santa Catarina, which produces wines from European grape varieties (*Vitis vinifera* L.) grown in soils formed by the weathering of volcanic rocks of the Serra Geral Group (Paraná Magmatic Province). The $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ of rocks, soils (bulk and labile fractions), vines (leaves and grapes) and wines (Sauvignon Blanc and Cabernet Sauvignon) from three wineries from São Joaquim were determined. Bedrock $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios ranged from 0.705362 for the basaltic-andesitic rocks to 0.724819 for dacites, consistent with reported values for these types of rocks. We identified a strong correlation between the $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios of the grapes and leaves, but in contrast to most previous studies there was no correlation between those of the soil (both bulk and labile fractions) and wine samples. This indicates that although the Sr isotopes in grapes and leaves behaved conservatively, the Sr isotopes in the soils may have been modified by vineyard agricultural practices, such as fertilization and liming. We thus recommend that soil sampling be done at depths > 60 cm to avoid external addition of strontium. As the $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios of commercial wines represent the average isotope ratio of a given vineyard, the isotope correlation between wines and the other samples may be challenging. Despite that, it was possible to distinguish the $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios of the wines from São Joaquim, state of Santa Catarina, from the wines from Bento Gonçalves, state of Rio Grande do Sul. Even though the wines from both regions are made from grapes cultivated in the same geological unit, i.e., volcanic rocks from Serra Geral Group (Paraná Magmatic Province), the wines yield different Sr signatures.

KEYWORDS: Viticulture; *Terroir*; Volcanic Rocks, Paraná Magmatic Province; São Joaquim.

1. INTRODUCTION

Strontium isotopes ratios ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) have been used in forensic applications for authenticating the provenance of products such as cheese (STEVENSON et al., 2015), maple syrup (HOULE et al., 2021), apple juice (AGUZZONI et al., 2019) and coffee (LIU et al., 2014). It has also been used to trace human/animal migration (TERRILL et al., 2020; WANG et al., 2016; BARBERENA et al., 2021; SHAW et al., 2009; RAUCH et al., 2007) and drugs (DEBORD et al., 2017). Forensic applications are possible because $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios are transferred to biological materials (plants and animals) during Sr absorption with no associated isotope fractionation (FLORCKHART et al., 2015), thus preserving the isotope fingerprint of the parent geological materials (rocks and soils) of its geographical origin. Sr has four stable naturally occurring isotopes (^{88}Sr , ^{87}Sr , ^{86}Sr and ^{84}Sr). While ^{88}Sr , ^{86}Sr and ^{84}Sr have constant abundances, the abundance of radiogenic ^{87}Sr increases due to the decay of radioactive rubidium (^{87}Rb). Rb is an alkali metal (Group IA) present as a trace element in potassium-bearing minerals such as micas (biotite and muscovite) and feldspars (orthoclase and microcline) (FAURE & POWELL, 1972). Therefore, Rb is common in more evolved igneous rocks (granite and rhyolite). Sr is an alkaline earth metal (Group IIA) present as a trace element in calcium-bearing minerals such as plagioclase and apatite (FAURE & POWELL, 1972). Sr is thus more concentrated in less evolved igneous rocks (gabbro and basalt).

Numerous studies from wine producing regions around the world have established the added value of $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ isotope ratios for linking the geographic origin of wines to the geology of the vineyards from which they were produced (VINCIGUERRA et al. 2016; GUIBOURDENCHE et al. 2020; MOREIRA et al., 2016; KAYA et al., 2017; COLDWELL et al., 2022; MARCHIONNI et al. 2016; BRASCHI et al. 2018; EPOVA et al., 2019; GABEL, 2019; WILKES et al., 2016; VORSTER et al., 2010; DI PAOLANARANJO et al., 2011; ALMEIDA, 2021; ALMEIDA et al., 2023). Cellier et al. (2021) analyzed sparkling wines from different countries (France, Italy, Spain, USA, Chile, Brazil, Australia, South Africa, Argentina, China and England) and found that the Brazilian sparkling wines are the most radiogenic ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.71463$). In southern Brazil, where most of the wine production is concentrated, in the municipalities of Bento Gonçalves, Garibaldi e Monte Belo do Sul, state of Rio Grande do Sul, is located the first Brazilian designation of origin: Valley of Vineyards Designation of Origin (*Denominação de Origem Vale dos Vinhedos*) (EMBRAPA, 2024). The wines of this region were analyzed by Almeida (2021) who found lower $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios (0.71239) in wines produced in basaltic-andesitic rocks of the Vale do Sol Formation compared to higher $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios (0.71671 to 0.71739) wines produced in dacitic-rhyolitic rocks of the Palmas Formation (both formations are from the Serra Geral Group of the Paraná Magmatic Province).

We present here the first $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ study of the wines produced in São Joaquim, state of Santa Catarina, southern Brazil, with the aim of evaluating the potential for creating an authentication tool for these particular wines. The municipality of São Joaquim is considered the largest wine producer in the state with 138 hectares of vineyards (EPAGRI, 2019) and an estimated annual wine production of 1,100,000 liters (SANTOS et al., 2019). It is also part of the Wines of Altitude of Santa Catarina

geographical indication (*Indicação de Procedência Vinhos de Altitude de Santa Catarina*). This includes the production of fine, noble, sparkling, muscatels and liqueur wines, and brandy in an area of 19,676 km² that encompasses 29 municipalities (INPI, 2021). These wines were referred to as “volcanic wines of altitude” by Santos et al. (2022) because the vineyards of the region are located at altitudes > 900 meters a.s.l. on soils derived from volcanic rocks (basaltic to rhyolitic lava flows) that form slopes with either high or low declivity, depending on rock morphology and composition (Fig. 1). The viticulture of São Joaquim is quite young (~25 years) and was initiated by the first experimental vineyards planted in the 90’s by the Agricultural Research and Extension Company of Santa Catarina (EPAGRI - *Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina*) and by the first commercial vineyard planted in 2000 by the Quinta da Neve winery (EMBRAPA, 2023; EPAGRI, 2019). The municipality is recognized for its wines produced from European grapes (*Vitis vinifera L.*) such as Cabernet Sauvignon, Merlot, Sauvignon Blanc, Sangiovese, Pinot Noir, Chardonnay, Montepulciano, Cabernet Franc, Vermentino and Touriga Nacional (EPAGRI, 2019).



Figure 1. Example of vineyards (Villa Francioni winery) planted at altitude > 900 m, with both slopes of low (front) and high (back) declivity.

The geology of São Joaquim is composed of volcanic rocks that belong to the Paraná Magmatic Province (PEATE, 1992; PEATE, 1997). The Paraná Magmatic Province is composed of a sequence of extrusive and intrusive rocks of basaltic, andesitic, dacitic and rhyolitic composition that was formed by a large magmatic event that preceded the breakup of the supercontinent Gondwana and the opening of the Atlantic Ocean at about 134 Ma (Inferior Cretaceous) (GOMES & VASCONCELOS, 2021). It is considered one of the largest igneous provinces in the world with an estimated volume of at least 1,700,000 km³ (FRANK et al., 2009). In Brazil, the extrusive and intrusive rocks of the Paraná Magmatic

Province comprise the Serra Geral Group (ROSSETTI et al., 2018; 2021) and are divided into 10 formations (CPRM, 2022).

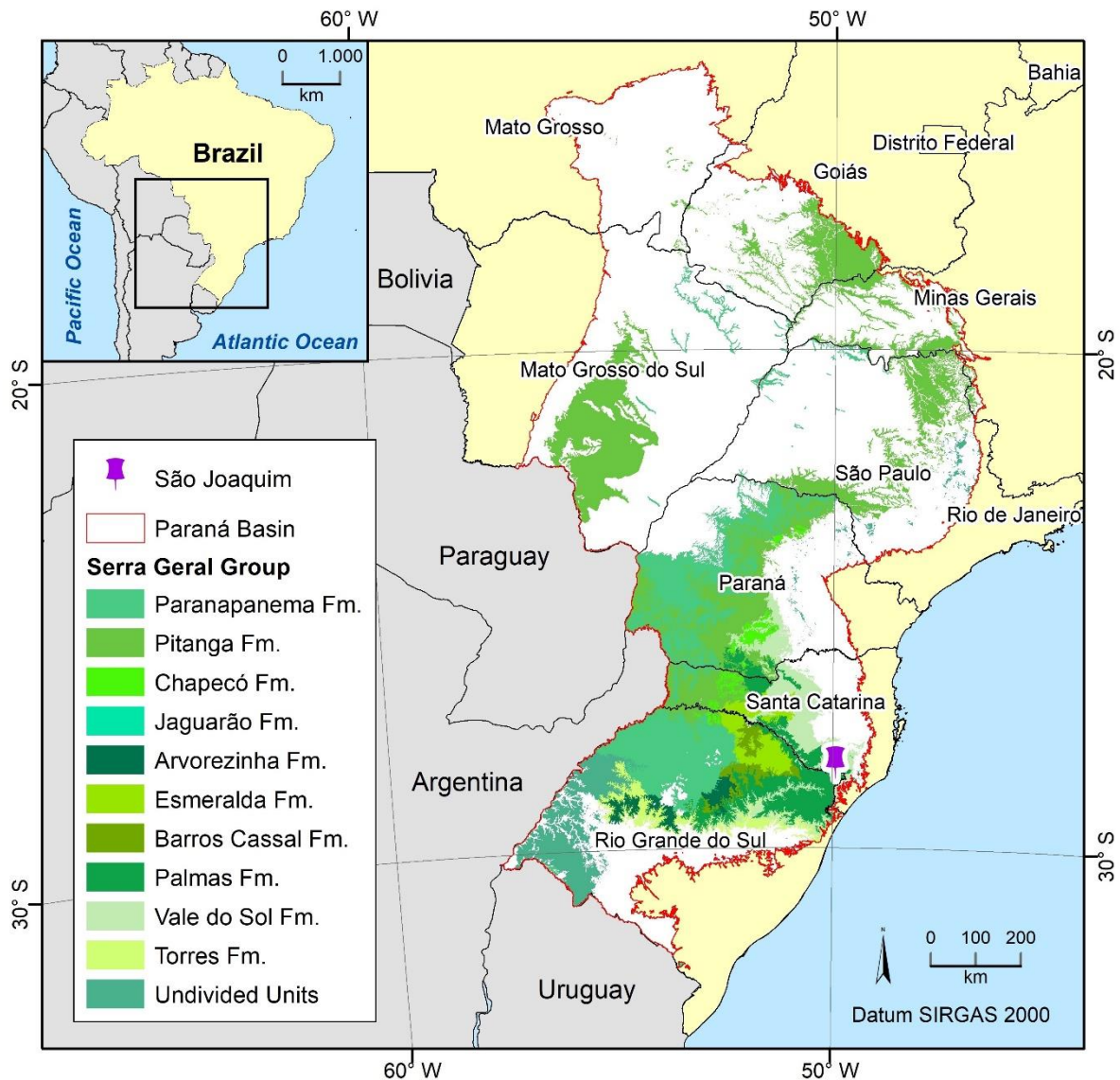


Figure 2. Simplified geological map of the Paraná Basin showing the location of the municipality of São Joaquim, Santa Catarina State (Brazil). Source: geological data from (CPRM, 2022) and cartography data from IBGE (2017) and SANDVIK (2008).

In the studied area (Fig. 3), the Serra Geral Group is divided into the Vale do Sol Formation with high-Ti *pahoehoe* and rubbly *pahoehoe* lava flows of basaltic composition of Urubici magma-type and low-Ti *pahoehoe* and rubbly *pahoehoe* lava flows of basaltic-andesitic composition of Gramado magma-type that are intruded by high-Ti dykes and sills of basaltic composition of Urubici magma-type, and the Palmas Formation with low-Ti tabular lava flows of dacitic-rhyolitic composition of Palmas magma-type (Tab. 1).

Table 1. Volcanic rocks in São Joaquim and their geochemical characteristics.

Formation	Morphology	Composition	SiO ₂ (w.t. %)*	TiO ₂ (w.t. %)*	Magma-Type*	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr**
Palmas	Tabular Lavas	Dacitic	66.58 - 70.12	0.86 - 1.07	Palmas	0.7140 - 0.7280
	Dykes and Sills	Basaltic	50.48 - 51.37	3.61 - 3.92	Urubici	0.7048 - 0.7065
Vale do Sol	Rubbly <i>Pahoehoe</i> and <i>Pahoehoe</i> Lavas	Basaltic-Andesitic	50.31 - 55.09	1.27 - 2.05	Gramado	0.7075 - 0.7167
	Rubbly <i>Pahoehoe</i> and <i>Pahoehoe</i> Lavas	Basaltic	49.83 - 50.25	3.89 - 4.10	Urubici	0.7048 - 0.7065

Source: *geochemical data from BESSER (2017), BESSER et al. (2018), SANTOS (2016), SANTOS et al. (2019), SANTOS et al. (2022) and ** from PEATE (1997).

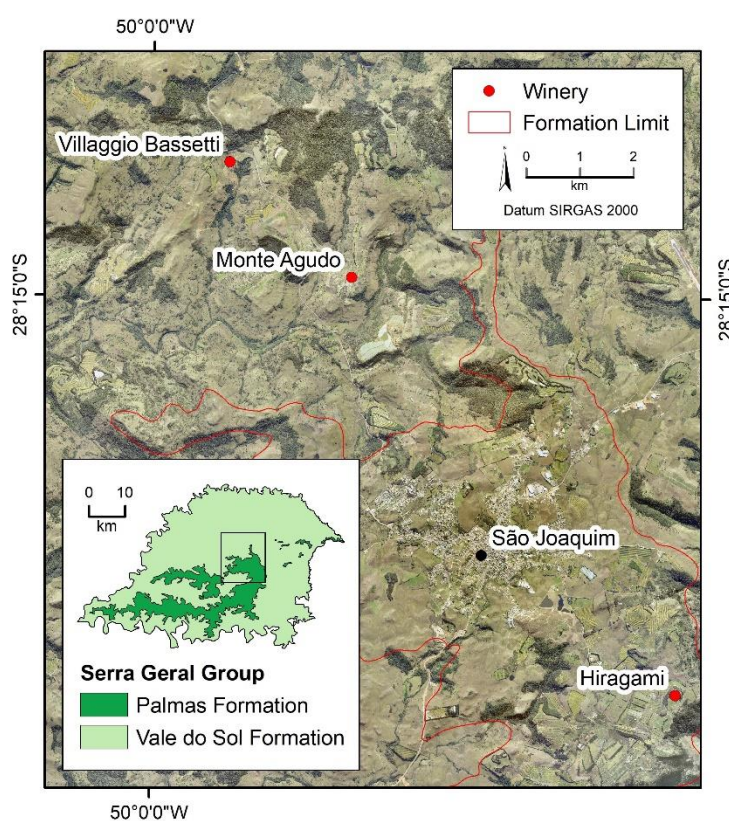


Figure 3. Locations of the sampled wineries in São Joaquim. Source: CPRM (2022) for geological data, EPAGRI (2019) for viticulture data and IBGE (2017) for cartographical data.

The geomorphology of São Joaquim is characterized by the Uruguay River Dissected Plateau and General Fields Plateau geomorphological units (SANTA CATARINA, 2016). The Uruguay River Dissected Plateau consists of gently sloping plateaus dissected by deep valleys (highly dissected relief), while the General Fields Plateau is characterized by a flat relief (poorly dissected). In general, the municipality is characterized by altitudes from 715 to 1,638 meters a.s.l. with almost half of its slopes with declivity between 20 - 45% (strong undulated) (SANTOS, 2016; SANTOS et al., 2019). The thermal gradient of -0,5 °C/+100 m (JACKSON, 2008) creates a hospitable environment for the cultivation of European grapes (*Vitis vinifera L.*) at this latitude (~28° S).

Soils in São Joaquim are predominantly young rocky soils with clayey textures (> 350 g/kg of clay) that are commonly dystrophic and acidic (pH < 5.5). The main soil types are Inceptisols (*Cambissolos*), Entisols (*Neossolos*) and Ultisols (*Nitossolos*) (EMBRAPA, 2004, DORTZBACH, 2016; SANTOS, 2016; SANTOS et al., 2019; SANTOS et al., 2023). The Inceptisols are moderately drained, have clayey texture, typical 60 - 150 cm depth with averages of 4.21% of organic matter and of 4.99 for pH (EMBRAPA, 2004; DORTZBACH, 2016; SANTOS, 2016; SANTOS et al., 2023). The Entisols are moderately drained, have clayey texture, < 60 cm depth, averages of 5.11 % for organic matter and of 4.92 for pH (EMBRAPA, 2004; DORTZBACH, 2016; SANTOS, 2016; SANTOS et al., 2023). The Ultisols are well drained, have clayey texture, > 150 cm depth, averages of 3.17 % for organic matter and of 5.17 for pH (EMBRAPA, 2004; DORTZBACH, 2016; SANTOS, 2016; SANTOS et al., 2023). Most vineyards are planted in Inceptisols (DORTZBACH, 2016).

The proximity of São Joaquim to the Atlantic Ocean (~100 km) produces a climate with both continental and oceanic influences. The Köppen criteria (1936) classifies this climate as Cfb (humid subtropical oceanic climate, without a dry season and with a moderate summer), characterized by an annual precipitation > 40 mm in the driest month and an average temperature < 22 °C in the hottest month (ALVARES et al., 2013). The historical (1961 - 2015) annual averages are 13 °C for temperature, 1,680 mm/year for total precipitation and 1,832 h/year for total solar radiation (SANTOS, 2016; SANTOS et al., 2019). Due to its low average temperature and high average precipitation, the municipality can be affected by frost all year long. A record -10 °C temperature was registered during winter in 1991 (INMET, 2023). It is one of the few places in Brazil where snowfalls occur.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 Sampling

Samples of rock (3 samples), soil (6 samples for which we separated the bulk and labile fractions), vine (6 samples of grapes and 6 samples of leaves) and wine (3 samples of Sauvignon Blanc and 3 samples of Cabernet Sauvignon) were collected in March 2021 from the vineyards of three commercial wineries: Villaggio Bassetti, Monte Agudo and Hiragami vineyards located in the municipality of São Joaquim (Tab. 2). $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios were analyzed at the Geotop Research Centre of the Université du Québec à Montréal (Canada).

Table 2. Sampling data for the vineyards.

Winery	Monte Agudo	Villaggio Bassetti	Hiragami
Geographical Coordinates	28°14'48.16"S 49°57'43.95"W	28°13'38.75"S 49°59'7.85"W	28°19'0.14"S 49°53'59.64"W
Altitude (m)	1,253 m	1,302 m	1,420 m
Geological Unit	Vale do Sol Formation	Vale do Sol Formation	Palmas Formation
Lithological Unit	High-Ti Basaltic Trachy-Andesite	Low-Ti Basaltic Andesite	Low-Ti Dacite
Pedological Unit	Inceptisols and Entisols	Inceptisols, Entisols and Ultisols	Entisols and Inceptisols
Mean Temperature (°C)	14.2 °C	14.0 °C	13.6 °C
Total Precipitation (mm)	1,592 mm	1,602 mm	1,657 mm
Vineyard Age	Sauvignon Blanc: 2005 Cabernet Sauvignon: 2005	Sauvignon Blanc: 2009 Cabernet Sauvignon: 2005	Sauvignon Blanc: 2012 Cabernet Sauvignon: 2006
Wine Vintage	2020 Sauvignon Blanc 2012 Cabernet Sauvignon	2019 Sauvignon Blanc 2017 Cabernet Sauvignon	Sauvignon Blanc 2020 2015 Cabernet Sauvignon
Sampling Date	March 2021	March 2021	March 2021
Rock Samples	MA-R	VB-R	HG-R
Soil Samples	Bulk: MA-B-01 and MA-B-02 Labile: MA-L-01 and MA-L-02	Bulk: VB-B-01 and VB-B-02 Labile: VB-L-01 and VB-L-02	Bulk: HG-B-01 and HG-B-02 Labile: HG-L-01 and HG-L-02
Vine Samples	Grape: MA-G-01 and MA-G-02 Leaf: MA-F-01 and MA-F-02	Grape: VB-G-01 and VB-G-02 Leaf: VB-F-01 and VB-F-02	Grape: HG-G-01 and HG-G-02 Leaf: HG-F-01 and HG-F-02
Wine Samples	MA-W-01 and MA-W-02	VB-W-01 and VB-W-02	HG-W-01 and HG-W-02

*altitude data from SDE (2013), geological data from CPRM (2022), temperature and precipitation data from FICK & HIJMANS (2017) and viticultural data from EPAGRI (2019).

Rock samples (VB-R, MA-R and HG-R) were collected near the vineyards (Fig. 4) and stored in clean plastic bags. Rock geochemical characteristics were determined by ICP-OES and ICP-MS at the SGS GEOSOL laboratory. Rock samples were classified according to the magma types defined by Peate et al. (1992), and plotted in TAS diagrams (LE BAS et al., 1986) using the Geochemical Data Toolkit software (JANOŠEK et al., 2006). The geological maps of Besser (2017) and CPRM (2022) were used as references.



Figure 4. Outcrops where rock samples were collected in the Vale do Sol Formation (A: Monte Agudo winery and B: Villaggio Bassetti winery) and in the Palmas Formation (C: Hiragami winery).

The pedological map from EMBRAPA (2004) and the soil profiles described by Dortzbach (2016) were used as references. Soils classified by those authors according to the Brazilian Soil Classification System (*Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*) (EMBRAPA, 2018) were correlated to the Keys to Soil Taxonomy (USDA, 2022) classification for the purpose of this study. For $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ analysis, soil samples (bulk: VB-B-01, VB-B-02, MA-B-01, MA-B-02, HG-B-01 and HG-B-02 and labile: VB-L-01, VB-L-02, MA-L-01, MA-L-02, HG-L-01 and HG-L-02 fractions) were collected under the vines close to the root system at < 40 cm depth using stainless steel shovel and were stored in clean plastic bags at room temperature. Vine samples (grapes: VB-G-01, VB-G-02, MA-G-01, MA-G-02, HG-G-01 and HG-G-02 and leaves: VB-F-01, VB-F-02, MA-F-01, MA-F-02, HG-F-01 and HG-F-02) were collected manually from the vines (Fig. 5) from two European grapes (*Vitis vinifera* L.) (Sauvignon Blanc - samples labeled “01” and Cabernet Sauvignon – samples labeled “02”), and were stored in clean plastic bags at -20 °C. Wine samples (VB-W-01, VB-W-02, MA-W-01, MA-W-02, HG-W-01 and HG-W-02) were bought from the wineries (commercial wines) and stored in sterilized plastic bottles (100 mL) at 4 °C.

2.2 Sample preparation

Sample preparation for Sr isotope analysis was carried out following the method described by Vinciguerra *et al.* (2016), Guibourdenche *et al.* (2020) and Almeida (2020). The rock samples were analyzed for whole rock geochemistry and the samples retrieved from this analysis (rock powder 150#) were prepared for strontium analysis. The soil (bulk fraction) samples were dried at room temperature for seven days, passed through a 2 mm sieve and dried out at 700 °C for 8 hours. After that, both rock and soil (bulk fraction) samples (0.7 grams) were dissolved with nitric (15N HNO_3) and hydrofluoric (HF 29N) acids in a covered teflon beaker for five days on a hotplate at 85 °C. After 5 days, covers were removed and the samples were evaporated to dryness. The soil (labile fraction) samples were dried at

room temperature for seven days, passed through a 2 mm sieve and 2 grams of soil were reacted twice with 15 mL of ammonium acetate ($\text{NH}_4\text{CH}_3\text{CO}_2$) for 8 hours. The soil (labile fraction) samples were then filtered through a 0.45 μm polypropylene filter, dried out at 60 °C, and dissolved with nitric (3N HNO_3) acid at 85 °C. Grape and leaf samples (2 grams) were heated in at 700 °C for 8 hours and the resulting ashes were dissolved into nitric acid (3N HNO_3) and hydrogen peroxide (30% H_2O_2). Wine samples (2 mL) were diluted with 5 mL of Mill-Q H_2O , loaded onto an AG-50W-X8 resin column where cations were eluted using 6N HCl. Rock and soil (bulk and labile fractions) samples were dissolved into 6N HCl and subsequently passed through an AG-1 X8 resin to remove iron (Fe). Strontium purification for all samples was obtained by passing the samples through an Eichrom Sr-spec Resin column. Sr is retained by the resin while other cations are eluted using 3N HNO_3 acid. Sr is subsequently eluted using 0.05N HNO_3 . The Sr was ultimately evaporated prior to isotope analysis.

2.3 Sample analysis

The purified Sr samples were dissolved in 3N HNO_3 , loaded on rhenium filaments along with a tantalum oxide activator and analyzed in static mode on a Thermo TRITON Plus™ Thermal Ionization Mass Spectrometer (TIMS). Instrumental mass fractionation was corrected using an $^{88}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ value of 0.1194. Repeated analyses of the NBS-987 Sr isotope standard yielded an average value of 0.710273 +/- 0.000014 (2sd, n=9), which is consistent with the accepted value of 0.710252. Background Sr blanks were < 150 ng and considered negligible (< 1 %) compared to the amount of Sr generated by samples in this study.

3. RESULTS

3.1 Geology of the vineyards

The geology of the vineyards is composed of volcanic rocks from the Vale do Sol and Palmas formations (Serra Geral Group) and encompasses three distinct geochemical groups: (I) high-Ti (3.91 w.t.% TiO_2) basaltic trachy-andesites (52.14 w.t.% SiO_2) of the Urubici magma-type (Monte Agudo winery), (II) low-Ti (1.38 w.t.% TiO_2) basaltic andesites (53.13 w.t.% SiO_2) of the Gramado magma-type (Villaggio Bassetti winery) from the Vale do Sol Formation and (III) low-Ti (0.87 w.t.% TiO_2) dacites (68.72 w.t.% SiO_2) of the Palmas magma-type (Hiragami winery) from the Palmas Formation. For the Monte Agudo winery, the basaltic-andesitic rocks are fine-grained (< 1 mm) with swallow-tail shaped microphenocrysts of plagioclase (~20 μm), subhedral clinopyroxene crystals and cubic opaque minerals immersed into a cryptocrystalline matrix, forming an intersertal texture (Fig. 5AB). For the Villaggio Bassetti winery, the basaltic-andesitic rocks are fine-grained (< 1 mm) with swallow-tail shape microphenocrysts of plagioclase (~10 μm), subhedral clinopyroxene crystals and cubic opaque minerals immersed in a microcrystalline matrix, forming an intergranular texture (Fig. 5CD). For the Hiragami winery, the dacitic rocks are fine-grained (< 1 mm) consisting of swallow-tail and box-shape microphenocrysts of plagioclase (~150 μm), subhedral clinopyroxene crystals and cubic opaque

minerals immersed in a cryptocrystalline matrix with spherulites, forming an intersertal and spherulitic textures (Fig. 5EF).

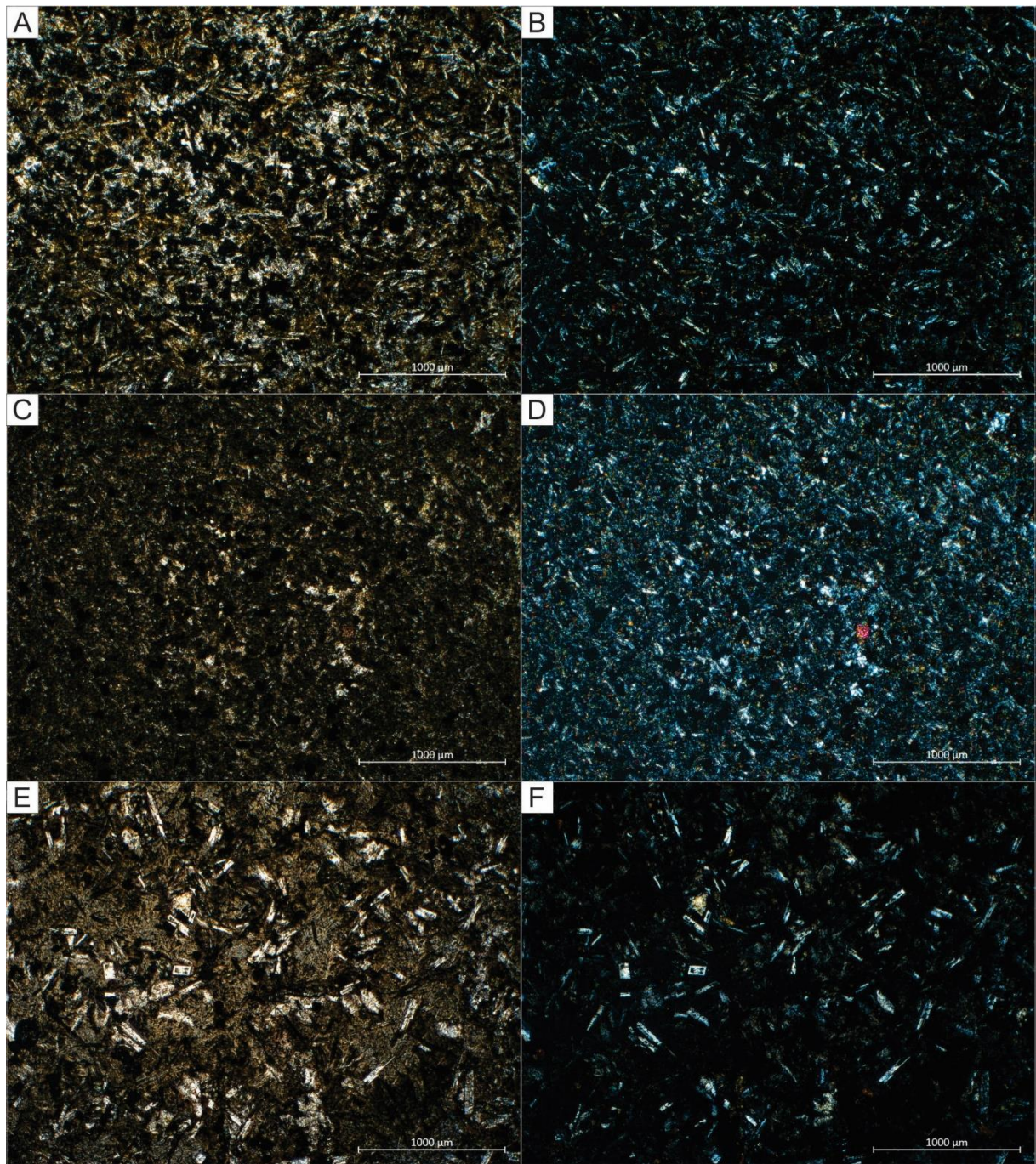


Figure 5. Microphotography of the volcanic rocks that compose the vineyards' bedrocks in plane polarized and cross-polarized light: (A - B) fine grained intersertal basaltic trachy-andesites from Monte Agudo winery, (C - D) fine grained intergranular basaltic andesites from Villaggio Bassetti winery and (E - F) intersertal and spherulitic fine grained dacites from Hiragami winery.

3.2 Vineyards pedology

The pedology of the vineyards is composed by an association of three soil types: Inceptisols (*Cambissolos*), Entisols (*Neossolos*) and Ultisols (*Nitossolos*) (EMBRAPA, 2018 correlated with USDA, 2022). The Inceptisols are predominantly found in all vineyards, whereas Ultisols are found in some areas of the Villaggio Bassetti winery and Entisols are commonly found in the vineyards of the Hiragami winery. For the Monte Agudo winery (Inceptisols - Fig. 6A) soils have medium to clayey texture (303 to 510 g/kg of clay), from 2.76 to 5.17 % of organic matter, pH from 4.80 to 5.10, Ca^{2+} from 1.20 to 4.80 cmol_c/kg and K^+ from 0.02 to 0.08 cmol_c/kg (DORTZBACH, 2016). For the Villaggio Bassetti winery (Ultisols - Fig. 6B) soils have clayey to very clayey texture (334 to 657 g/kg of clay), from 0.6 to 7.80 % of organic matter, pH from 4.50 to 5.80, Ca^{2+} from 0.40 to 2.80 cmol_c/kg and K^+ from 0.03 to 0.21 cmol_c/kg . For the Hiragami winery (Entisols - Fig. 6C) soils have very clayey texture (630 to 650 g/kg of clay), from 4.02 to 6.57 % of organic matter, pH from 4.42 to 4.59, Ca^{2+} from 0.20 to 0.30 cmol_c/kg and K^+ from 0.06 to 0.17 cmol_c/kg .



Figure 6. Predominant soil types in São Joaquim: (A) Inceptisols - Monte Agudo winery, (B) Ultisols - Villaggio Bassetti winery and (C) Entisols – Hiragami winery.

3.3 Strontium isotopes ratios

The $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ isotopes ratios of the rocks, soils (bulk and labile fractions), vines (grapes and leaves) and wines are presented in Table 3.

Table 3. Summary of $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ characteristics.
Grape varieties: SB – Sauvignon Blanc and CS – Cabernet Sauvignon.

Vineyard		Monte Agudo		Villaggio Bassetti		Hiragami	
Grape Variety		SB	CS	SB	CS	SB	CS
Geology		Vale do Sol Formation				Palmas Formation	
		Urubici magma-type		Gramado magma-type		Palmas magma-type	
Rock	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	0.705362	0.705362	0.709335	0.709335	0.724819	0.724819
	1sd	0.000009	0.000009	0.000010	0.000010	0.000007	0.000007
Bulk Soil	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	0.710686	0.710722	0.707607	0.713932	0.712444	0.717508
	1sd	0.000007	0.000006	0.000007	0.000008	0.000008	0.000010
Labile Soil	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	0.708479	0.708408	0.706717	0.708418	0.707030	0.709552
	1sd	0.000024	0.000050	0.000041	0.000012	0.000016	0.000030
Grape	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	0.707694	0.707208	0.706654	0.707366	0.707173	0.706485
	1sd	0.000008	0.000007	0.000007	0.000010	0.000009	0.000006
Leaf	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	0.707797	0.707397	0.706637	0.707322	0.707151	0.706653
	1sd	0.000007	0.000006	0.000008	0.000007	0.000008	0.000010
Wine	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	0.707257	0.707917	0.707622	0.707756	0.708169	0.708367
	1sd	0.000011	0.000016	0.000008	0.000008	0.000011	0.000008

The $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios obtained for the rocks in the Vale do Sol Formation were 0.705362 for the high-Ti basaltic trachy-andesites of Urubici magma-type (Monte Agudo winery), 0.709335 for the low-Ti basaltic andesites of Gramado magma-type (Villaggio Bassetti winery) and was 0.724819 for the low-Ti dacites of Palmas magma-type (Hiragami winery) in the Palmas Formation.

The $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ of the bulk soil fraction ranged from 0.707607 to 0.717508. Results show that the bulk soil fraction in the Vale do Sol Formation tends to be more radiogenic (i.e., higher $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios) than the host rocks, whereas the bulk soil fraction from the Palmas Formation are less radiogenic than the host rocks. The bulk soil fraction in the Monte Agudo and Villaggio Bassetti vineyards tends to be more radiogenic than the host rocks (0.707607 - 0.713932) with a maximum Sr isotope difference of + 0.005361. The bulk soil fraction in the Hiragami vineyards tend to be less radiogenic than the host rocks (0.712444 - 0.717508) with a maximum difference of - 0.012376. The $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ of the labile soil fractions range from 0.706717 to 0.709552 and are less radiogenic than both the bulk soil fractions and the rock samples, except for the labile soil fractions from the Monte Agudo vineyards that are more radiogenic than the corresponding rocks samples. In Figure 7A there is a weak positive linear relationship between the $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ in the bulk and labile soil fractions of the vineyards: $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (labile soil) = 0.2346 x $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (bulk soil) + 0.5678 ($R^2 = 0.57$).

The $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ of the grape, leaf and wine samples ranged from 0.706485 to 0.707694, from 0.706637 to 0.707797 and from 0.707257 to 0.708367, respectively, and presented the same pattern as the labile soil fraction: they are less radiogenic than the bulk soil fraction and the rock samples except for the samples from the Monte Agudo vineyards. The grape and leaf samples tend to be slightly less radiogenic than the labile soil samples (maximums isotope difference of - 0.003067 and - 0.002899, respectively). They had similar $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios, with differences not greater than +0.000189. Figure 7B shows a strong positive linear relationship, close to unity, between the $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ in grapes and leaves: $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (leaf) = 0.9781 x $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (grape) + 0.0182 ($R^2 = 0.95$). Wine samples tend to be more radiogenic than grapes (maximum difference of + 0.001881) and leaves (maximum difference of + 0.001714). Figure 7C shows a weak negative linear relationship between $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ in grapes and wines: $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (wine) = -0.5527 x $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (grape) + 1.0987 ($R^2 = 0.40$). Figure 7D reports a weak negative linear relationship between $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ in leaves and wines: $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (leaf) = -0.5129 x $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (wine) + 1.0706 ($R^2 = 0.34$).

Figure 7E shows a weak positive linear relationship between $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ in rocks and wines: $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (wine) = 0.0357 x $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (rock) + 0.6824 ($R^2 = 0.68$). However, it is possible to distinguish the wines made from grapes cultivated in the basaltic-andesitic rocks (Vale do Sol Formation) from those in the dacitic-rhyolitic rocks (Palmas Formation). Wines from the Vale do Sol Formation are less radiogenic with $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} < 0.707917$, whereas those from the Palmas Formation are more radiogenic with $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} > 0.708169$ (isotope difference of at least +0.000252 between the two formations).

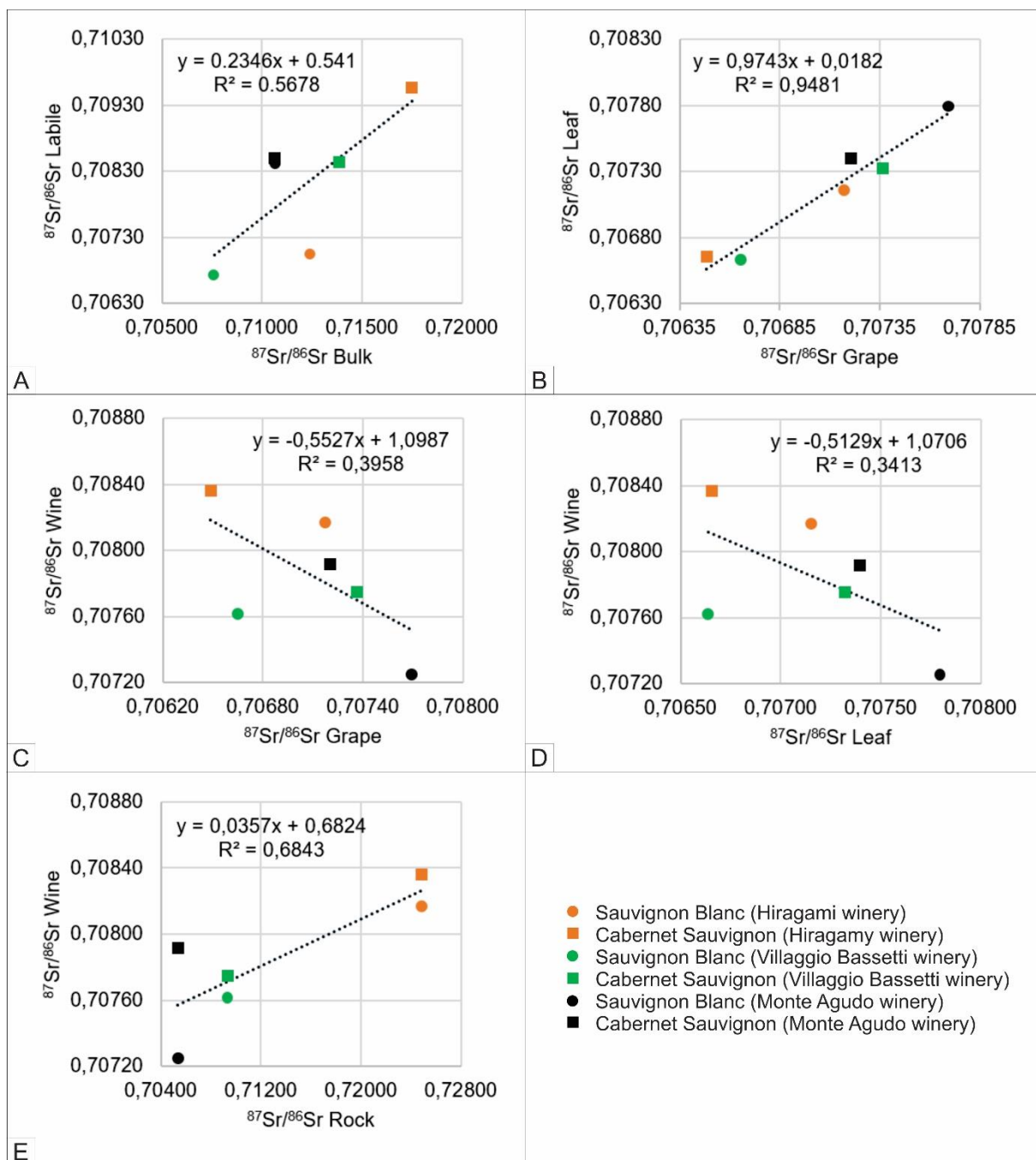


Figure 7. Correlation between (A) bulk and labile soil fractions, (B) grape and leaf, (C) grape and wine, (D) leaf and wine, and (D) rock and wine samples.

4. DISCUSSION

4.1 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ signature in rocks

Vineyard rocks are composed of high-Ti basaltic trachy-andesites of the Urubici magma-type and low-Ti basaltic andesites of the Gramado magma-type from the Vale do Sol Formation, and low-Ti dacites of the Palmas magma-type from the Palmas Formation, all from the Serra Geral Group (Paraná Magmatic Province). According to the EPAGRI viticultural survey (2019) and the CPRM geological map

(2022), the municipality of São Joaquim comprises 123.24 ha of vineyards in the Vale do Sol Formation and 14.95 ha in the Palmas Formation, and these formations yield very distinctive Sr isotope signatures. The selected vineyards are thus representative of the local geology, allowing a comparison of wines produced from the grapes cultivated in the different rock types within the three major magma types. The rock $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ are consistent with those measured for basaltic-andesitic and dacitic-rhyolitic rocks in the Paraná Magmatic Province (e.g. PEATE et al., 1992; GARLAND et al., 1995; PEATE & HAWKSWORTH, 1996; PEATE, 1997 and PEATE et al., 1999). Peate (1997) summarized the geochemistry of each magma type of the volcanic rocks from the Paraná Magmatic Province (Serra Geral Group in Brazil), and Besser (2017) detailed the geochemistry of each formation (Vale do Sol and Palmas) in the municipality of São Joaquim. The rock Sr concentrations and $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ we measured are within the expected ranges for their formations and for their magma type, respectively (Tab. 4).

Table 4. Strontium concentrations and isotope ratios.
Values are compared to those from the literature.

Winery	Monte Agudo	Villaggio Bassetti	Hiragami
Geology	Vale do Sol Formation		Palmas Formation
	Urubici magma-type	Gramado magma-type	Palmas magma-type
This study Sr (ppm)	737 ppm	366 ppm	134 ppm
Besser (2017)	730 - 776 ppm	200 - 446 ppm	90 - 191
This study $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	0.705362	0,709335	0,724819
	1sd	0.000010	0,000009
Peate (1997)	0.7048 - 0.7065	0.7075 - 0.7167	0.714 - 0.728

4.2 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ signatures in soils

Frei et al. (2020) showed that the addition of fertilizers and liming can modify the Sr isotope signatures in the topsoil, up to 60 cm deep, suggesting that soil sampling should be done deeper than that to properly characterize its $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$. De Vargas et al. (2022) evaluated the impact of agricultural inputs in the waters of Caxias do Sul, state of Rio Grande do Sul, and measured $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios between 0.705075 and 0.708894 for NPK fertilizers and of 0.710457 for soil acidity correctives. The vineyards in São Joaquim are older than 10 years (planted between 2005 and 2012) and samples were collected at depth of < 40 cm (horizon A). The soil $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ may thus have been modified over the years by the constant application of fertilizers and liming that are common agricultural practices in these vineyards. Although we cannot unambiguously invoke agricultural practices, we must consider them to explain $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ discrepancies in soils. Almeida (2021) analyzed vineyards in another wine-growing region in southern Brazil, Bento Gonçalves, state of Rio Grande do Sul, and found labile soil fraction $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios of 0.71220 in the Vale do Sol Formation and between 0.71315 to 0.71328 in the Palmas Formation. These values are even more radiogenic than those we measured for the labile soil fractions in São Joaquim.

Moreover, São Joaquim has a humid climate with precipitation amounting to 1,680 mm/year (SANTOS et al., 2019). Sr may thus also penetrate and accumulate in soils through wet deposition,

inducing changes in the $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios of its bulk and labile soil fractions. Bulk soil fraction $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios from the Cabernet Sauvignon vineyard in Villaggio Bassetti winery presented the most radiogenic isotope ratio (0.713932) in the Vale do Sol Formation. This may be related to the terracing of the vineyard (and subsequent soil mixing), an agricultural technique used to prevent soil erosion in the steep slopes of São Joaquim (Fig. 8). Bulk soil fraction $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ are significantly different from those of rocks in all vineyards. In the basaltic rocks from the Vale do Sol Formation, the bulk soil appears to have higher $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios than the bedrock from which the soils developed. This is likely controlled by a higher proportion of the clay component, that is commonly enriched in ^{87}Rb (leading to higher amounts of radiogenic ^{87}Sr with time) (Braschi et al., 2018). In addition, soils with high clay and organic matter contents favor the retention of cations such as Ca^{2+} , Mg^{2+} and K^{+} in the higher surface layers (BRASCHI et al., 2018). For all vineyards the labile soil fraction $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios are less radiogenic than the bulk soil fraction $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios.



Figure 8. Example of the terracing technique used in the vineyards (Villaggio Bassetti winery) to prevent soil erosion that can result in soil mixing.

4.3 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ signatures in vines

While $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios in the São Joaquim grapes and leaves tend to be less radiogenic than the corresponding labile soil fractions (Table 4), they yield the only strong isotope positive correlation ($R^2 = 0.95$). This strong correlation can be explained by the fact that both grapes and leaves were collected from the same vines and are thus unaffected by variations produced by sampling material in different parts of the vineyards. The correlation is consistent with the findings of previous studies (VINCIGUERRA et al. 2016; GUIBOURDENCHE et al. 2020; MOREIRA et al., 2016; KAYA et al., 2017; COLDWELL et al., 2022; MARCHIONNI et al. 2016; BRASCHI et al. 2018; EPOVA et al., 2019; GABEL, 2019; WILKES

et al., 2016; VORSTER et al., 2010; DI PAOLA-NARANJO et al., 2011; ALMEIDA, 2021; ALMEIDA et al., 2023). The slight differences in isotope compositions between grapes and leaves potentially suggest an additional Sr source that may, as aforementioned, correspond to the use of fertilizers, liming and/or differences on clay and organic matter contents.

4.4 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ signatures in wines

The $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios of the wines derived from grapes cultivated on basaltic-andesitic rocks from the Vale do Sol Formation (0.707257 to 0.707917) tend to be less radiogenic than those cultivated on dacitic-rhyolitic rocks from the Palmas Formation (0.708169 to 0.708367). Since we analyzed commercial wine samples, their corresponding $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ represent an average isotope value for each vineyard, whereas the $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ of the grape and leaf samples represent single values for a specific vine collected in the vineyard. Isotope spatial heterogeneity within a single vineyard may thus explain the slight discrepancy between the vine and wine samples.

Almeida (2021) characterized the $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ of wines from Bento Gonçalves, state of Rio Grande do Sul in southern Brazil, and reported values of 0.71239 for the microvinified wines produced from grapes cultivated in soils derived from basaltic-andesitic rocks (Gramado magma-type) from the Vale do Sol Formation, and between 0.71671 and 0.71739 for the microvinified wines produced from grapes cultivated in soils derived from dacitic-rhyolitic rocks (Palmas magma-type) from the Palmas Formation. This is in agreement with the pattern we observed for wines in São Joaquim: less radiogenic values for wines produced from grapes cultivated in soils generated by basaltic-andesitic rocks, and more radiogenic values for wines produced from grapes cultivated in soils generated by dacitic-rhyolitic rocks. These studies demonstrate the potential for $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ isotope ratios to discriminate the volcanic wines in southern Brazil made from grapes grown on basaltic-andesitic rocks (less radiogenic) from those grown on dacitic-rhyolitic rocks (more radiogenic). This conclusion could be extrapolated to all wines from the vineyards underlain by the Serra Geral Group (Paraná Magmatic Province) that display similar $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ characteristics resulting from their geological similarities, regardless of their *terroir*.

Moreover, white (Sauvignon Blanc) and red wines (Cabernet Sauvignon) from each vineyard showed no differences in their Sr isotope signatures (Figure 7). This is consistent with the findings of Tescione et al. (2020) who highlighted that the addition of geological (bentonite) or organic (yeast) derivatives, commonly used in the white winemaking procedures, does not alter the Sr isotope signature of the vineyard bedrock.

5. CONCLUSION

Wines produced in the São Joaquim, southern Brazil, are part of a geographical indication (*Indicação de Procedência Vinhos de Altitude de Santa Catarina*). We used strontium isotope ratios to determine their potential to discriminate between wines cultivated in soils derived from volcanic rocks of the Serra Geral Group (Paraná Magmatic Province), from those produced in other municipalities in southern Brazil. While our data identify a strong correlation between the $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios of grapes and

leaves, we observed weak correlations between those and their corresponding soil (bulk and labile fractions) and wine samples. This strongly suggests that while Sr in grapes and leaves behaves conservatively, the Sr isotope ratios in the soils may be shifted by agricultural practices, such as fertilization (addition of potassium) and liming (addition of calcium), and by enological practices such as homogenization (mixing of grapes from the whole vineyard) in the winery (i.e., resulting in distinct $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ in the wine). This hypothesis should be tested through further analysis of soil samples that are not fertilized and limed. As the access to organic production or untouched soils may be difficult, we recommend that, to a larger extent, soil sampling in Sr isotope-based wine authentication studies must be done at depths > 60 cm, especially in the presence of clay and/or organic matter rich soils.

Still, our data indicate that wines from the municipality of São Joaquim are Sr-isotopically distinguishable from those produced in the same geological unit in the municipality of Bento Gonçalves, state of Rio Grande do Sul. Although Sr isotope ratios are not strongly correlated between rocks, soils, vines and wines, the product traceability and *terroir* identification can be achieved when considering the proposed rock to bottle (bedrock and wine samples) approach. It also provides useful evidence for authenticating the geographic provenance since the $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios of the volcanic rocks from the Serra Geral Group (Paraná Magmatic Province) have a distinctive signature compared to wines cultivated in Neoproterozoic granitic rocks or Paleozoic sedimentary rocks in other areas of southern Brazil. The isotope convergence between commercial red and white wines confirms that the addition of bentonite or yeast, used for clarifying white wines does not modify the Sr isotope signatures of those wines. This observation cements the conclusion that $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios in wine studies are not controlled by the grape variety but by the characteristics of the parent soils, as previously suggested (e.g. MARCHIONNI et al., 2016; BRASCHI et al., 2018; TESCIONE et al., 2018).

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank Carolina Rojas Ferraz (Monte Agudo winery), José Eduardo Pioli Bassetti (Villaggio Bassetti winery), Fumio Hiragami and Celito Solda (Hiragami winery) for allowing access to the vineyards for sampling and for providing the commercial wines. The cooperation between private properties (wineries) and governmental institutions (universities and research centers) have provide substantial knowledge that will help improve viticulture protocols (selection of grape varieties), determine the *terroir* (selection of vineyards sites) and propose geographical indications (selection of homogenous areas) in Brazilian wine-growing regions. EAS was funded through CAPES scholarships (DS - *Programa de Demanda Social* and PDSE - *Programa de Doutorado Sanduíche no Exterior*). EAS, LMF and AL thank FAPESC for funding (projects 2021TR000668 and 2022TR001373). RS, DW and BSA acknowledge funding from the Natural Sciences and Engineering Research Council (NSERC) of Canada.

REFERENCES

AGUZZONI, A.; BASSI, M.; ROBATSCHER, P.; SCANDELLARI, F.; TIRLER, W.; TAGLIAVINI, M. Intra- and Intertree Variability of the $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ Ratio in Apple Orchards and Its Correlation with the Soil $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ Ratio. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 67, 20, p. 5728–5735, 2019. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b01082>.

ALMEIDA, B.S. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ isotopic characterization as a tool for the designation of origin and geographical indication: application to volcanic rocks, soils, grapes and wines from Brazil and Italy. Tese (Doutorado) - Department of Earth, Environmental and Resources Sciences. Università Degli Studi di Napoli Federico II, Nápoles. 113 p. 2021.

ALMEIDA, B.S.; FEDELE, L.; D'ANTONIO, M.; MORRA, V.; MERCURIO, M.; STEVENSON, R.; WIDORY, D. Characterizing wine terroir using strontium isotope ratios: a review, *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 59:4-6, 327-348, 2023. DOI: 10.1080/10256016.2023.2245122

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; DE MORAES GONÇALVES, J.L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil: *Meteorologische Zeitschrift*. v. 22, p. 711–728, 2013.

BARBERENA, R.; CARDILLO, M.; LUCERO, G.; LE ROUX P.J.; TESSONE, A.; LLANO, C.; GASCO, A.; MARSH, E.J.; NUEVO-DELAUNAY, A.; NOVELLINO, P.; FRIGOLÉ, C.; WINOCUR, D.; BENÍTEZ, A.; CORNEJO, L.; FALABELLA, F.; SANHUEZA, L.; SANTANA SAGREDO, F.; TRONCOSO, A.; CORTEGOSO, V.; DURÁN, V.A.; MÉNDEZ, C. Bioavailable Strontium, Human Paleogeography, and Migrations in the Southern Andes: A Machine Learning and GIS Approach. *Frontiers in Ecology and Evolution*. 9:584325. 2021. DOI: 10.3389/fevo.2021.584325.

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. 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.

BRASCHI, E.; MARCHIONNI, S.; PRIORI, S.; CASALINI, M.; TOMMASINI, S.; NATARELLI, L.; BUCCIANTI, A.; BUCELLI, P.; COSTANTINI, E.A.C.; CONTICELLI, S. Tracing the $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ from rocks and soils to vine and wine: an experimental study on geologic and pedologic characterisation of vineyards using radiogenic isotope of heavy elements. *Science of The Total Environment* v. 628-629, p. 1317-1327, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.069>.

CABRITA, M.J.; MARTINS, N.; BARRULAS, P.; GARCIA, R.; DIAS, C.B.; PÉREZ-ÁLVAREZ, E.P.; FREITAS, A.M.C.; GARDE-CERDÁN, T. Multi-element composition of red, white and palhete amphora wines from Alentejo by ICPMS. *Food Control*, Volume 92, Pages 80-85, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.04.041>.

CELLIER, R.; BERAIL, S.; BARRE, J. Analytical strategies for Sr and Pb isotopic signatures by MC-ICPMS applied to the authentication of Champagne and other sparkling wines. *Talanta*. 2021; 234: 122433. doi:10.1016/j.talanta.2021.122433.

CHANTZI, P.; POUTOUKI, A.; DOTSIKA, E. D-O-C Stable Isotopes, ¹⁴C Radiocarbon and Radiogenic Isotope Techniques Applied in Wine Products for Geographical Origin and Authentication. *Grape and Wine Biotechnology*. 2016. DOI: 10.5772/64933.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Mapa geológico da bacia do Paraná. Porto Alegre: CPRM. Escala 1:1.000.000. 2022. Available at: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/23037>. Access on: 03 jan. 2023.

COLDWELL, B.C.; PÉREZ, N.M.; VACA, M.C.; PANKHURST, M.J.; HERNÁNDEZ, P.A.; RODRIGUEZ, G.V.M.; PADRÓN, E.; ASENSIO-RAMOS, M.; RIBEIRO, S.; SANTOS, J.F. Strontium Isotope Systematics of Tenerife Wines (Canary Islands): Tracing Provenance in Ocean Island Terroir. *Beverages* 8, 9, 2022. <https://doi.org/10.3390/beverages8010009>.

DEBORD, J.; POURMAND, A.; JANTZI, S.C.; PANICKER, S.; ALMIRALL, J. Profiling of heroin and assignment of provenance by ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr isotope ratio analysis, *Inorganica Chimica Acta*, Volume 468, Pages 294-299, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ica.2017.07.049>.

DE VARGAS, T.; ROISENBERG, A.; BELLADONA, R. Strontium and lead isotopes as environmental tracers in a water supply watershed in Southern Brazil. *Environ Earth Sci* 81, 544. 2022. <https://doi.org/10.1007/s12665-022-10671-8>.

DI PAOLA-NARANJO, R.D.; BARONI, M.V.; PODIO, N.S.; RUBINSTEIN, H.R.; FABANI, M.P.; BADINI, R.G.; INGA, M.; OSTERA, H.A.; CAGNONI, M.; GALLEGOS, E.; GAUTIER, E.; PERAL-GARCÍA, P.; HOOGEWERFF, J.; WUNDERLIN, D.A. Fingerprints of main varieties of Argentinean wines: Terroir differentiation by inorganic, organic, and stable isotopic analyses coupled to chemometrics. *J. Agric. Food Chem.*, 59, 7854-7865, 2011.

DORTZBACH, D. Caracterização dos solos e avaliação da aptidão agrícola das regiões produtoras de vinhos finos de altitude de Santa Catarina. 2016. 192f. Tese (Doutorado em Agronomia - Ciência do Solo). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2016.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Solos do Estado de Santa Catarina. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 745 p. 2004.

EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Brasília, DF). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos/ Humberto Gonçalves dos Santos... [et al.]. 5. ed. rev. e ampl. - Brasília: Embrapa, 356 p. 2018.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Indicações Geográficas (IG) de Vinhos do Brasil e Associações de Produtores. 2022. Available at: [https://www.embrapa.br/documents/1355300/25449981/Mapa+IGs+-+Consolidadas+12-2022+\(2\).png/19c62436-718f-3c91-06c9-f00efe2af734?t=1672715656709](https://www.embrapa.br/documents/1355300/25449981/Mapa+IGs+-+Consolidadas+12-2022+(2).png/19c62436-718f-3c91-06c9-f00efe2af734?t=1672715656709). Access on: 03 fev. 2023.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Indicações Geográficas de Vinhos do Brasil: ip vinhos de altitude de santa catarina. IP Vinhos de Altitude de Santa Catarina. 2023. Available at: <https://www.embrapa.br/uva-e-vinho/indicacoes-geograficas-de-vinhos-do-brasil/ig-registrada/regiao-do-planalto-catarinense>. Access on: 04 jan. 2023.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Indicações Geográficas de Vinhos do Brasil: denominação de origem vale dos vinhedos. Denominação de Origem Vale dos Vinhedos. 2024. Available at: <https://www.embrapa.br/indicacoes-geograficas-de-vinhos-do-brasil/ig-registrada/do-vale-dos-vinhedos>. Access on: 21 jan. 2024.

EPAGRI - Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. Vinhedos de altitude de Santa Catarina. 2019.

EPOVA, E.N.; BÉRAIL, S.; SÉBY, F.; VACCHINA, V.; BAREILLE, G.; MÉDINA, B.; SARTHOU, L.; DONARD, O.F.X. Strontium elemental and isotopic signatures of bordeaux wines for authenticity and geographical origin assessment. *Food Chem.*, 294, 35-45, 2019.

FAURE, G.; POWELL, J.L. Strontium Isotope Geology. Springer Berlin Heidelberg. 1972. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-65367-4>.

FICK, S.E.; HIJMANS, R.J. WorldClim 2: new 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 37(12): 4302-4315. 2017.

FLOCKHART, D.T.T.; KYSER, T.K.; CHIPLEY, D.; MILLER, N.G.; NORRIS, D.R.; Experimental evidence shows no fractionation of strontium isotopes ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) among soil, plants, and herbivores: implications for tracking wildlife and forensic science, *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 51:3, 372-381, 2015. DOI: 10.1080/10256016.2015.1021345.

FLORISBAL, L.M.; HEAMAN, L.M.; JANASI, V.A.; BITENCOURT, M.F. Tectonic significance of the Florianópolis Dyke Swarm, Paraná-Etendeka Magmatic Province: A reappraisal based on precise U-Pb dating. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 289, p. 140-150, 2014.

FRANK, H.T.; GOMES, M.E.B.; FORMOSO, M.L.L. Review of the areal extent and the volume of the Serra Geral Formation, Paraná Basin, South America. *Pesquisas em Geociências*, Porto Alegre, Rs, v. 1, n. 36, p.49-57, jan. 2009. Available at: <http://www.ufrgs.br/igeo/pesquisas/Sitenovo/3601/05-3601.pdf>. Access on: 29 set. 2016.

FREI, R.; FREI, K.M.; JESSENA, S. Shallow retardation of the strontium isotope signal of agricultural liming - implications for isoscapes used in provenance studies. *Science of the Total Environment* 706, 13571, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135710>

GABEL, B. Wine origin authentication linked to terroir – wine fingerprint. *BIO Web of Conferences* 15, 02033, 2019. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20191502033>.

GAJEK, M.; PAWLACZYK, A.; SZYNKOWSKA-JOZWIK, M.I. MultiElemental Analysis of Wine Samples in Relation to Their Type, Origin, and Grape Variety. *Molecules* 26, 214, 2021. <https://doi.org/10.3390/molecules26010214>.

GARLAND, F.G.; HAWKESWORTH, C.J.; MANTOVANI, M. Description and Petrogenesis of the Parana Rhyolites, Southern Brazil. *Journal Of Petrology*, [s.l.], v. 36, n. 5, p.1193-1227, 1 out. 1995. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/275150039_Description_and_Petrogenesis_of_the_Paran_Rhyolites_Southern_Brazil>. Access on: 29 set. 2016.

GOMES, A.S.; VASCONCELOS, P.M. Geochronology of the Paraná-Etendeka large igneous province. *Earth-Science Reviews*, Volume 220. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2021.103716>.

GUIBOURDENCHE, L.; STEVENSON, R.; PEDNEAULT, K.; POIRIER, A.; WIDORY, D. Characterizing nutrient pathways in Quebec (Canada) vineyards: Insight from stable and radiogenic strontium isotopes. *Chemical Geology* v. 532, e119375, 2020.

HORACEK, M.; OGRINC, N.; MAGDAS, D.A.; WUNDERLIN, D.; SUCUR, S.; MARAS, V.; MISUROVIC, A.; EDER, R.; CUŠ, F.; WYHLIDAL S.; PAPESCH, W. Isotope Analysis (¹³C, ¹⁸O) of Wine From Central and Eastern Europe and Argentina, 2008 and 2009 Vintages: Differentiation of Origin, Environmental Indications, and Variations Within Countries. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 5:638941. 2021. doi: 10.3389/fsufs.2021.638941.

HOULE, D.; MARTY, C.; GAGNON, C.; GAUTHIER, S.B.; BÉLANGER, N. Is the past history of acidic deposition in eastern Canada reflected in sugar maple's tree rings $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, Sr and Ca concentrations? *Applied Geochemistry*, Volume 125, 104860, February 2021. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2020.104860>

IBGE - INSTITUO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Index of /cartas_e_mapas/bases_cartograficas_continuas/bc250/versao2017/shapefile. 2017. Available at: https://geofp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/bases_cartograficas_continuas/bc250/versao2017/shapefile. Access on: 23 ago. 2022.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. SÃO JOAQUIM (Código Estação: 83920). 2023. Available at: <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Access on: 05 feb. 2023.

INPI - INSTITUTO NACIONAL DE PROPRIEDADE INDUSTRIAL. Revista da Propriedade Industrial Nº 2634: Indicações Geográficas Seção IV. 2021. 52 p.

JACKSON, R. S. *Wine Science: Principles and Applications*. 3. ed. Oxford: Academic Press, 978 p. 2008.

JANOŮŠEK, 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.

KAYA, A.; BRUNO DE SOUSA, R.; CURVELO-GARCIA, A.S.; RICARDODA-SILVA, J.; CATARINO, S. Effect of wood aging on mineral composition and wine $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ isotopic ratio. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65, 4766-4776, 2017. <https://dx.doi.org/10.1021/acs.jafc.7b01510>

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

LE BAS, M.J.; LE MAITRE, R.W.; STRECKEISEN, A.; ZANETTIN, B. A Chemical Classification of Volcanic Rocks Based on the Total Alkali-Silica Diagram. *Journal of Petrology*, 27, 745-750. 1986. <https://doi.org/10.1093/petrology/27.3.745>.

LIAO, X.; LUO, T.; ZHANG, S.; ZHANG, W.; ZONG, K.; LIU, Y.; HU, Z. Direct and rapid multi-element analysis of wine samples in their natural liquid state by laser ablation ICPMS. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 35, 1071–1079, 2020. DOI: 10.1039/c9ja00404a.

LIU, H.; YOU, C.; CHEN, C.; LIU, Y.; CHUNG, M. Geographic determination of coffee beans using multi-element analysis and isotope ratios of boron and strontium. *Food Chemistry* Volume 142, Pages 439-445, 1 January 2014. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.07.082>.

MARCHIONNI, S.; BUCCIANTI, A.; BOLLATI, A.; BRASCHI, E.; CIFELLI, F.; MOLIN, P.; PAROTTO, M.; MATTEI, M.; TOMMASINI, S.; CONTICELLI, S. Conservation of $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ isotopic ratios during the winemaking processes of 'Red' wines to validate their use as geographic tracer. *Food Chemistry* v. 190, p. 777-785, 2016.

MICROSOFT CORPORATION. Microsoft Excel 2016. Available at: <https://office.microsoft.com/excel>.

MOREIRA C.; DE PINHO M.; CURVELO-GARCIA, A.S.; BRUNO DE SOUSA, R.; RICARDO-DASILVA, J.M.; CATARINO S. Evaluating nanofiltration effect on wine $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ isotopic ratio and the robustness of this geographical fingerprint. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 38 (1), 82-93, 2017. <http://dx.doi.org/10.21548/38-1-942>.

PEATE, D.W.; HAWKESWORTH, C.J.; MANTOVANI, M. Chemical stratigraphy of the Parana lavas (South America): classification of magma types and their spatial distribution. *Bulletin Of Volcanology*, Pasadena, CA, v. 55, n. 1, p.119-139, 08 ago. 1992.

PEATE, D.W.; HAWKESWORTH, C.J. Lithospheric to asthenospheric transition in Low-Ti flood basalts from southern Paraná, Brazil. *Chemical Geology*, Volume 127, Issues 1–3, Pages 1-24. 1996.

PEATE, D.W. The Paraná-Etendeka Province. *Large Igneous Provinces: Continental, Oceanic, and Planetary Flood Volcanism*, [s.l.], p.217-245, 1997. Available at: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.556.2208&rep=rep1&type=pdf>. Access on: 29 set. 2016.

PÉREZ-ÁLVAREZ, E.P.; GARCIA, R.; BARRULAS, P.; DIAS, C.; CABRITA, M.J.; GARDE-CERDÁN, T. Classification of wines according to several factors by ICP-MS multi-element analysis. *Food Chemistry*, Volume 270, Pages 273-2801, January 2019. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.087>.

RAUCH, E.; RUMMEL, S.; LEHN, C.; BÜTTNER, A. Origin assignment of unidentified corpses by use of stable isotope ratios of light (bio-) and heavy (geo) elements—A case report, *Forensic Science International*, Volume 168, Issues 2–3, Pages 215-218, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2006.02.011>.

ROSSETTI, L.M.M; LIMA, E.F.; WAICHEL, B.L.; HOLE, M.J.; SIMÕES, M.S.; SCHERER, C.M.S. Lithostratigraphy and volcanology of the Serra Geral Group, Paraná-Etendeka Igneous Province in

Southern Brazil: Towards a formal stratigraphical framework. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. Volume 355, 2018. pages 98-114. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2017.05.008>.

ROSSETTI, L.M.M.; HOLE, M.J.; LIMA, E.F.; SIMÕES, M.S.; MILLETT, J.M.; ROSSETTI, M.M.M. Magmatic evolution of Low-Ti lavas in the southern Paraná-Etendeka Large Igneous Province, *Lithos*. Volumes 400–401, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2021.106359>.

SANDVIK, B. World Borders Dataset. 2008. Available at: http://thematicmapping.org/downloads/world_borders.php/. Access on: 15 out. 2020.

SANTA CATARINA. Secretaria de Estado do Planejamento; ROCHA, I. O. (Org.). Atlas Geográfico de Santa Catarina: diversidade da natureza: fascículo 2. Florianópolis: Ed. da UDESC, 2016. Available at: <https://sites.google.com/a/spg.sc.gov.br/atlas-geografico-de-santa-catarina/fasciculo2>. Access on: 31 jul. 2016.

SANTOS, E.A. Análise Multicriterial dos Fatores Meteorológico, Fisiográfico, Pedológico e Geológico para Confecção do Mapa de Aptidão à Viticultura do Município de São Joaquim, Santa Catarina (Trabalho de Conclusão de Curso). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 101 p. 2016.

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*, v. 45, p. 137-149, 2019.

SANTOS, E.A.; FLORISBAL, L.M.; LOSS, A.; DORTZBACH, D. Volcanic Wines Of Altitude. In: VIII Simpósio De Vulcanismo E Ambientes Associados. 2022. Cuiabá. Anais [...] . Sociedade Brasileira de Geologia, 2022. p. 28-28. Available at: <http://www.sbgeo.org.br/assets/admin/imgCk/files/Anais%20SVAA%202022-1.pdf>. Access on: 28 out. 2023.

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. Available at: <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>. Access on: 28 out. 2023.

SHAW, B.J.; SUMMERHAYES, G.R.; BUCKLEY, H.R.; BAKER, J.A. The use of strontium isotopes as an indicator of migration in human and pig Lapita populations in the Bismarck Archipelago, Papua New

Guinea. *Journal of Archaeological Science*, Volume 36, Issue 4, Pages 1079-1091, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2008.12.010>.

STEVENSON, R.; DESROCHERS, S.; HELIE, J. Stable and radiogenic isotopes as indicators of agri-food provenance: Insights from artisanal cheeses from Quebec, Canada. *International Dairy Journal* 49, 37-45, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2015.04.003>.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. *Análise de solo, plantas e outros materiais*, 2nd 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. (Ed.) *Manual de métodos de análise de solo*. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 573 p., 2017.

TERRILL, D.F.; HENDERSON, C.M.; ANDERSON, J.S. New application of strontium isotopes reveals evidence of limited migratory behaviour in Late Cretaceous hadrosaurs. *Biology Letters*, 16: 20190930. 2020. <http://dx.doi.org/10.1098/rsbl.2019.0930>.

TESCIONE, I.; CASALINI, M.; MARCHIONNI, S.; BRASCHI, E.; MATTEI, M.; CONTICELLI, S. (2020) Conservation of $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ during wine-making of white wines: a geochemical fingerprint of geographical provenance and quality production. *Front Environ Sci* 8:153. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.00153>.

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Natural Resources Conservation Service Soil Survey Staff. *Keys to Soil Taxonomy*, 13th edition, Washington, DC, 410 p., 2022.

VINCIGUERRA, V.; STEVENSON, R.; PEDNEAULT, K.; POIRIER, A.; HÉLIE, J.F.; WIDORY, D. Strontium isotope characterization of wines from Quebec, Canada. *Food Chemistry* v. 210, p. 121-128, 2016.

VORSTER, C.; GREEFF, L.; COETZEE, P.P. The determination of $^{11}\text{B}/^{10}\text{B}$ and $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ isotope ratios by quadrupole-based ICP-MS for the fingerprinting of South African wine. *South African Journal of Chemistry*, 63, 207-214, 2010.

WANG, X.; TANG, Z.; WU, J. Strontium isotope evidence for a highly mobile population on the Pamir Plateau 2500 years ago. *Scientific Reports* 6, 35162, 2016. <https://doi.org/10.1038/srep35162>.

WILKES, E.; DAY, M.; HERDERICH, M.; JOHNSON, M. In vino veritas – investigating technologies to fight wine fraud. *Wine & Viticulture Journal*, 2016.

ANEXO 4 – ANÁLISES GEOQUÍMICAS

Tabela 32. Dados das análises geoquímicas das amostras de rocha de São Joaquim.

Amostra	SiO ₂ %	TiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	MnO %	MgO %	CaO %	Na ₂ O %	K ₂ O %	P ₂ O ₅ %	Total (normalizado)	Sr ppm	Ba ppm	Zr ppm	Y ppm	Zr/Y	Sr/Y	Ba/Y	Formação
PSJ-001A	54,16	1,45	14,02	13,12	0,20	4,67	7,57	2,69	1,91	0,21	100,00	214	422	145	35	4	6	12	Vale do Sol
PSJ-002A	69,17	0,86	12,32	6,25	0,09	1,23	2,65	3,08	4,08	0,27	100,00	121	574	221	41	5	3	14	Palmas
PSJ-003A	57,61	1,58	13,54	12,07	0,19	3,28	6,54	3,19	1,70	0,30	100,00	200	510	213	42	5	5	12	Vale do Sol
PSJ-004A	52,48	1,38	14,07	13,52	0,19	5,40	9,08	2,47	1,22	0,19	100,00	353	334	122	31	4	12	11	Vale do Sol
PSJ-005A	50,31	1,27	14,37	12,73	0,19	7,36	10,60	2,37	0,60	0,19	100,00	229	276	88	25	3	9	11	Vale do Sol
PSJ-007A	68,72	0,91	12,27	6,38	0,10	1,36	3,09	3,02	3,86	0,28	100,00	134	539	215	34	6	4	16	Palmas
PSJ-008A	50,25	4,10	13,26	14,17	0,20	4,86	7,54	2,88	2,22	0,53	100,00	730	627	299	34	9	22	19	Vale do Sol
PSJ-009A	53,13	1,42	14,02	13,34	0,19	5,43	8,68	2,48	1,11	0,20	100,00	366	620	125	61	2	6	10	Vale do Sol
PSJ-010A	50,73	3,61	12,60	14,99	0,19	4,62	8,01	2,85	1,83	0,57	100,00	523	560	287	35	8	15	16	Vale do Sol
PSJ-011A	68,07	0,91	12,55	6,56	0,10	1,48	2,84	3,02	4,19	0,28	100,00	129	526	223	37	6	4	14	Palmas
PSJ-012A	52,42	1,59	13,63	13,89	0,21	5,11	8,88	2,80	1,22	0,24	100,00	264	396	146	33	4	8	12	Vale do Sol
PSJ-013A	49,83	3,89	13,58	13,91	0,17	5,34	9,07	2,50	1,14	0,57	100,00	776	569	312	37	9	21	16	Vale do Sol
PSJ-014A	52,14	4,04	13,17	13,17	0,14	4,36	7,21	2,76	2,38	0,63	100,00	737	664	349	37	9	20	18	Vale do Sol
PSJ-015A	69,03	0,91	13,04	6,43	0,07	1,03	1,80	2,66	4,75	0,28	100,00	99	649	230	51	4	2	13	Palmas
PSJ-016A	51,72	1,49	14,57	13,64	0,22	5,61	9,24	2,36	0,92	0,22	100,00	446	277	139	32	4	14	9	Vale do Sol
PSJ-017A	53,01	1,39	13,95	13,21	0,19	5,55	8,93	2,57	1,02	0,18	100,00	204	260	122	30	4	7	9	Vale do Sol
SJ-05	69,89	0,86	12,28	4,94	0,11	1,35	2,91	3,05	4,34	0,27	100,00	148	624	230	35	7	4	18	Palmas
SJ-10	69,21	0,96	12,88	5,00	0,11	1,18	3,00	3,31	4,07	0,28	100,00	149	603	227	36	6	4	17	Palmas
SJ-104	67,13	0,94	13,34	5,93	0,11	1,70	3,24	3,14	4,19	0,28	100,00	139	644	236	43	6	3	15	Palmas
SJ-105A	70,05	0,98	12,90	4,33	0,08	1,15	2,26	3,47	4,49	0,29	100,00	123	574	240	42	6	3	14	Palmas
SJ-105D	68,01	0,93	13,71	5,15	0,10	1,63	3,75	3,54	2,89	0,29	100,00	184	650	246	52	5	4	12	Palmas
SJ-107	54,13	1,74	12,75	15,62	0,18	3,45	7,78	3,02	1,06	0,27	100,00	202	366	143	33	4	6	11	Vale do Sol
SJ-108	68,86	0,98	13,39	5,85	0,10	1,00	2,20	3,13	4,21	0,28	100,00	118	637	235	72	3	2	9	Palmas
SJ-118	68,79	0,95	12,75	5,09	0,11	1,45	2,68	3,09	4,81	0,28	100,00	130	836	229	43	5	3	20	Palmas
SJ-119	68,91	1,01	12,94	5,49	0,09	1,16	2,92	3,49	3,71	0,29	100,00	147	618	233	41	6	4	15	Palmas
SJ-12	69,72	0,89	12,34	4,87	0,14	1,27	2,94	2,94	4,60	0,29	100,00	131	650	233	43	5	3	15	Palmas
SJ-120	69,12	0,98	12,72	5,67	0,11	1,19	2,46	3,58	3,88	0,29	100,00	137	644	232	47	5	3	14	Palmas
SJ-121	51,81	1,39	13,50	13,56	0,19	5,81	10,03	2,76	0,78	0,17	100,00	172	143	86	28	3	6	5	Vale do Sol
SJ-123	68,17	0,97	13,10	5,53	0,12	1,54	2,65	3,29	4,35	0,29	100,00	119	560	232	36	6	3	16	Palmas
SJ-125	68,16	0,97	12,54	5,60	0,12	1,69	3,68	3,40	3,56	0,28	100,00	151	652	229	37	6	4	18	Palmas
SJ-15B	67,73	0,96	13,01	6,28	0,11	1,35	3,32	3,05	3,91	0,29	100,00	129	583	258	33	8	4	18	Palmas

Dados das análises geoquímicas das amostras de rocha de São Joaquim (continuação).

SJ-17	68,47	0,96	12,82	5,47	0,11	1,82	2,82	3,20	4,05	0,28	100,00	147	534	232	36	6	4	15	Palmas
SJ-18	51,08	3,62	13,46	14,19	0,17	4,20	7,90	2,97	1,84	0,57	100,00	448	607	218	32	7	14	19	Vale do Sol
SJ-22	68,50	0,96	12,86	6,40	0,12	0,94	2,72	2,97	4,26	0,27	100,00	120	637	269	36	7	3	18	Palmas
SJ-228A	68,01	0,96	13,13	6,25	0,10	1,31	3,57	3,52	2,87	0,28	100,00	143	579	259	34	8	4	17	Palmas
SJ-228B	50,62	3,92	14,51	14,83	0,17	3,47	8,01	2,37	1,51	0,59	100,00	542	789	316	50	6	11	16	Vale do Sol
SJ-229A	51,37	3,72	13,18	14,62	0,18	3,95	7,79	2,73	1,89	0,57	100,00	512	600	289	42	7	12	14	Vale do Sol
SJ-230A	53,64	1,38	14,27	12,79	0,18	5,08	9,42	2,41	0,62	0,19	100,00	221	234	123	22	6	10	11	Vale do Sol
SJ-235	55,09	1,77	13,25	14,42	0,20	3,51	7,90	2,54	1,06	0,26	100,00	200	260	170	34	5	6	8	Vale do Sol
SJ-237	53,53	1,34	14,07	12,87	0,18	5,19	9,07	2,53	1,05	0,18	100,00	232	241	118	22	5	11	11	Vale do Sol
SJ-240	68,85	1,07	13,29	5,69	0,08	0,90	2,65	3,15	3,99	0,34	100,00	116	633	289	41	7	3	15	Palmas
SJ-28D	52,52	2,05	12,96	16,02	0,20	4,11	7,77	2,80	1,32	0,24	100,00	176	268	150	58	3	3	5	Vale do Sol
SJ-30	66,58	0,97	14,03	5,62	0,12	1,31	2,85	3,64	4,57	0,31	100,00	149	698	248	37	7	4	19	Palmas
SJ-32	68,11	0,94	13,14	5,91	0,10	1,18	3,90	2,97	3,45	0,30	100,00	191	528	244	37	7	5	14	Palmas
SJ-36	68,55	1,08	13,09	5,16	0,11	1,15	2,75	3,49	4,27	0,35	100,00	140	646	254	53	5	3	12	Palmas
SJ-40	69,53	0,92	12,40	6,00	0,11	1,32	2,97	2,84	3,64	0,26	100,00	121	633	249	70	4	2	9	Palmas
SJ-48	69,59	0,93	12,68	5,24	0,10	1,34	2,40	2,95	4,49	0,28	100,00	128	742	228	57	4	2	13	Palmas
SJ-52	70,12	0,87	12,49	5,65	0,10	1,16	2,39	2,55	4,41	0,26	100,00	100	620	253	33	8	3	19	Palmas
SJ-54	68,12	0,97	13,14	5,22	0,11	1,33	3,58	3,78	3,46	0,29	100,00	166	544	234	36	7	5	15	Palmas
SJ-55A	68,22	0,96	13,19	5,21	0,11	1,29	3,62	3,73	3,39	0,28	100,00	168	573	235	37	6	5	16	Palmas
SJ-74	54,26	1,42	13,81	12,59	0,19	4,79	8,70	2,69	1,35	0,20	100,00	274	309	122	29	4	10	11	Vale do Sol
SJ-77	54,21	1,41	13,57	13,02	0,20	4,73	8,51	2,93	1,21	0,21	100,00	229	356	128	28	5	8	13	Vale do Sol
SJ-82	69,76	0,91	13,10	5,80	0,10	1,16	1,86	2,42	4,64	0,27	100,00	90	819	274	45	6	2	18	Palmas
SJ-83	69,75	0,90	12,86	5,51	0,05	1,02	2,34	2,63	4,67	0,26	100,00	114	827	284	41	7	3	20	Palmas
SJ-88B	69,86	0,90	12,44	5,02	0,10	1,69	2,73	3,00	3,99	0,27	100,00	136	662	222	54	4	3	12	Palmas
SJE-001A	50,48	3,62	13,14	15,33	0,19	4,40	7,85	2,68	1,76	0,54	100,00	546	521	304	34	9	16	15	Vale do Sol
SJE-001B	50,59	3,63	13,18	15,29	0,19	4,41	7,82	2,59	1,76	0,54	100,00	569	548	313	34	9	17	16	Vale do Sol
SJE-003	69,04	0,93	12,31	6,70	0,09	1,52	2,08	2,54	4,51	0,27	99,99	94	772	255	105	2	1	7	Palmas
SJE-004	52,80	1,38	14,30	13,20	0,19	5,36	9,19	2,47	0,92	0,19	100,00	374	519	139	61	2	6	8	Vale do Sol
SJE-005	69,16	0,86	12,34	6,55	0,10	1,33	2,35	2,84	4,21	0,27	100,00	123	622	257	49	5	3	13	Palmas

Fonte: dados do presente trabalho, Santos (2016) e Besser (2017).

ANEXO 5 – ANÁLISES PEDOFÍSICOQUÍMICAS

Tabela 33. Dados das análises pedofísicoquímicas das amostras de solo de São Joaquim.

Amostra	Profundidade cm	C-org g/kg	MO g/kg	pH água	P mg/kg	Ca cmolc/kg	Mg cmolc/kg	K cmolc/kg	SB cmolc/kg	Al cmolc/kg	H cmolc/kg	H+Al cmolc/kg	CTC potencial cmolc/kg	CTC argila cmolc/kg	m %	V %	Areia g/kg	Silte g/kg	Argila g/kg	Relação Silte/Argila	Classe
SJE-002 A1	0 - 4	48,70	83,96	4,72	0,58	0,30	2,36	0,35	3,01	2,90	7,78	10,68	13,69	24,58	49,08	21,98	129	313	557	0,56	Cambissolo
SJE-002 A2	4 - 14	39,75	68,53	4,89	0,53	0,02	1,08	0,14	1,24	5,10	17,56	22,66	23,90	42,15	80,43	5,19	133	299	567	0,53	
SJE-002 AB	14 - 30	29,23	50,39	4,88	0,44	0,00	0,41	0,08	0,49	4,88	10,63	15,51	16,00	31,32	90,82	3,08	241	248	511	0,48	
SJE-002 BA	30 - 40	20,19	34,81	4,79	0,26	0,00	0,30	0,03	0,33	6,35	16,97	23,32	23,65	39,36	95,01	1,41	109	290	601	0,48	
SJE-002 B1	40 - 80	8,04	13,86	4,92	0,32	0,00	0,33	0,04	0,37	7,75	32,71	40,46	40,83	72,64	95,49	0,90	118	319	562	0,57	
SJE-002 B2	80+	6,42	11,07	4,98	0,14	0,00	0,42	0,05	0,47	8,10	40,80	48,90	49,37	88,32	94,53	0,95	120	321	559	0,57	
SJE-003 A1	0 - 8	47,47	81,84	4,50	0,36	0,00	0,48	0,13	0,61	6,93	26,35	33,28	33,89	63,35	91,87	1,81	133	331	535	0,62	Cambissolo
SJE-003 A2	8 - 24	36,79	63,43	4,55	0,12	0,00	0,32	0,03	0,35	6,43	26,10	32,53	32,88	57,78	94,86	1,06	102	329	569	0,58	
SJE-003 A3	24 - 38	24,18	41,69	4,68	0,01	0,00	0,25	0,02	0,27	6,90	20,80	27,70	27,97	47,81	96,26	0,96	100	315	585	0,54	
SJE-003 AB	38 - 47	16,96	29,24	4,61	0,00	0,00	0,22	0,02	0,24	7,45	27,60	35,05	35,29	59,91	96,94	0,67	98	313	589	0,53	
SJE-003 BA	47 - 58	11,70	20,17	4,72	0,01	0,00	0,24	0,01	0,25	7,10	22,24	29,34	29,59	53,32	96,60	0,85	111	335	555	0,60	
SJE-003 B	58 - 73	11,33	19,53	4,74	0,03	0,00	0,25	0,01	0,26	8,10	32,83	40,93	41,19	73,16	96,87	0,63	111	327	563	0,58	
SJE-004 A1	0 - 5	62,58	107,89	5,49	1,26	3,70	5,82	0,39	9,91	0,70	9,40	10,10	20,01	44,67	6,60	49,54	187	364	448	0,81	Cambissolo
SJE-004 A2	5 - 12	47,96	82,68	5,33	0,45	0,21	1,96	0,12	2,29	2,73	6,77	9,50	11,79	24,26	54,37	19,43	187	327	486	0,67	
SJE-004 A3	12 - 20	38,19	65,84	5,17	0,25	0,02	1,01	0,09	1,12	3,45	9,25	12,70	13,82	28,50	75,42	8,14	192	323	485	0,67	
SJE-004 AB	20 - 28	26,11	45,01	5,22	0,24	0,00	0,68	0,07	0,75	3,20	9,20	12,40	13,15	23,23	81,08	5,68	177	257	566	0,45	
SJE-004 BA	28 - 50	21,60	37,24	5,28	0,26	0,00	0,63	0,08	0,71	3,43	5,67	9,10	9,81	16,79	82,94	7,19	169	247	584	0,42	
SJE-004 B	50 - 75	11,70	20,17	5,38	0,37	0,03	0,62	0,05	0,70	2,78	5,72	8,50	9,20	16,23	79,83	7,63	138	295	567	0,52	
SJE-005 A1	0 - 6	75,14	129,54	4,10	3,33	0,12	0,86	0,12	1,10	5,33	21,13	26,46	27,55	45,69	82,93	3,98	134	263	603	0,44	Cambissolo
SJE-005 A2	6 - 20	62,82	108,31	4,72	0,97	0,00	0,47	0,04	0,51	5,30	16,59	21,89	22,40	37,90	91,26	2,27	130	279	591	0,47	
SJE-005 A3	20 - 30	56,46	97,33	4,73	0,56	0,00	0,31	0,03	0,35	4,53	13,07	17,60	17,94	29,76	92,92	1,92	140	256	603	0,42	
SJE-005 A4	30 - 40	37,91	65,35	4,60	0,64	0,00	0,26	0,02	0,28	4,60	11,18	15,78	16,06	25,90	94,27	1,74	140	241	620	0,39	
SJE-005 AB	40 - 49	25,42	43,82	4,90	0,29	0,00	0,19	0,01	0,20	4,20	7,24	11,44	11,64	19,57	95,41	1,74	189	216	595	0,36	
SJE-005 BA	49 - 62	22,43	38,67	4,94	0,16	0,00	0,18	0,01	0,19	5,45	11,07	16,52	16,71	27,76	96,57	1,16	151	247	602	0,41	
SJE-005 B1	62 - 74	13,34	22,99	4,97	0,25	0,00	0,18	0,01	0,19	6,33	19,23	25,56	25,74	46,47	97,15	0,72	141	305	554	0,55	
SJE-005 B2	74 - 104	5,78	9,96	4,96	0,16	0,00	0,15	0,00	0,15	10,15	36,29	46,44	46,59	109,63	98,51	0,33	145	431	425	1,01	
SJE-006 A1	0 - 5	43,01	74,15	4,37	0,41	0,00	0,73	0,03	0,76	5,23	12,99	18,22	18,98	40,91	87,28	4,01	219	317	464	0,68	Neossolo
SJE-006 A2	5 - 12	33,06	57,00	4,83	0,21	0,00	0,28	0,02	0,30	5,68	7,23	12,91	13,21	23,92	95,06	2,24	193	256	552	0,46	
SJE-006 A3	12 - 21	29,44	50,75	5,00	0,08	0,00	0,21	0,01	0,22	5,30	4,06	9,36	9,58	16,55	96,01	2,30	152	269	579	0,46	
SJE-006 Cr	21 - 37	20,19	34,81	4,99	0,14	0,00	0,18	0,01	0,19	5,93	3,22	9,15	9,34	17,56	96,89	2,04	203	265	532	0,50	
SJE-007 A1	0 - 8	47,12	81,23	4,83	0,50	0,13	0,79	0,06	0,98	4,98	9,42	14,39	15,37	31,44	83,55	6,37	177	334	489	0,68	Cambissolo

Dados das análises pedofísicoquímicas das amostras de solo de São Joaquim (continuação).

SJE-007 A2	8 - 22	37,82	65,21	5,00	0,19	0,00	0,27	0,02	0,29	5,23	7,10	12,33	12,61	24,88	94,82	2,26	174	319	507	0,63	
SJE-007 A3	22 - 38	36,60	63,09	4,79	0,15	0,00	0,19	0,01	0,20	4,95	9,86	14,81	15,01	30,20	96,18	1,31	157	346	497	0,70	
SJE-007 A4	38 - 52	23,68	40,83	4,50	0,11	0,00	0,16	0,01	0,17	5,20	11,13	16,33	16,50	28,59	96,92	1,00	165	258	577	0,45	
SJE-007 A5	52 - 64	20,60	35,51	4,52	0,05	0,00	0,16	0,01	0,17	5,53	7,76	13,28	13,45	26,43	97,03	1,26	165	326	509	0,64	
SJE-007 BC	64+	14,63	25,23	4,37	0,23	0,00	0,13	0,01	0,14	8,33	14,86	23,18	23,32	38,11	98,34	0,60	174	214	612	0,35	
SJE-008 A1	0 - 6	40,46	69,75	4,47	0,61	0,00	0,32	0,18	0,50	6,00	20,15	26,15	26,65	50,21	92,36	1,86	189	280	531	0,53	Cambissolo
SJE-008 A2	6 - 18	29,27	50,47	4,64	0,25	0,00	0,24	0,08	0,32	5,45	9,19	14,64	14,97	27,32	94,44	2,14	200	252	548	0,46	
SJE-008 AB	18 - 34	20,31	35,02	4,66	0,01	0,00	0,21	0,05	0,26	5,43	6,42	11,84	12,10	20,64	95,49	2,12	144	270	586	0,46	
SJE-008 B	34 - 52	13,82	23,82	4,73	0,06	0,00	0,20	0,03	0,23	5,40	7,43	12,83	13,06	22,73	95,92	1,76	131	295	575	0,51	
SJE-009 O	5 - 0	133,62	230,36	4,97	12,35	15,47	6,45	0,89	22,81	0,38	3,64	4,02	26,83	54,21	1,64	85,02	149	356	495	0,72	Cambissolo
SJE-009 A1	0 - 9	74,01	127,59	4,09	1,35	0,00	0,99	0,12	1,11	6,95	12,12	19,07	20,18	33,53	86,20	5,51	102	296	602	0,49	
SJE-009 A2	9 - 24	49,26	84,92	4,31	0,53	0,00	0,38	0,04	0,42	6,88	17,96	24,84	25,26	41,21	94,22	1,67	118	269	613	0,44	
SJE-009 AB	24 - 47	26,27	45,29	4,36	0,37	0,00	0,26	0,02	0,28	8,13	14,66	22,79	23,07	38,58	96,67	1,22	118	284	598	0,47	
SJE-009 B	47 - 62	13,81	23,81	4,46	1,21	0,00	0,20	0,01	0,21	6,73	12,67	19,40	19,61	38,15	96,99	1,07	122	364	514	0,71	
SJE-009 BC	62 - 82	11,68	20,14	4,54	0,14	0,00	0,21	0,01	0,22	6,90	12,84	19,74	19,96	47,97	96,98	1,08	135	449	416	1,08	
SJE-011 A1	0 - 8	56,90	98,10	5,80	4,93	11,52	4,80	0,22	16,54	0,00	4,29	4,29	20,83	56,00	0,00	79,41	128	500	372	1,35	Argissolo
SJE-011 A2	8 - 38	42,51	73,29	5,88	1,34	7,34	3,26	0,06	10,66	0,14	3,84	3,98	14,64	40,12	1,30	72,82	136	499	365	1,37	
SJE-011 AB	38 - 54	29,93	51,60	5,79	0,12	4,98	2,20	0,03	7,21	0,53	4,83	5,36	12,57	28,17	6,85	57,34	106	447	446	1,00	
SJE-011 B1	54 - 72	25,90	44,65	5,70	0,15	2,67	1,79	0,02	4,48	0,95	3,12	4,07	8,55	14,27	17,50	52,39	85	316	599	0,53	
SJE-011 B2	72+	20,64	35,58	5,46	0,26	2,10	1,89	0,02	4,01	1,38	2,64	4,02	8,03	11,19	25,62	49,92	70	213	717	0,30	
PERFIL 5 A1	0 - 10	32,00	55,17	4,90	9,30	4,90	6,70	0,49	12,09	0,80	7,30	8,10	20,19	57,69	6,21	59,88	239	411	350	1,17	Nitossolo
PERFIL 5 A2	10 - 22	31,00	53,44	4,50	8,00	2,40	3,60	0,04	6,04	2,80	5,90	8,70	14,74	38,79	31,67	40,98	220	400	380	1,05	
PERFIL 5 AB	22 - 41	25,00	43,10	4,80	4,50	1,10	2,10	0,04	3,24	3,40	6,30	9,70	12,94	23,96	51,20	25,04	206	254	540	0,47	
PERFIL 5 BA	41 - 59	19,00	32,76	5,00	4,50	0,40	1,20	0,05	1,65	2,70	8,00	10,70	12,35	22,45	62,07	13,36	191	259	550	0,47	
PERFIL 5 Bt	59 - 120+	12,00	20,69	5,20	2,50	1,50	2,10	0,03	3,63	3,00	5,40	8,40	12,03	22,28	45,25	30,17	186	274	540	0,50	
PERFIL 6 A1	0 - 30	17,00	29,31	5,30	10,70	2,00	1,90	0,46	4,36	2,20	12,10	14,30	18,66	33,32	33,54	23,37	104	336	560	0,60	Neossolo
PERFIL 6 A2	30 - 42	19,00	32,76	5,40	6,00	0,70	1,80	0,26	2,76	2,20	10,60	12,80	15,56	31,82	44,35	17,74	105	406	489	0,83	
PERFIL 7 A1	0 - 15	26,00	44,82	5,00	10,40	4,60	2,50	0,45	7,55	0,80	9,10	9,90	17,45	35,18	9,58	43,27	122	382	496	0,77	Nitossolo
PERFIL 7 A2	15 - 40	21,00	36,20	4,80	10,70	0,80	1,70	0,34	2,84	3,50	8,20	11,70	14,54	27,85	55,21	19,53	69	409	522	0,78	
PERFIL 7 Bt1	40 - 61	16,00	27,58	5,20	4,60	1,50	2,70	0,02	4,22	1,40	7,10	8,50	12,72	25,59	24,91	33,18	102	401	497	0,81	
PERFIL 7 Bt2	61 - 70	8,00	13,79	5,20	3,60	0,20	1,40	0,02	1,62	2,10	7,80	9,90	11,52	20,39	56,45	14,06	76	359	565	0,64	
PERFIL 7 Bt3	70 - 120+	4,00	6,90	5,70	3,50	0,40	1,40	0,02	1,82	4,10	4,40	8,50	10,32	16,89	69,26	17,64	68	321	611	0,53	
PERFIL 8 A	0 - 11	27,00	46,55	5,40	7,70	4,50	3,90	0,27	8,67	0,90	13,30	14,20	22,87	48,66	9,40	37,91	148	382	470	0,81	Cambissolo
PERFIL 8 AB	11 - 20	27,00	46,55	5,30	5,90	2,50	2,60	0,05	5,15	1,30	10,80	12,10	17,25	32,06	20,16	29,86	96	366	538	0,68	
PERFIL 8 BA	20 - 47	26,00	44,82	5,20	4,30	2,70	1,80	0,06	4,56	1,40	10,30	11,70	16,26	31,21	23,49	28,04	103	376	521	0,72	
PERFIL 8 Bi	47 - 77	19,00	32,76	5,10	4,30	1,60	1,40	0,04	3,04	1,50	8,20	9,70	12,74	24,04	33,04	23,86	113	357	530	0,67	

Dados das análises pedofísicoquímicas das amostras de solo de São Joaquim (continuação).

PERFIL 8 BC	77 - 95+	12,00	20,69	5,40	3,50	0,90	1,20	0,02	2,12	1,80	5,70	7,50	9,62	17,75	45,92	22,04	113	345	542	0,64	
PERFIL 9 A1	0 - 17	11,00	18,96	5,10	3,60	4,90	4,20	0,06	9,16	1,60	3,80	5,40	14,56	32,14	14,87	62,91	147	400	453	0,88	Cambissolo
PERFIL 9 A2	17 - 34	8,00	13,79	5,30	3,30	2,60	2,20	0,03	4,83	4,00	3,39	7,39	12,22	27,04	45,30	39,53	170	378	452	0,84	
PERFIL 9 AB	34 - 47	10,00	17,24	5,20	4,90	2,30	2,00	0,02	4,32	4,30	12,98	17,28	21,60	45,47	49,88	20,00	123	402	475	0,85	
PERFIL 9 BA	47 - 61	13,00	22,41	5,00	4,00	1,50	0,90	0,02	2,42	5,00	16,15	21,15	23,57	42,09	67,39	10,27	116	324	560	0,58	
PERFIL 9 Bi1	61 - 96	9,00	15,52	5,20	4,60	1,90	1,60	0,02	3,52	5,00	7,14	12,14	15,66	28,63	58,69	22,48	103	350	547	0,64	
PERFIL 9 Bi2	96 - 126+	9,00	15,52	5,00	3,60	1,60	1,10	0,02	2,72	5,30	13,13	18,43	21,15	42,81	66,08	12,86	127	379	494	0,77	
PERFIL 10 A	0 - 20	39,00	67,24	5,00	8,10	3,20	2,00	0,05	5,25	1,80	1,76	3,56	8,81	20,07	25,53	59,59	258	303	439	0,69	Cambissolo
PERFIL 10 AB	20 - 31	35,00	60,34	5,00	4,30	1,60	0,80	0,02	2,42	4,30	1,97	6,27	8,69	18,37	63,99	27,85	220	307	473	0,65	
PERFIL 10 BA	31 - 42	30,00	51,72	5,20	3,40	1,10	0,40	0,02	1,52	5,00	3,93	8,93	10,45	20,13	76,69	14,55	172	309	519	0,59	
PERFIL 10 Bi1	42 - 69	19,00	32,76	5,20	3,40	1,00	3,00	0,02	4,02	5,30	10,56	15,86	19,88	36,15	56,87	20,22	152	298	550	0,54	
PERFIL 10 Bi2	69 - 101+	8,00	13,79	4,90	2,50	1,10	0,50	0,02	1,62	5,90	14,56	20,46	22,08	49,07	78,46	7,34	155	395	450	0,88	
PERFIL 11 A	0 - 12	33,00	56,89	5,30	8,90	3,50	3,30	0,25	7,05	2,60	9,10	11,70	18,75	58,05	26,94	37,60	173	504	323	1,56	Cambissolo
PERFIL 11 AB	12 - 20	28,00	48,27	5,40	5,00	2,20	1,90	0,05	4,15	3,30	6,10	9,40	13,55	35,85	44,30	30,63	179	443	378	1,17	
PERFIL 11 BA	20 - 31	24,00	41,38	5,50	5,10	1,90	1,30	0,04	3,24	3,40	5,50	8,90	12,14	27,72	51,20	26,69	155	407	438	0,93	
PERFIL 11 Bi	31 - 51	17,00	29,31	5,30	4,30	1,30	1,20	0,03	2,53	3,20	6,60	9,80	12,33	27,28	55,85	20,52	155	393	452	0,87	
PERFIL 12 A1	0 - 10	30,00	51,72	5,10	14,60	4,80	2,70	0,08	7,58	0,60	7,10	7,70	15,28	50,43	7,33	49,61	257	440	303	1,45	Cambissolo
PERFIL 12 A2	10 - 31	20,00	34,48	5,00	6,80	2,70	1,30	0,06	4,06	2,50	3,20	5,70	9,76	25,03	38,11	41,60	215	395	390	1,01	
PERFIL 12 AB	31 - 42	22,00	37,93	4,80	6,90	2,10	0,90	0,03	3,03	3,00	4,40	7,40	10,43	21,73	49,75	29,05	155	365	480	0,76	
PERFIL 12 BA	42 - 61	21,00	36,20	4,80	4,10	1,60	0,70	0,02	2,32	3,50	3,80	7,30	9,62	18,86	60,14	24,12	159	331	510	0,65	
PERFIL 12 Bi	61 - 90	16,00	27,58	5,00	3,20	1,20	0,60	0,02	1,82	3,80	2,00	5,80	7,62	15,24	67,62	23,88	146	354	500	0,71	
PERFIL 13 A	0 - 10	28,00	48,27	5,50	4,50	4,20	2,40	0,06	6,66	0,00	3,09	3,09	9,75	24,38	0,00	68,31	258	342	400	0,86	Cambissolo
PERFIL 13 AB	10 - 21	29,00	50,00	5,10	3,70	2,80	1,70	0,03	4,53	1,60	3,20	4,80	9,33	23,33	26,10	48,55	195	405	400	1,01	
PERFIL 13 BA	21 - 32	30,00	51,72	5,00	3,50	2,10	1,30	0,02	3,42	2,10	3,59	5,69	9,11	23,36	38,04	37,54	128	482	390	1,23	
PERFIL 13 Bi1	32 - 62	27,00	46,55	5,20	3,80	1,20	0,80	0,02	2,02	2,90	2,95	5,85	7,87	15,43	58,94	25,67	153	337	510	0,66	
PERFIL 13 Bi2	62 - 90	20,00	34,48	5,20	3,20	0,90	0,30	0,02	1,22	3,10	2,88	5,98	7,20	12,63	71,76	16,94	139	291	570	0,51	
PERFIL 13 Bi3	90+	14,00	24,14	4,80	2,90	0,80	0,30	0,02	1,12	3,80	2,54	6,34	7,46	13,09	77,24	15,01	133	297	570	0,52	
PERFIL 14 A	0 - 7	39,00	67,24	5,50	8,60	5,10	1,30	0,25	6,65	0,90	12,00	12,90	19,55	61,48	11,92	34,02	116	566	318	1,78	Cambissolo
PERFIL 14 AB	7 - 18	24,00	41,38	5,00	4,30	3,30	1,00	0,06	4,36	1,30	9,00	10,30	14,66	36,56	22,97	29,74	140	459	401	1,14	
PERFIL 14 BA	18 - 34	16,00	27,58	5,10	4,50	2,10	0,90	0,02	3,02	1,90	8,70	10,60	13,62	27,40	38,62	22,17	96	407	497	0,82	
PERFIL 14 Bi1	34 - 51	17,00	29,31	5,60	5,20	1,60	1,00	0,02	2,62	2,40	5,80	8,20	10,82	25,28	47,81	24,21	113	459	428	1,07	
PERFIL 14 BC	51 - 76+	12,00	20,69	5,50	3,80	1,20	0,90	0,02	2,12	2,70	5,30	8,00	10,12	21,62	56,02	20,95	114	418	468	0,89	
PERFIL 15 A	0 - 12	25,00	43,10	6,50	6,80	4,80	3,40	0,15	8,35	0,00	1,72	1,72	10,07	43,78	0,00	82,92	370	400	230	1,74	Cambissolo
PERFIL 15 AB	12 - 34	19,00	32,76	5,10	4,20	3,90	2,40	0,07	6,37	0,50	4,41	4,91	11,28	35,25	7,28	56,47	337	343	320	1,07	
PERFIL 15 BA	34 - 53	13,00	22,41	5,50	3,90	1,70	1,60	0,03	3,33	0,80	4,16	4,96	8,29	24,38	19,37	40,17	245	415	340	1,22	
PERFIL 15 Bi1	53 - 82	6,00	10,34	5,90	3,90	2,50	1,00	0,02	3,52	1,20	4,54	5,74	9,26	29,87	25,42	38,01	197	493	310	1,59	

Dados das análises pedofísicoquímicas das amostras de solo de São Joaquim (continuação).

PERFIL 15 Bi2	82 - 118+	9,00	15,52	5,80	3,80	2,00	1,30	0,02	3,32	2,30	3,35	5,65	8,97	25,63	40,93	37,01	204	446	350	1,27	
PERFIL 16 A	0 - 10	21,00	36,20	5,20	7,70	5,80	5,70	0,47	11,97	0,50	9,20	9,70	21,67	47,42	4,01	55,24	111	432	457	0,95	Cambissolo
PERFIL 16 AB	10 - 31	22,00	37,93	5,00	4,50	2,90	2,80	0,10	5,80	1,60	8,40	10,00	15,80	33,26	21,62	36,71	48	477	475	1,00	
PERFIL 16 BA	31 - 52	18,00	31,03	4,80	5,10	1,40	1,60	0,05	3,05	2,80	6,70	9,50	12,55	23,72	47,86	24,30	120	351	529	0,66	
PERFIL 16 Bi1	52 - 79	10,00	17,24	5,00	4,30	1,20	1,40	0,05	2,65	2,90	5,90	8,80	11,45	26,08	52,25	23,14	87	474	439	1,08	
PERFIL 16 Bi2	79 - 103+	10,00	17,24	4,90	3,50	1,40	2,00	0,04	3,44	2,30	6,80	9,10	12,54	23,40	40,07	27,43	100	364	536	0,68	
PERFIL 17 A	0 - 13	24,00	41,38	5,10	9,30	2,60	3,00	0,36	5,96	1,20	10,20	11,40	17,36	41,63	16,76	34,33	105	478	417	1,15	Cambissolo
PERFIL 17 AB	13 - 29	23,00	39,65	5,10	5,90	1,40	1,00	0,10	2,50	2,10	8,80	10,90	13,40	29,26	45,65	18,66	46	496	458	1,08	
PERFIL 17 BA	29 - 48	17,00	29,31	5,00	5,20	0,70	1,30	0,04	2,04	2,50	8,50	11,00	13,04	26,34	55,07	15,64	93	412	495	0,83	
PERFIL 17 Bi1	48 - 81	12,00	20,69	5,20	3,50	0,50	1,60	0,03	2,13	3,10	6,20	9,30	11,43	24,01	59,27	18,64	93	431	476	0,91	
PERFIL 17 Bi2	81 - 110+	10,00	17,24	5,00	2,80	0,90	1,30	0,02	2,22	3,50	6,00	9,50	11,72	20,93	61,19	18,94	80	360	560	0,64	
PERFIL 18 A	0 - 6	35,00	60,34	5,20	7,00	5,50	5,30	0,13	10,93	0,50	11,40	11,90	22,83	49,42	4,37	47,88	91	447	462	0,97	Nitossolo
PERFIL 18 AB	6 - 27	27,00	46,55	5,10	6,20	2,10	2,00	0,03	4,13	1,50	10,30	11,80	15,93	40,64	26,64	25,93	102	506	392	1,29	
PERFIL 18 Bt	57 - 87	10,00	17,24	5,60	7,80	2,20	3,70	0,02	5,92	1,20	5,20	6,40	12,32	23,38	16,85	48,05	62	411	527	0,78	
PERFIL 18 BC	87 - 106+	4,00	6,90	5,40	4,30	8,20	4,70	0,02	12,92	0,30	4,90	5,20	18,12	33,87	2,27	71,30	62	403	535	0,75	
PERFIL 19 A1	0 - 14	35,00	60,34	5,50	8,70	4,40	4,60	0,17	9,17	0,60	3,80	4,40	13,57	30,09	6,14	67,58	98	451	451	1,00	Cambissolo
PERFIL 19 A2	14 - 32	29,00	50,00	5,90	9,10	3,80	2,60	0,14	6,54	0,40	7,60	8,00	14,54	29,20	5,76	44,98	107	395	498	0,79	
PERFIL 19 BA	32 - 48	23,00	39,65	6,00	3,50	2,20	1,70	0,04	3,94	1,30	6,00	7,30	11,24	19,82	24,81	35,05	45	385	567	0,68	
PERFIL 19 Bi	48 - 90+	6,00	10,34	6,10	3,60	1,80	2,10	0,01	3,91	1,10	4,10	5,20	9,11	16,12	21,96	42,92	41	394	565	0,70	
PERFIL 21 A	0 - 19	24,00	41,38	4,50	13,10	3,20	2,20	0,10	5,50	2,50	9,85	12,35	17,85	54,09	31,25	30,81	259	411	330	1,25	Cambissolo
PERFIL 21 AB	19 - 34	28,00	48,27	4,70	9,60	3,80	1,90	0,07	5,77	2,90	7,31	10,21	15,98	44,39	33,45	36,11	257	383	360	1,06	
PERFIL 21 BA	34 - 50	6,00	10,34	4,80	4,70	0,70	0,40	0,04	1,14	4,40	15,78	20,18	21,32	45,36	79,42	5,35	234	296	470	0,63	
PERFIL 21 Bi1	50 - 82	5,00	8,62	4,80	3,30	0,60	0,10	0,02	0,72	5,00	10,44	15,44	16,16	38,48	87,41	4,46	231	349	420	0,83	
PERFIL 21 Bi2	82 - 117+	4,00	6,90	4,60	3,60	0,20	1,00	0,02	1,22	5,30	12,53	17,83	19,05	36,63	81,29	6,40	223	257	520	0,49	
PSJ03A-A	0 - 10	30,34	52,30	5,23	2,70	10,00	3,00	0,42	13,42	0,00	2,26	2,26	15,68	26,58	0,00	85,59	135	275	590	0,47	Nitossolo
PSJ03A-BA1	10 - 20	19,43	33,50	5,44	0,70	5,40	2,00	0,10	7,50	0,00	3,42	3,42	10,92	17,61	0,00	68,68	113	267	620	0,43	
PSJ03A-BA2	20 - 35	14,79	25,50	5,38	0,30	2,20	1,70	0,07	3,97	0,90	5,79	6,69	10,66	15,68	18,48	37,24	74	246	680	0,36	
PSJ03A-B1	35 - 60	10,09	17,40	5,53	0,30	2,70	2,00	0,06	4,76	0,70	5,51	6,21	10,97	15,24	12,82	43,39	61	219	720	0,30	
PSJ03A-B2	60+	4,64	8,00	5,34	1,30	3,40	2,60	0,05	6,05	0,10	4,51	4,61	10,66	14,60	1,63	56,75	58	212	730	0,29	
PSJ04A-A1	5 - 15	27,96	48,20	5,16	1,60	3,80	2,50	0,19	6,49	1,00	8,70	9,70	16,19	28,91	13,35	40,09	118	322	560	0,58	Cambissolo
PSJ04A-A2	15 - 25	21,00	36,20	5,04	0,70	2,40	1,60	0,12	4,12	1,50	8,95	10,45	14,57	24,69	26,69	28,28	103	307	590	0,52	
PSJ04A-AB	25 - 37	14,79	25,50	5,08	0,30	1,80	1,60	0,12	3,52	1,80	7,90	9,70	13,22	20,98	33,83	26,63	99	271	630	0,43	
PSJ04A-Bi	37+	10,90	18,80	5,07	0,30	1,70	0,80	0,07	2,57	2,65	7,80	10,45	13,02	19,43	50,77	19,74	84	246	670	0,37	
PSJ07A-A1	5 - 20	38,11	65,70	4,53	10,10	0,30	0,70	0,17	1,17	5,55	7,67	13,22	14,39	22,84	82,59	8,13	152	218	630	0,35	Neossolo
PSJ07A-A2	20 - 35	31,09	53,60	4,42	2,70	0,20	0,40	0,10	0,70	5,35	19,17	24,52	25,22	38,80	88,43	2,78	144	206	650	0,32	
PSJ07A-A3	35 - 95	23,32	40,20	4,59	1,30	0,20	0,40	0,06	0,66	4,90	14,06	18,96	19,62	30,66	88,13	3,36	158	202	640	0,32	

Dados das análises pedofísicoquímicas das amostras de solo de São Joaquim (continuação).

PSJ09A-A	0 - 5	38,86	67,00	4,72	1,00	1,70	1,60	0,14	3,44	2,45	11,99	14,44	17,88	26,69	41,60	19,24	122	208	670	0,31	Cambissolo
PSJ09A-AB	5 - 20	24,07	41,50	4,33	0,30	0,90	1,00	0,08	1,98	2,55	9,58	12,13	14,11	20,16	56,29	14,03	97	203	700	0,29	
PSJ09A-BA	20 - 45	15,55	26,80	4,93	0,30	0,60	0,80	0,05	1,45	3,45	9,61	13,06	14,51	20,15	70,41	9,99	96	184	720	0,26	
PSJ09A-Bi	45 - 70	9,34	16,10	5,19	0,30	0,60	0,90	0,05	1,55	5,65	9,51	15,16	16,71	22,89	78,47	9,28	63	207	730	0,28	
PSJ11A-Ap	0 - 5	35,73	61,60	4,65	10,90	3,00	2,40	0,66	6,06	1,95	15,28	17,23	23,29	39,47	24,34	26,02	196	214	590	0,36	Neossolo
PSJ11A-A1	5 - 17	28,77	49,60	4,52	5,60	0,70	1,00	0,23	1,93	4,45	10,71	15,16	17,09	29,98	69,75	11,29	201	229	570	0,40	
PSJ11A-A2	17 - 27	28,77	49,60	4,49	3,00	0,50	0,60	0,17	1,27	3,35	11,81	15,16	16,43	27,85	72,51	7,73	207	203	590	0,34	
PSJ15A-A1	0 - 5	30,16	52,00	4,80	1,70	1,50	1,30	0,30	3,10	5,30	12,60	17,90	21,00	50,25	63,08	14,77	243	339	418	0,81	Neossolo
PSJ15A-A2	5 - 15	28,42	49,00	4,70	0,80	0,90	0,90	0,19	1,99	5,50	15,80	21,30	23,29	51,53	73,43	8,55	234	314	452	0,69	
PSJ16A-A1	0 - 10	33,64	58,00	5,50	1,00	5,20	3,10	0,42	8,72	0,00	4,00	4,00	12,72	53,66	0,00	68,54	467	296	237	1,25	Neossolo
PSJ16A-A2	10 - 15	25,52	44,00	5,30	1,00	4,80	2,60	0,23	7,63	0,40	4,90	5,30	12,93	47,70	4,98	59,00	367	362	271	1,34	
PSJ16A-AC	15 - 30	24,36	42,00	5,20	1,00	4,40	2,30	0,15	6,85	0,60	7,70	8,30	15,15	58,28	8,05	45,22	352	388	260	1,49	
PSJ16A-Cr	30+	17,40	30,00	5,40	1,00	4,30	2,90	0,08	7,28	0,10	5,20	5,30	12,58	42,78	1,36	57,86	301	405	294	1,38	
P2 A1	0 - 5	56,40	97,24	5,90	1,00	4,80	3,00	0,30	8,10	0,20	5,50	5,70	13,80	55,14	2,41	58,70	198	552	250	2,20	Neossolo
P2 A2	5 - 20	49,44	85,24	5,30	1,00	3,80	2,20	0,17	6,17	0,90	10,20	11,10	17,27	59,17	12,74	35,71	115	593	292	2,03	
P2 CR	20+	17,98	31,00	5,10	1,00	0,90	0,80	0,07	1,77	7,60	16,30	23,90	25,67	73,33	81,14	6,88	191	459	350	1,31	
P3 A1	0 - 10	45,24	78,00	5,00	1,00	2,80	1,60	0,21	4,61	3,30	18,00	21,30	25,91	58,46	41,74	17,78	54	503	443	1,14	Nitossolo
P3 A2	10 - 24	31,32	54,00	5,00	0,90	0,80	0,50	0,08	1,38	0,80	10,40	11,20	12,58	23,80	36,66	10,98	42	430	529	0,81	
P3 AB	24 - 42	23,78	41,00	4,90	0,80	0,70	0,50	0,06	1,26	1,30	13,30	14,60	15,86	32,11	50,79	7,94	27	479	494	0,97	
P3 BA	42 - 53	20,88	36,00	4,50	1,00	0,60	0,40	0,04	1,04	4,40	23,00	27,40	28,44	43,29	80,95	3,64	28	315	657	0,48	
P3 Bt1	53 - 70	11,02	19,00	5,10	0,80	0,60	0,40	0,03	1,03	0,90	13,70	14,60	15,63	25,26	46,64	6,59	33	348	619	0,56	
P3 Bt2	70 - 100	6,38	11,00	5,60	1,00	0,50	0,40	0,03	0,93	0,00	11,30	11,30	12,23	26,23	0,00	7,57	37	497	466	1,07	
P3 C	100 - 120	3,48	6,00	5,80	0,90	0,40	0,50	0,03	0,93	0,00	22,50	22,50	23,43	70,10	0,00	3,95	64	602	334	1,80	
P3 CR	120 - 140+	2,32	4,00	5,30	0,70	0,30	0,50	0,03	0,83	9,30	32,60	41,90	42,73	-	91,85	1,93	-	-	-	-	
P4 A1	0 - 10	40,80	70,34	5,40	1,00	5,90	4,40	0,25	10,55	1,10	7,60	8,70	19,25	51,20	9,44	54,81	81	543	376	1,44	Nitossolo
P4 A2	10 - 20	27,70	47,75	5,30	1,00	2,60	1,90	0,14	4,64	2,90	12,70	15,60	20,24	49,26	38,46	22,93	49	540	411	1,31	
P4 A3	20 - 30	23,20	40,00	5,30	1,00	0,60	0,80	0,03	1,43	4,80	22,30	27,10	28,53	54,49	77,01	5,02	69	408	524	0,78	
P4 BA	30 - 45	22,04	38,00	5,10	0,80	0,90	1,10	0,04	2,04	4,50	17,30	21,80	23,84	49,69	68,83	8,55	61	459	480	0,96	
P4 Bt	45 - 80	19,70	33,96	5,00	0,90	1,60	1,40	0,09	3,09	4,50	14,50	19,00	22,09	50,86	59,27	14,00	35	531	434	1,22	
P4 BC	80 - 89	7,54	13,00	5,00	0,80	0,30	0,60	0,05	0,95	4,90	13,80	18,70	19,65	58,94	83,72	4,85	25	642	333	1,92	
P4 C1	89 - 121	5,80	10,00	5,10	0,80	0,20	0,50	0,05	0,75	6,60	20,80	27,40	28,15	61,75	89,76	2,67	28	516	456	1,13	
P4 Cr	121 - 140+	4,06	7,00	5,20	0,90	0,10	0,50	0,05	0,65	5,40	15,60	21,00	21,65	102,17	89,21	3,01	43	745	212	3,52	
P5 A1	0 - 19	41,76	72,00	4,60	1,00	0,30	0,60	0,20	1,10	6,80	13,50	20,30	21,40	49,10	86,05	5,15	89	475	436	1,09	Cambissolo
P5 A2	19 - 37	32,48	56,00	4,60	1,00	0,20	0,50	0,08	0,78	6,20	12,50	18,70	19,48	39,89	88,88	3,98	81	431	488	0,88	
P5 AB	37 - 50	19,72	34,00	4,60	0,70	0,20	0,40	0,04	0,64	6,50	15,50	22,00	22,64	39,60	91,02	2,83	83	345	572	0,60	
P5 BA	50 - 64	13,34	23,00	4,80	0,80	0,20	0,50	0,03	0,73	6,70	12,00	18,70	19,43	34,59	90,18	3,76	83	355	562	0,63	

Dados das análises pedofísicoquímicas das amostras de solo de São Joaquim (continuação).

P5 Bi	64 - 78	8,12	14,00	4,70	0,80	0,20	0,40	0,03	0,63	7,20	16,10	23,30	23,93	42,28	91,96	2,63	86	348	566	0,61	
P5 BC	78 - 90	6,38	11,00	4,60	0,70	0,20	0,40	0,04	0,64	7,50	10,05	17,55	18,19	33,37	92,16	3,51	98	357	545	0,66	
P5 Cr	90+	4,64	8,00	4,60	0,90	0,20	0,40	0,04	0,64	5,80	11,70	17,50	18,14	51,84	90,03	3,54	290	360	350	1,03	
P6 O1	0 - 9	82,88	142,89	4,50	3,40	2,50	2,00	0,75	5,25	1,90	17,30	19,20	24,45	71,90	26,58	21,46	101	559	340	1,64	Organossolo
P6 O2	9 - 30	81,78	140,99	4,70	0,80	0,90	0,90	0,36	2,16	5,70	20,50	26,20	28,36	97,63	72,51	7,62	68	641	291	2,21	
P6 A	30 - 44	50,05	86,29	4,70	0,80	0,70	0,80	0,22	1,72	7,00	18,60	25,60	27,32	51,55	80,28	6,29	86	384	530	0,72	
P7 A1	0 - 19	26,10	45,00	4,60	0,90	1,50	0,90	0,36	2,76	4,50	9,70	14,20	16,96	33,54	61,95	16,29	130	364	506	0,72	Neossolo
P7 A2	19 - 35	29,00	50,00	4,70	1,00	0,40	0,50	0,11	1,01	5,90	12,20	18,10	19,11	36,83	85,39	5,28	126	355	519	0,68	
P7 A3	35 - 46	25,52	44,00	4,50	1,00	0,30	0,50	0,09	0,89	6,00	17,30	23,30	24,19	45,48	87,09	3,68	123	345	532	0,65	

Fonte: dados do presente trabalho, Santos (2016) e Dortzbach (2016).