

UFRRJ
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO

TESE

**Caracterização dos Solos e Avaliação da Aptidão
Agrícola das Regiões Produtoras de Vinhos Finos de
Altitude de Santa Catarina**

Denilson Dortzbach

2016



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO**

**CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS E AVALIAÇÃO DA APTIDÃO
AGRÍCOLA DAS REGIÕES PRODUTORAS DE VINHOS FINOS DE
ALTITUDE DE SANTA CATARINA**

DENILSON DORTZBACH

Sob a Orientação do Professor

Marcos Gervasio Pereira

e Co-orientação dos Pesquisadores

Éverton Blaisnki

e

Antonio Páz González

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor**, no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Ciência do Solo

Seropédica, RJ
Junho de 2016

631.498164

D719c

T

Dortzbach, Denilson, 1971-

Caracterização dos solos e avaliação da aptidão agrícola das regiões produtoras de vinhos finos de altitude de Santa Catarina / Denilson Dortzbach. – 2016.

192 f.: il. + 1 CD-ROM

Orientador: Marcos Gervasio Pereira.

Tese (doutorado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo, 2016.

Bibliografia: f. 170-191.

1. Solos – Santa Catarina - Teses. 2. Química do solo – Santa Catarina - Teses. 3. Física do solo – Santa Catarina - Teses. 4. Humus – Santa Catarina – Teses. 5. Solos – Formação - Santa Catarina – Teses. 6. Fertilidade do solo - Santa Catarina – Teses. 7. Uva – Cultivo – Santa Catarina – Teses. I. Pereira, Marcos Gervasio, 1965- II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo. III. Título.

É permitida a cópia parcial ou total desta Tese, desde que seja citada a fonte.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA - CIÊNCIA DO SOLO

DENILSON DORTZBACH

Tese submetida ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia - Ciência do Solo, área de Concentração em Ciência do Solo, como requisito parcial para a obtenção do grau de **Doutor** em Agronomia.

TESE APROVADA EM 02/06/2016

Marcos Gervasio Pereira. Dr. UFRRJ
Orientador

Elaine Cristina Cardoso Fidalgo. Dra. Embrapa Solos

Lucia Raquel Queiroz Pereira da Luz. Dra. Embrapa Solos

Lúcia Helena Cunha dos Anjos. Ph.D. UFRRJ

Everaldo Zonta. Dr. UFRRJ

À minha família, principalmente ao meu pai Freno (*in memorium*), à minha mãe Ivone, aos meus filhos Vitor e Taís e aos meus companheiros e amigos sempre presentes César e Willian.

AGRADECIMENTOS

A toda minha família, em especial aos meus pais e filhos, pelo apoio, amor, confiança, união, honra, dignidade, responsabilidade, luta e perseverança. Aos amigos, pelas palavras de apoio e compreensão pela minha ausência. Aos meus companheiros, parceiros, amigos, irmãos Willian Anderson Martins da Silva e César Augusto Bedin.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Agronomia-Ciência do Solo (CPGA-CS), em especial ao meu orientador e amigo Marcos Gervasio Pereira, pelo exemplo de profissionalismo, amizade, confiança, e incentivo que muito contribuíram para minha formação.

À Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri) e Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina (Ciram) que possibilitaram o uso de informações para o desenvolvimento desta pesquisa, em especial à Diretoria de Pesquisa da Epagri, Chefia da Epagri/Ciram, os quais sempre apoiaram e incentivaram no desenvolvimento dos trabalhos.

Ao meu co-orientador Dr. Everton Blainski que sempre me apoiou e ajudou e ao meu colega Dr. Luis Fernando de Novaes Vianna pelo apoio com o projeto aprovado na Fapesc que possibilitou a realização deste estudo.

A Fapesc pelo apoio e fomento à pesquisa.

À Universidade da Coruña, em especial ao meu co-orientador Antonio Paz González e Rosane da Silva Dias e à minha "madrinha" Dra Lucia Raquel Queiroz Pereira da Luz.

Aos professores do CPGA-CS e funcionários do Departamento de Solos, pela amizade, formação e conhecimentos. À professora Lúcia Helena Cunha dos Anjos, pela orientação, amizade e pelos ensinamentos.

Aos colegas Departamento de Solos, em especial, aos do Laboratório de Gênese e Classificação de Solos. Aos amigos Shirlei A. Assunção e Eduardo de C. Silva Neto, pela ajuda nas análises. Aos Laboratoristas da Epagri Chapecó e Campos Novos.

Aos colegas da Epagri Valci F. Vieira e Yara M. A. Chanin pelas coletas a campo. Aos demais colegas de trabalho, pelo apoio e estímulo, especialmente aos colegas e amigos José A. Laus Neto, Ivan L. Z. Bacic, Mara C. Benez, Elisangela B. da Silva, Iria S. Araújo e Miton da Veiga.

A Capes pela concessão da bolsa (PSDE) e pela possibilidade de realização do doutorado sanduíche na Espanha.

A todos que contribuíram para a realização deste trabalho e pelos bons momentos.

BIOGRAFIA

Denilson Dortzbach, nascido em 17 de setembro de 1971 em São Carlos, estado de Santa Catarina, filho de Freno e Ivone Dortzbach. Ingressou na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) no primeiro semestre do ano de 2001 para o curso de Agronomia, onde se graduou em agosto de 2005. Foi estagiário do laboratório de Fitotecnia da UFSC no período de junho de 2001 a junho de 2003. Após o mês junho de 2003, estagiou no setor de Ordenamento Ambiental, do Centro de Informações de Recursos Ambientais e Hidrometeorologia (Ciram), da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri). Em agosto de 2005, como Engenheiro Agrônomo, prestou serviços na Epagri/Ciram. Ingressou no curso de Pós-Graduação em Agroecossistemas (UFSC), obtendo o título de Mestre em Agroecossistemas em 2009. Após ter sido aprovado em concurso público na Epagri, em julho de 2008, tomou posse no cargo de Engenheiro Agrônomo, na função de Agente de formação superior I (Pesquisador), junto ao Ciram. Em maio de 2015, defendeu a tese de doutorado na Universidade da Coruña na Espanha, sob o título *Dinâmica da paisagem e alterações dos atributos do solo em uma bacia hidrográfica na região Sul do Brasil*, obtendo o título de Doutor em Ciencia e Tecnologia Ambiental.

RESUMO GERAL

DORTZBACH, Denilson. **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.

Os solos das regiões produtoras de vinhos finos de altitude do estado de Santa Catarina apresentam características particulares decorrentes da sua litologia e dos elevados teores de matéria orgânica, que os diferenciam dos solos das grandes regiões produtoras de vinho do mundo. O estudo foi realizado nas regiões do meio oeste e serrana de Santa Catarina, abrangendo mais de 80 % das propriedades, onde foram realizadas descrições e coletas de 38 perfis modais e em vinhedos espalhados em 45 propriedades rurais. Os objetivos foram: a) caracterizar a distribuição e a interação dos fatores de formação dos solos e a taxa de intemperismo químico; b) avaliar e quantificar os teores de carbono, frações húmicas nos perfis e o $\delta^{13}\text{C}$ em horizontes superficiais de Cambissolos; c) caracterizar física e quimicamente os solos dos vinhedos; e d) avaliar a aptidão agrícola através dos diferentes métodos, com posterior adaptação do Sistema de Avaliação Agrícola das Terras, para a cultura da videira, além de formular proposta de zoneamento para a vitivinicultura do estado. Os resultados indicam que a pedogênese dos solos foi fortemente influenciada pelos fatores material de origem, clima e relevo. A análise do agrupamento separou pela similaridade os perfis de solo em três grupos distintos. Predominam as classes de Cambissolos e Nitossolos. As substâncias húmicas permitiram discriminar as ordens taxonômicas de solos e o $\delta^{13}\text{C}$ revelando pouca alteração na assinatura isotópica nos solos com horizonte A húmico. Nos solos com A moderado foram observadas alterações decorrentes de mudanças nas coberturas (plantas C_3 ou C_4). As áreas dos vinhedos apresentam atributos químicos similares, podendo ser agrupadas em uma região única para eventual determinação de Indicação Geográfica. Quanto à aptidão agrícola, à avaliação através de métodos usuais na literatura resultou em classes que indicam baixa aptidão para culturas anuais. Diante disto, foi proposta adaptação do sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras, para a cultura da videira, considerando condições específicas de altitude no estado de SC e associada à elaboração de uma proposta de zoneamento para a implantação de novos vinhedos.

Palavras-chave: Pedogênese. Matéria orgânica. Viticultura. Zoneamento.

GENERAL ABSTRACT

DORTZBACH, Denilson. **Soil characterization and evaluation of agricultural potential of the regions producing fine wines in Santa Catarina altitude**. 2016. 192p. Thesis (Doctor Science in Agronomy - Soil Science). Instituto de Agronomia, Departamento de Solos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2016.

The soils of fine wines producing regions of Santa Catarina State, has particular altitude characteristics resulting from its lithology and high levels of organic matter. That differentiate the soil of the major producing regions of the world wine. The study was conducted in the regions of west and mountain through Santa Catarina, covering over 80 % of the properties where descriptions and collections of 38 modal profiles and vineyards spread over 45 farms were carried out. The objectives were: a) To characterize the distribution and interaction of soil formation factors and chemical weathering rates; b) evaluate and quantify the carbon, humic fractions in the profiles and $\delta^{13}\text{C}$ in surface horizons of Cambisols; c) To characterize physical and chemically soils of the vineyards; d) To evaluate the agricultural potential through different methods, with subsequent adaptation of the System for Agricultural Assessment of land for the grape culture in addition to formulating a proposal for zoning for the wine industry of the state. The results indicate that pedogenetic soil was strongly influenced by the source material, weather and terrain. Cluster analysis separated by the similarity the soil profiles in three different groups. Predominate classes Cambisols and Nitossols. Humic substances allowed to discriminate the taxonomic orders of soil and showed $\delta^{13}\text{C}$ in soil with the humic, little change in isotopic signature, and soils with moderate. The observed changes were derived from C_3 and C_4 plants crops. The vineyards have similar chemical properties, and thus can be grouped in a single region for a determination of Geographical Indication. As for agricultural suitability evaluating different methods indicated that the evaluated profiles have low agricultural aptitude for annual crops. Therefore, it was proposed an adaptation of the evaluation system of agricultural suitability of the land for the growing of vines, taking into account specific conditions of altitude in the SC state. Allied to this, the drafting of the zoning proposal is an important tool for the implementation of new vineyards.

Keywords: Pedogenesis. Organic matter. Viticulture. Zoning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Municípios produtores de vinhos de altitude no estado de Santa Catarina.....	4
Figura 2. Regiões de altitude do estado de Santa Catarina e a distribuição dos perfis de solos coletados.	18
Figura 3. Dendrograma de similaridade dos perfis de solo (Regiões: I – 1 a 4; II – 5 a 21; III – 22 a 34; IV – 35 a 38) avaliados nas diferentes regiões de altitude do estado de SC.....	28
Figura 4. Dispersão dos coeficientes canônicos das variáveis estudadas em relação às classes de solos no horizonte B.....	29
Figura 5. Diagrama de análise multivariada nos eixos canônicos para elementos químicos de rochas das regiões altomontanas de SC.	38
Figura 6. Diagrama R1R2 dos solos de altitude de Santa Catarina (De La Roche et al., 1980).	40
Figura 7. Diagrama AFM dos solos de altitude de SC. Linha divisória segundo Irvine & Baragar (1971).	41
Figura 8. Diagrama de Van Krevelen obtido a partir da composição elementar dos horizontes A e B dos perfis de diferentes classes de solo. A) Principais reações envolvidas nos processos de humificação (adaptado de Rice & MacCarthy, 1991); B) Cambissolo Háplico Alítico; C) Cambissolo Háplico Distrófico; D) Cambissolo Húmico; E) Nitossolos; F) Latossolo Vermelho.	73
Figura 9. Dispersão dos coeficientes canônicos das variáveis em relação ao uso do solo na camada superficial (a).....	74
Figura 10. Dispersão dos coeficientes canônicos das variáveis em relação ao uso do solo no horizonte diagnóstico subsuperficial (b).....	74
Figura 11. Dispersão dos coeficientes canônicos das variáveis em relação às classes de solo na camada superficial.	76
Figura 12. Dispersão dos coeficientes canônicos das variáveis em relação às classes de solo no Horizonte B diagnóstico.	76
Figura 13. Relações entre: a) altitude e teor de argila do solo; b) COT e teor de argila; (c) COT e CTC; e (d) altitude e COT, em horizontes superficiais de 24 Cambissolos de regiões altomontanas do estado de Santa Catarina.	79
Figura 14. Dendrograma baseado na altitude, profundidade, cor, teor de argila, COT, pH, Al^{+3} , CTC, SHs dos horizontes diagnósticos superficiais de Cambissolos das regiões de altitude de SC.....	81
Figura 15. Abundância natural de ^{13}C no solo em perfis de Cambissolo com A húmico (perfis 1, 2, 3, 4 e 5) em regiões altomontanas do estado de Santa Catarina.	82
Figura 16. Abundância natural de ^{13}C no solo em perfis de Cambissolo com A moderado (perfis 8, 12, 15, 16, 18 e 23) em regiões altomontanas do estado de Santa Catarina.....	83
Figura 17. Abundância natural de ^{13}C no solo em Cambissolos (perfis 9, 10, 17, 19 e 22) em regiões altomontanas do estado de Santa Catarina.	83
Figura 18. Dendrograma dos atributos químicos das propriedades vitícolas localizadas na região de rochas sedimentares, nas profundidades: a) 0 a 5 cm; b) 5 a 10 cm; c) 10 a 20 cm e d) 20 a 40 cm.....	97

Figura 19. Dendrograma dos atributos físicos das propriedades vitícolas localizadas na região de rochas sedimentares, nas profundidades: a) 0 a 20 cm e b) 20 a 40 cm.	102
Figura 20. Dendrograma: a) 0 a 5 cm; b) 5 a 10 cm; c) 10 a 20 cm e d) 20 - 40 cm.	108
Figura 21. Dendrograma dos atributos físicos das propriedades vitícolas localizadas na região de rochas ígneas ácidas, nas profundidades: a) 0 a 20 cm e b) 20 a 40 cm.	111
Figura 22. Dendrograma das propriedades vitícolas localizadas no basalto, nas profundidades: a) 0 a 5 cm; b) 5 a 10 cm; c) 10 a 20 cm e d) 20 - 40 cm.	117
Figura 23. Dendrograma dos atributos físicos das propriedades vitícolas localizadas no basalto, nas profundidades: a) 0 a 20 cm e b) 20 a 40 cm.	120
Figura 24. Dendrograma das propriedades vitícolas localizadas na região ígneas ácidas de Água Doce, SC, nas profundidades: a) 0 a 5 cm; b) 5 a 10 cm; c) 10 a 20 cm e d) 20 - 40 cm.	123
Figura 25. Dendrograma dos atributos físicos das propriedades vitícolas localizadas na região de rochas ígneas ácidas de Água Doce, SC, nas profundidades: a) 0 a 20 cm e b) 20 a 40 cm.	125
Figura 26. Dendrograma das propriedades vitícolas localizadas nas regiões de altitude de SC, nas profundidades: a) 0 a 5 cm; b) 5 a 10 cm; c) 10 a 20 cm e d) 20 - 40 cm.	128
Figura 27. Dendrograma dos atributos físicos das propriedades vitícolas localizadas nas regiões de altitude de SC, nas profundidades: a) 0 a 20 cm e b) 20 a 40 cm.	129
Figura 28. Fluxograma para identificação de áreas para o zoneamento da viticultura de altitude.	164
Figura 29. Fluxograma para identificação de regiões com aptidão para a viticultura de altitude.	166

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Perfis de solo por região e características gerais dos pontos de coleta nas regiões de altitude do estado de Santa Catarina.	19
Tabela 2. Atributos físicos e químicos dos horizontes A e B de perfis de solos da região I (rochas sedimentares), localizados nos municípios de Urubici e Bom Retiro, SC.	21
Tabela 3. Atributos físicos e químicos dos horizontes A e B de perfis de solos da região II (ígneas ácidas), localizados nos municípios de São Joaquim e Urupema, SC.	23
Tabela 4. Atributos físicos e químicos dos horizontes A e B de perfis de solos da região III (ígneas básicas), localizados na região de Campos Novos, SC.	25
Tabela 5. Atributos físicos e químicos dos horizontes A e B de perfis de solos da região IV (ígneas ácidas), localizados na região de Água Doce, SC.	39
Tabela 6. Classificação das amostras nas 4 classes de solos (Neossolo, Cambissolo, Nitossolo e Latossolo) determinadas utilizando as duas funções discriminantes no horizonte A e B.	30
Tabela 7. Matriz de correlação linear entre teores geoquímicos de elementos de rochas nos perfis coletados nas regiões de altitude de SC.	39
Tabela 8. Teores de Si, Al, Ca, F, K, Mg, Na, P, Ti e Mn expressos na forma de óxidos, em horizontes A e Bi de Cambissolos Háplicos Alíticos típicos e rochas, localizadas nas regiões de altitude de SC.	42
Tabela 9. Sequência decrescente de solubilidade dos elementos, através dos métodos IsoAl e IsoTi em horizontes A e B de Cambissolos Háplico Alítico típicos, localizadas nas regiões de altitude de SC.	43
Tabela 10. Teores de S, B, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Zr e V em horizontes A e B de Cambissolos Háplicos Alíticos típicos e rochas, localizadas nas regiões de altitude de SC.	44
Tabela 11. Teores de Si, Al, Ca, F, K, Mg, Na, P, Ti e Mn expressos na forma de óxidos, em horizontes A e B de Cambissolos Háplicos Distróficos típicos e rochas, localizadas nas regiões de altitude de SC.	46
Tabela 12. Sequência decrescente de solubilidade dos elementos, através dos métodos IsoAl e IsoTi em horizontes A e B de Cambissolos Háplicos Distrófico típicos, localizadas nas regiões de altitude de Santa Catarina.	59
Tabela 13. Teores de S, B, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Zr e V em horizontes A e B de Cambissolos Háplicos Distrófico típicos e rochas, localizadas nas regiões de altitude de SC.	48
Tabela 14. Teores de Si, Al, Ca, F, K, Mg, Na, P, Ti e Mn expressos na forma de óxidos, em horizontes A e B de Cambissolos Húmicos Alíticos típicos e rochas, localizadas nas regiões de altitude de SC.	50
Tabela 15. Sequência decrescente de solubilidade dos elementos, através dos métodos IsoAl e IsoTi em horizontes A e B de Cambissolos Húmico Alítico típicos, localizadas nas regiões de altitude de SC.	50

Tabela 16. Teores de S, B, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Zr e V em horizontes A e B de Cambissolos Húmicos Alíticos típicos e rochas, localizadas nas regiões de altitude de SC.....	51
Tabela 17. Teores de Si, Al, Ca, F, K, Mg, Na, P, Ti e Mn expressos na forma de óxidos, em horizontes A e Bt de Nitossolos Brunos, Háplicos e Vermelhos e rochas, localizadas nas regiões de altitude de SC.....	52
Tabela 18. Sequência decrescente de solubilidade dos elementos, através dos métodos IsoAl e IsoTi em horizontes A e Bt de Nitossolos Brunos, Háplicos e Vermelhos, localizadas nas regiões de altitude de SC.	53
Tabela 19. Teores de S, B, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Zr e V em horizontes A e Bt de Nitossolos Brunos, Háplicos e Vermelhos e rochas, localizadas nas regiões de altitude de SC.....	54
Tabela 20. Teores de Si, Al, Ca, F, K, Mg, Na, P, Ti e Mn expressos na forma de óxidos, em horizontes A e B de Latossolos e rochas, localizadas nas regiões de altitude de SC.	55
Tabela 21. Sequência decrescente de solubilidade dos elementos, através dos métodos IsoAl e IsoTi em horizontes A e B de Latossolos, localizadas nas regiões de altitude de SC. ...	55
Tabela 22. Teores de S, B, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Zr e V em horizontes A e B de Latossolos e rochas, localizadas nas regiões de altitude de SC.	55
Tabela 23. Coordenadas geográficas, altitude, município, tipo climático, uso do solo e classificação dos perfis de solo coletados nas regiões produtoras de vinhos de altitude.	63
Tabela 32. Altitude, município, geologia, clima, relevo regional, uso do solo e horizonte diagnóstico superficial de Cambissolos localizados nas regiões de altitude de SC.....	65
Tabela 24. Teores de argila, pH, Alumínio, CTC, C, N, H, C/N, H/C, COT, C-HM, C-AF, C-AH, relação AH/AF e AE/HM em horizontes A e B de Cambissolos Háplicos Alíticos típicos.	66
Tabela 25. Teores de argila, pH, alumínio, CTC, C, N, H, C/N, H/C, COT, C-HM, C-AF, C-AH, relação AH/AF e AE/HM em horizontes A e B de Cambissolos Háplicos Ta e Tb Distróficos.....	69
Tabela 26. Teores de argila, pH, alumínio, CTC, C, N, H, C/N, COT, C-HM, C-AF, C-AH, relação AH/AF e AE/HM em horizontes A e B de Cambissolos Húmicos Alíticos típicos.	69
Tabela 27. Teores de argila, pH, alumínio, CTC, C, N, H, C/N, H/C, COT, C-HM, C-AF, C-AH, relação AH/AF e AE/HM em horizontes A e B de Latossolos.....	70
Tabela 28. Teores de argila, pH, alumínio trocáveis, CTC, C, N, H, C/N, H/C, COT, C-HM, C-AF, C-AH, relação AH/AF e AE/HM em horizontes A e B de Nitossolos Brunos, Háplicos em Vermelhos.	71
Tabela 29. Matriz de correlação linear entre valores de argila, pH, Alumínio (Al), CTC, C, H, N, Carbono Orgânico Total (COT), Humina (C-HM), Ácidos Fúlvicos (C-AF) e Ácidos Húmicos (C-AH) nos Horizontes A e B diagnósticos.	72
Tabela 30. Resultados da classificação das amostras nos três grupos de uso do solo determinados (F, CA e RF, P), utilizando-se as duas funções discriminantes nos horizontes A e B diagnósticos.....	75

Tabela 31. Classificação das amostras nas quatro classes de solos determinadas (Neossolo, Cambissolo, Nitossolo e Latossolo), utilizando-se as duas funções discriminantes no Horizonte A e B diagnósticos.	77
Tabela 33. Dados de cor, profundidade, teor de argila, COT, pH, Al, CTC e SHs.....	78
Tabela 34. Propriedades da região, altitude média em metros (AM), tipo climático (TC), área plantada total (AP), setores (ST), variedades (VR), área plantada por variedade (AV), ano de implantação (AI) e espaçamento entre plantas (EP).....	92
Tabela 35. Valores médios de pH, P, K, MO, Al, CTC, Zn e Cu, nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 e 20 a 40, em propriedades vitivinícolas localizadas na região de rochas sedimentares.....	93
Tabela 36. Valores médios de areia grossa (Ag), areia fina (Af), silte (St), argila (Ar), densidade do solo (Ds), resistência à penetração (Rp), porosidade total (Pt), macroporosidade (Mp) e microporosidade (mp), nas profundidade de 0 a 20 e 20 a 40 cm, em propriedades vitícolas localizadas na região de rochas sedimentares.	100
Tabela 37. Propriedades da região de São Joaquim, quanto à altitude média (AM), tipo climático (TC), área plantada total (AP), setores (ST), variedades (VR), área plantada por variedade (AV), ano de implantação (AI) e espaçamento entre plantas.....	103
Tabela 38. Valores médios de pH, P, K, MO, Al, CTC, Zn e Cu, nas profundidade de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 e 20 a 40, em propriedades vitícolas localizadas na região de rochas ígneas ácidas.....	105
Tabela 39. Média dos teores de areia grossa (Ag), areia fina (Af), silte (St), argila (Ar), densidade do solo (Ds), resistência à penetração (Rp), porosidade total (Pt), macroporosidade (Mp) e microporosidade (mp), nas profundidade de 0 a 20 e 20 a 40 cm, em propriedades vitícolas localizadas na região de rochas ígneas ácidas.....	110
Tabela 40. Propriedades vitícolas da região de basalto com sua altitude média (AM), tipo climático (TC), área plantada total (AP), setores (ST), variedades (VR), área plantada por variedade (AV), ano de implantação (AI) e espaçamento entre plantas.....	113
Tabela 41. Média de pH, P, K, MO, Al, CTC, Zn e Cu, nas profundidade de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 e 20 a 40, em propriedades vitícolas localizadas na região de basalto.....	115
Tabela 42. Média dos teores de areia grossa (Ag), areia fina (Af), silte (St), argila (Ar), densidade do solo (Ds), resistência à penetração (Rp), porosidade total (Pt), macroporosidade (Mp) e microporosidade (mp), nas profundidade de 0 a 20 e 20 a 40 cm, em propriedades vitícolas localizadas na região de basalto.	118
Tabela 43. Propriedades vitícolas da região de Água Doce com sua altitude média (AM), tipo climático (TC), área plantada total (AP), setores (ST), variedades (VR), área plantada por variedade (AV), ano de implantação (AI) e espaçamento entre plantas.....	120
Tabela 44. Média de pH, P, K, MO, Al, CTC, Zn e Cu, nas profundidade de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 e 20 a 40, em propriedades vitícolas localizadas na região de rochas ígneas ácidas de Água Doce, SC.	121
Tabela 45. Média dos teores de areia grossa (Ag), areia fina (Af), silte (St), argila (Ar), densidade do solo (Ds), resistência à penetração (Rp), porosidade total (Pt), macroporosidade (Mp) e microporosidade (mp), nas profundidade de 0 a 20 e 20 a 40 cm, em propriedades vitícolas localizadas na região de rochas ígneas ácidas de Água Doce, SC.	124

Tabela 46. Resultados médios dos teores de COT, COp, COam e relação COp/COT, em áreas de vinhedo e floresta, nas regiões produtoras de vinhos finos de altitude do estado de SC.....	136
Tabela 47. Resultados médios dos teores de C-HM, C-AF, C-AH, taxa de recuperação e relação AH/AF, em áreas de vinhedo e floresta, nas regiões produtoras de vinhos finos de altitude do estado de SC.	138
Tabela 48. Perfis de solo, com coordenadas e altitude e classificação da aptidão agrícola através das metodologias SAAAT, SCCU, CAUTSC e CEVVV.	151
Tabela 49. Comparação entre o sistema SAAAT, com SCCU, CAUTSC e CEVVV em perfis de solo localizados nas regiões de altitude de SC.	153
Tabela 50. Classes de altitude, aspecto e declividade com graus de limitação propostos para o sistema de avaliação da aptidão agrícola da cultura da videira em regiões de altitude, em Santa Catarina.	155
Tabela 51. Classes de fósforo e potássio com graus de limitação propostos para o sistema de avaliação da aptidão agrícola da cultura da videira em regiões de altitude, em SC.	156
Tabela 52. Classes de drenagem e graus de limitação propostos para o sistema de avaliação da aptidão agrícola da cultura da videira em regiões de altitude, em SC.....	157
Tabela 53. Graus de limitação devidos à erodibilidade do solo propostos para o sistema de avaliação da aptidão agrícola da cultura da videira em regiões de altitude, em SC.	158
Tabela 54. Suscetibilidade a erosão (declividade x erodibilidade) e graus de limitação propostos para o sistema de avaliação da aptidão agrícola da cultura da videira em regiões de altitude, em SC.....	158
Tabela 55. Graus de limitação referentes à rochosidade e/ou pedregosidade, propostos para o sistema de avaliação da aptidão agrícola da cultura da videira em regiões de altitude, em SC.....	159
Tabela 56. Graus de limitação devido ao impedimento à mecanização (declividade x rochosidade e/ou declividade), propostos para o sistema de avaliação da aptidão agrícola da cultura da videira em regiões de altitude, em SC.	159
Tabela 57. Graus de limitação devido à profundidade efetiva, propostos para o sistema de avaliação da aptidão agrícola da cultura da videira em regiões de altitude, em SC.	160
Tabela 58. Quadro-guia do sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras, nos níveis de manejo B e C, para a cultura da videira em regiões de altitude em SC.	160
Tabela 59. Simbologia correspondente as classes do sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras, nos níveis de manejo B e C, para a cultura da videira em regiões de altitude em SC.....	161

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1. Geologia.....	4
2.2. Clima.....	6
2.3. Geomorfologia	9
2.4. Vegetação.....	11
2.5. Panorama Atual da Vitivinicultura de Altitude	12
3. CAPÍTULO I - CARACTERIZAÇÃO DE SOLOS DAS REGIÕES PRODUTORAS DE VINHOS FINOS DE ALTITUDE EM SANTA CATARINA	14
3.1. RESUMO.....	15
3.2. ABSTRACT.....	16
3.3. INTRODUÇÃO	17
3.4. MATERIAL E MÉTODOS	18
3.4.1. Coleta de Amostras e Análises Laboratoriais	18
3.4.2. Análise dos Dados.....	18
3.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
3.5.1. Caracterização e Distribuição dos Solos nas Regiões.....	21
3.5.2. Interação dos Fatores de Formação dos Solos	27
3.6. CONCLUSÕES	31
4. CAPÍTULO II - GEOQUÍMICA DOS SOLOS DE ALTITUDE DE SANTA CATARINA.....	32
4.1. RESUMO.....	33
4.2. ABSTRACT.....	34
4.3. INTRODUÇÃO	35
4.4. MATERIAL E MÉTODOS	37
4.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
4.6. CONCLUSÕES	56
5. CAPÍTULO III - SUBSTÂNCIAS HÚMICAS E CARBONO 13 EM SOLOS DE ALTITUDE.....	57
5.1. RESUMO.....	58
5.2. ABSTRACT.....	59
5.3. INTRODUÇÃO	60
5.4. MATERIAL E MÉTODOS	62
5.4.1. Substancias Húmicas.....	62
5.4.2. Abundancia Natural ¹³ C	64
5.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	66
5.5.1. Substancias Húmicas.....	66
5.5.2. Avaliação de Horizontes Superficiais de Cambissolos.....	77
5.5.3. Uso do $\delta^{13}\text{C}$ como Atributo na Classificação de Solos.....	81
5.6. CONCLUSÕES	85

6. CAPÍTULO IV - CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DOS SOLOS DOS VINHEDOS DAS REGIÕES DE ALTITUDE DE SANTA CATARINA.....	86
6.1. RESUMO.....	87
6.2. ABSTRACT.....	88
6.3. INTRODUÇÃO.....	89
6.4. MATERIAL E MÉTODOS.....	91
6.4.1. Coleta de Amostras e Análises Laboratoriais.....	91
6.4.2. Análise dos Dados.....	91
6.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	92
6.5.1. Solos Originados de Rochas Sedimentares.....	92
6.5.2. Solos Originados de Riodacitos.....	102
6.5.3. Solos Originados de Basalto.....	112
6.5.4. Solos Originados de Rochas Ácidas de Água Doce, SC.....	120
6.6. CONCLUSÕES.....	130
7. CAPÍTULO V - COMPARTIMENTOS DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM VINHEDOS ALTOMONTANOS DE SANTA CATARINA.....	131
7.1. RESUMO.....	132
7.2. ABSTRACT.....	133
7.3. INTRODUÇÃO.....	134
7.4. MATERIAL E MÉTODOS.....	135
7.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	136
7.6. CONCLUSÕES.....	141
8. CAPÍTULO VI - SISTEMA DE APTIDÃO AGRÍCOLA E PROPOSTA DE ZONEAMENTO PARA VITICULTURA NO ESTADO DE SANTA CATARINA	142
8.1. RESUMO.....	143
8.2. ABSTRACT.....	144
8.3. INTRODUÇÃO.....	145
8.4. MATERIAL E MÉTODOS.....	148
8.4.1. Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras.....	148
8.4.2. Bases e Critérios para Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola para Videira em Ambiente Altomontano.....	148
8.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	150
8.5.1. Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras.....	150
8.5.2. Aplicação de Proposta de Sistema de Aptidão para Produção de Uva em Ambiente Altomontano.....	153
8.5.3. Proposta de Zoneamento de Áreas Potenciais para Viticultura no Estado de Santa Catarina com Base na Aptidão Agrícola.....	161
8.6. CONCLUSÕES.....	167
9. CONCLUSÕES GERAIS.....	168
10. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	169
11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	170
12. ANEXOS.....	192

1. INTRODUÇÃO GERAL

Os vinhos finos de altitude do estado de Santa Catarina (SC), apesar do pequeno período de produção, vêm alcançando posição de destaque no cenário nacional e internacional pela sua alta qualidade. As uvas produzidas no Oeste e Planalto Catarinense apresentam características próprias e distintas das demais regiões produtoras do Brasil, sendo que a altitude é um dos fatores que mais influencia esta diferenciação, incidindo em características edafoclimáticas específicas, que refletem na qualidade dos vinhos.

Tal diferenciação torna-se de grande importância diante do cenário competitivo do setor vitivinícola, fazendo com que os produtores tenham que estabelecer estratégias, para absorver uma parcela distinta do mercado consumidor de vinhos, mantendo a sustentabilidade competitiva a longo prazo. Neste sentido, no mercado mundial, os países que desfrutam de maior prestígio são aqueles que se preocupam com a produção de vinhos de melhor qualidade, regionalmente, e consolidados com Indicações Geográficas (IG), amparada por legislações específicas.

A IG é conferida, segundo o Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI, 2016), a produtos ou serviços que são característicos do seu local de origem, o que lhes atribui reputação, valor intrínseco e identidade própria, além de distingui-los em relação aos seus similares disponíveis no mercado. São produtos que apresentam uma qualidade única em função de recursos naturais como solo, vegetação, clima e saber fazer.

A implantação de IG é uma possibilidade para a cultura da videira e constitui-se numa das formas especiais de proteção aos produtos. Ela visa, principalmente, destacar aspectos distintivos, como a identificação de recursos edafoclimáticos diferenciados, capazes de gerar vantagens competitivas.

Os vinhos possuem características organolépticas e sua qualidade e tipicidade são fortemente definidas pelos fatores de produção que são a expressão dos fatores naturais, tais como geográficos (solo, vegetação), climáticos, e pelos fatores humanos peculiares de cada região. Desta forma, vinhos de diferentes regiões, ainda que sejam elaborados com a mesma tecnologia, resultam em produtos diferenciados. Assim a IG identifica que alguns produtos de determinados lugares apresentavam qualidades particulares, atribuíveis a sua origem geográfica, sendo denominados com o nome geográfico que indica sua procedência, constituindo-se numa das formas especiais de proteção aos produtos.

O tipo de solo é um dos fatores mais importantes que influenciam a qualidade das uvas e dos vinhos, juntamente com o clima e a adaptação de cultivares. Os solos podem influenciar no desenvolvimento radicular da cultura em seus atributos físicos e químicos, e no padrão de desenvolvimento da videira. Dentre os atributos físicos, profundidade, estrutura e textura do solo são os mais importantes, enquanto a reação do solo (pH) e a disponibilidade de nutrientes são as características químicas de maior destaque.

Um dos aspectos de grande importância a ser considerado é a caracterização dos solos onde são produzidos estes vinhos. Porém, os resultados experimentais ainda são escassos, uma consequência do recente histórico de ocupação das áreas e produção. Ainda, existem poucos estudos no Brasil que integrem regiões, variedades e vinícolas, fundamentais para delimitação de IGs e caracterização de *terroir*.

Outra questão importante na cadeia produtiva do vinho é identificar áreas com bom potencial para a instalação de novos vinhedos, visto que os custos de estabelecimento e a manutenção são altos. Assim, os produtores necessitam informações adequadas sobre a aptidão das terras para auxiliar a tomada de decisão. Por outro lado, a subutilização de terras, com a produção de videira em áreas não favoráveis à cultura, pode acarretar aumento nos

custos de produção e, sobretudo, perda de qualidade dos vinhos. Estes aspectos justificam a utilização de um sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras adaptado a cultura e ao seu manejo.

As pequenas propriedades rurais de SC, devido à limitação de tamanho, necessitam desenvolver atividades que possibilitem maior retorno econômico por unidade de área. Dentre as alternativas, a fruticultura tem-se mostrado com viabilidade econômica para estas propriedades. As primeiras áreas vitivinícolas do estado, localizadas no Vale do Rio do Peixe, apresentam basicamente mão de obra familiar. Porém, os avanços da vitivinicultura na busca pela qualidade, em detrimento da quantidade, aumentando a elaboração de vinhos varietais, alterou o perfil de muitos produtores, entre os quais se encontram grandes empresários de outros setores e profissionais liberais.

Os produtores de vinho têm se interessado pelo zoneamento da atividade, com o objetivo de melhorar a gestão técnica dos vinhedos. O conhecimento profundo da variabilidade espacial de certos fatores ambientais tem permitido a escolha de material vegetal que melhor se adaptam em cada uma das zonas estudadas, como também vários aspectos relacionados às práticas de manejo dos vinhedos (manejo do solo, fertilização, drenagem, datas de colheita). Entretanto, estudos aprofundados e contínuos são necessários para definir o real efeito da variabilidade espacial dos atributos físicos, químicos e mineralógicos do solo, de forma a gerar informações que permitam a implantação de vinhedos sustentáveis, sem comprometer a produção, as características físicas e os compostos fenólicos que definem as características das uvas.

A motivação pelo tema da pesquisa surgiu em função do interesse e da necessidade dos produtores de informações referentes aos solos onde estão sendo cultivadas as videiras. Aliado a isto, a competitividade do setor motivou a busca pela implantação de uma IG para os vinhos finos de altitude de SC.

Os resultados desta pesquisa podem auxiliar com um conjunto de informações relacionadas aos solos das áreas produtoras, no intuito de estruturar e implantar uma IG, visando melhorar a competitividade e agregação de valor aos produtos. Ainda, como produto da pesquisa, uma proposta para indicar áreas aptas para a atividade vitícola, visando ampliar áreas já existentes, assim como orientar novos investimentos na expansão da atividade, incluindo assim novos produtores.

Diante do exposto, este trabalho teve como hipótese que as regiões onde são produzidos os vinhos de altitude apresentam atributos particulares de solo, e de que é possível a identificação de áreas mais aptas à produção, permitindo a expansão da atividade.

Os objetivos específicos do trabalho foram:

Capítulo I: Caracterização de solos das regiões produtoras de vinhos finos de altitude em SC.

a) Caracterizar os solos, avaliar a distribuição e a interação dos fatores de formação dos solos de regiões de altitude do estado de SC.

Capítulo II: Geoquímica dos solos de altitude de Santa Catarina.

a) Avaliar a taxa de intemperismo químico, através da análise das mudanças da concentração de elementos químicos das rochas e do solo.

Capítulo III: Substâncias húmicas e carbono ^{13}C em solos de altitude.

a) Avaliar os teores de carbono e a partição quantitativa das frações húmicas em perfis de solo;

b) Avaliar e quantificar $\delta^{13}\text{C}$ em horizontes superficiais de perfis de Cambissolos e propor sua utilização como atributo complementar no SiBCS;

Capítulo IV: Caracterização física e química dos solos dos vinhedos das regiões de altitude de Santa Catarina.

- a) Caracterização física e química dos solos nos vinhedos das quatro regiões produtoras;
- b) Distinguir as propriedades vitícolas que apresentem similaridades quanto aos atributos químicos e físicos do solo;

Capítulo V: Compartimentos da matéria orgânica do solo (MOS) em vinhedos altomontanos de Santa Catarina.

- a) Avaliar o fracionamento químico e físico da MOS em seus compartimentos, em vinhedos implantados nas regiões de altitude de SC;

Capítulo VI: Sistema de aptidão agrícola e proposta de zoneamento para viticultura no estado de Santa Catarina.

- a) Avaliar e comparar a aptidão agrícola através das diferentes metodologias em perfis de solo em áreas produtoras;
- b) Adaptar o Sistema de Avaliação Agrícola das Terras, para a cultura da videira produzida em região de altitude no estado de SC;
- c) Proposta de zoneamento para seleção de áreas potenciais para vitivinicultura com base na aptidão agrícola das terras.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A seguir são apresentadas informações sobre a área de estudo comuns a todos os capítulos subsequentes na tese. O trabalho foi desenvolvido nas regiões do Oeste e Planalto Catarinense, onde se encontram os produtores dos vinhos finos de altitude no estado de SC (Figura 1). Os vinhedos estudados (45 propriedades) pertencem aos membros da Associação Catarinense de Produtores de Vinhos Finos de Altitude – Acavitis e também aos não associados que estão localizados nas regiões com altitudes superiores a 800 m. Essas regiões abrangem área de 3.173.300 ha, que corresponde a 1/3 da área total do estado de SC.

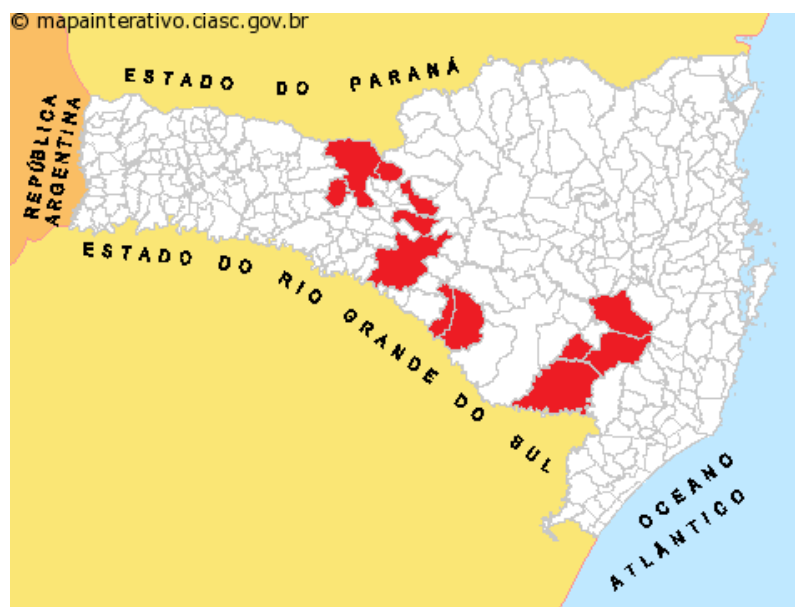


Figura 1. Municípios produtores de vinhos de altitude no estado de Santa Catarina.

2.1. Geologia

A maior parte da produção dos vinhos finos de altitude do estado concentra-se nas áreas da Formação Serra Geral, observando-se também, com pouca representatividade, a produção em algumas áreas de rochas sedimentares gonduânicas paleozóica correspondente a Bacia do Paraná (Santa Catarina, 1986).

A formação da cobertura Sedimentar Gonduânica iniciou-se no Permiano médio (250 milhões de anos) estendendo-se até a era Mesozóica, com deposições de materiais como argilitos, arenitos, siltitos e folhelhos e conglomerados com índices médios a altos de vulnerabilidade à denudação, variando entre 1,9-2,8, sendo que as áreas produtoras de vinhos de altitude pertencem ao Grupo Passa Dois, das Formações Rio do Rastro e Terezina. As rochas sedimentares da Bacia do Paraná foram depositadas sobre uma vasta área de escudo do continente gonduânico, que era composto por vários núcleos cratônicos com terrenos granulíticos e de “greenstones”, sendo cercados por diversos cinturões móveis orogênicos formados durante o ciclo Brasileiro (Santa Catarina, 1986).

Já no início da era Mesozóica, no período Triássico todo o centro-sul do continente sul-americano era ocupado por uma grande área desértica (Leinz & Amaral, 1985), que deu origem, posteriormente, aos arenitos da Formação Botucatu. Após uma sequência de eventos sucessivos de derrames de lavas entre 120 e 135 milhões de anos, têm-se o aparecimento da Formação Serra Geral.

O vulcanismo não ocorreu homoganeamente em toda a Bacia do Paraná e os derrames ocorreram na forma de “trapps” (escadas) (Leinz & Amaral, 1985). As diferentes condições de resfriamento do magma atuaram sobre a constituição textural e mineralógica de cada derrame. Isto originou uma sucessão de rochas com diferentes graus de resistência ao intemperismo (Sartori & Gomes, 1980), originando predominantemente o basalto, mas também vários outros tipos de rochas, com variada composição química e textural, incluindo fenobasaltos, andesitos (cerca de 7 % do volume total) e riodacitos e riolitos (2,5 % do total) segundo Nardy et al. (2002).

As rochas com composição eminentemente básica correspondem a sua sequência inferior e as mais ácidas correspondem principalmente aos últimos derrames de lava, ocorrendo por este motivo nas regiões de altitudes mais elevadas, como nos platôs de São Joaquim e Água Doce, localizados na sequência superior (Santa Catarina, 1986) e onde se localizam grande parte das áreas produtoras.

Os derrames basálticos e andesíticos formam tipos de rochas predominantemente afíricas e subafíricas, exibem predominantemente textura intergranular e suas variações (intersertal, hialofítica, etc.) e sua distinção no campo é muito difícil. O basalto é uma rocha formada por um magma mais rico em minerais ferro-magnesianos e menos rico em sílica quando comparado ao magma que forma as rochas riodacito e riolito. A partir da base para o topo ocorrem as seguintes zonas: zona vítrea, zona de fraturamento horizontal, zona de fraturamento vertical e zona amigdalóide.

Nas imediações de São Joaquim predominam rochas de caráter mais ácido da formação Serra Geral, tais como dacitos e riodacitos felsíticos, riolitos felsíticos, basaltos pórfitos e fenobasaltos vítreos (Horbach et al., 1986). Tais rochas, ao contrário dos basaltos típicos, que possuem teores de SiO₂ entre 45-55 %, apresentam conteúdo mais alto de sílica, com teores acima dos 60 %, o que lhes garante tonalidades mais claras do que os basaltos, e conteúdos de ferro, cálcio e magnésio mais baixos.

Tais rochas, por seu maior conteúdo em sílica, apresentam maior resistência ao intemperismo e por isso geralmente ocorrem em relevo tabular, de platô, cuja continuidade física é interrompida apenas junto ao leito dos rios que recortam o Planalto dos Campos Gerais, os quais, com seu continuado trabalho erosivo, acabam por expor o basalto subjacente. Isto pode justificar a observação de solos mais jovens (Cambissolos e Neossolos) nessas áreas.

A observação macroscópica das rochas vulcânicas da Formação Serra Geral permite, de modo geral, individualizar três tipos petrográficos principais. O primeiro deles, majoritário, corresponde ao dos basaltos, que exibem predominantemente textura intergranular e suas variações (intersertal, hialofítica). Os outros dois são representados por rochas de natureza ácida, denominadas de Palmas e Chapecó, sendo, respectivamente, as primeiras maciças e afíricas, e as segundas porfiríticas. A facilidade de reconhecimento a olho nu permitiu a sua cartografia com a definição de dois novos membros associados à Formação Geral, caracterizados pela presença destas rochas-tipo intercaladas aos basaltos (Nardy et al., 2008).

As rochas vulcânicas ácidas do tipo Palmas, onde se localizam grande parte dos vinhedos, constituem derrames separados por contatos difusos, diferentemente dos que ocorrem nos basaltos, onde, via de regra, verificam-se brechas e juntas discordantes e são caracterizadas pela coloração cinza clara, às vezes adquirindo tonalidade vermelho-acastanhada, natureza afírica, textura hipo a holohialina com marcante aspecto sal-e-pimenta (Nardy et al., 2008).

Segundo Nardy (2002) na geoquímica das rochas vulcânicas ácidas do tipo Palmas são reconhecidos dois grandes grupos, um deles de baixo Ti (TiO₂ ≤ 0,87 %) e outro de alto em Ti (TiO₂ ≥ 0,90 %), possuem intervalo de SiO₂ entre 63,00 % a 72,07 %. Por outro lado, para um mesmo intervalo de SiO₂, observa-se que as rochas do tipo Chapecó contêm maiores

concentrações de álcalis (de 7,45 % a 8,34 %) em comparação com as do tipo Palmas (de 5,98 a 8,64 %) (Le Bas et al., 1986).

2.2. Clima

A gênese dos solos das encostas basálticas foi bastante influenciada pelas variações climáticas que ocorreram no final do Pleistoceno e todo o Holoceno, conforme descrito por Ledru (1993), o que condicionou o intemperismo físico, nas épocas de seca intensa. Nas épocas úmidas, além da predominância do intemperismo químico, houve o carreamento de sedimentos e fragmentos de rochas de diferentes tamanhos vale abaixo, característica observada nos vales estudados (Bigarella et al., 1965).

Assim, a pedogênese proposta por Bigarella et al. (1965) leva em conta duas situações climáticas. A primeira com a predominância do clima árido ou semiárido, onde a vegetação se torna escassa, com ausência de cobertura superficial, promovendo um aumento da intensidade do intemperismo físico. As precipitações pluviométricas, intensas e ocasionais, dissecam a paisagem principalmente pela erosão dos produtos do intemperismo, assoreando os vales. Este ciclo é caracterizado pela intensa instabilidade da paisagem.

A segunda situação ocorre em clima úmido com desenvolvimento de exuberante vegetação e intenso intemperismo químico, permitindo o aprofundamento dos perfis de solo, favorecido pela proteção da cobertura vegetal e da drenagem vertical ao longo do perfil ser eficiente permitindo um menor escoamento superficial na forma de enxurrada e um aumento das descargas dos rios ocasionado pela intermitência do regime pluvial, permitindo o carreamento dos detritos que possivelmente estavam presentes no leito dos rios, devido aos ciclos de clima seco. A característica predominante neste período é a estabilidade da paisagem e a formação e aprofundamento dos solos (Bigarella et al., 1965).

Atualmente, segundo a classificação de Köppen (1948), o estado de SC foi classificado como de clima mesotérmico úmido (sem estação seca) - Cf, incluindo dois subtipos, Cfa e Cfb. Na região de estudo, devido à altitude elevada, observa-se a presença do clima Cfb (Clima temperado propriamente dito), com temperatura média no mês mais frio abaixo de 18°C (mesotérmico), com verões frescos, temperatura média no mês mais quente abaixo de 22°C e sem estação seca definida. No Planalto Ocidental, a média do mês mais frio pode baixar a 10 °C, quando nas noites de inverno a temperatura pode atingir 10 °C negativos, o que ocasiona geada e nevasdas esporádicas. O índice pluviométrico anual na região de São Joaquim gira em torno de 1.700 mm (Santa Catarina, 1986).

Essa classificação (Köppen, 1948) modificada por Braga & Guellere (1999), subdivide o estado de SC em cinco domínios climáticos (Subquente, mesotérmico brando 1, 2, 3 e mesotérmico médio), um subdomínio climático (Superúmido), variedade climática (Sem Seca), cinco tipos climáticos (Subtropical, temperado 1, 2, 3 e 4), 11 Subtipos Climáticos. O Tipo Climático Subtropical apresenta temperatura média do mês mais frio (junho/julho) entre 15 e < 18°C; Tipo Climático Temperado (1) = entre 13 < 15°C; Temperado (2) = entre 11,5 < 13°C; Temperado (3) = entre 10 < 11,5°C; Temperado (4) = entre > 0,0 < 10°C. Nas regiões de estudo predominam os tipos 3A (Campos Novos), 4A (São Joaquim e Bom Retiro), 4B (Água Doce) e 5 (São Joaquim e Urubici).

Devido a sua localização geográfica, SC é um dos estados que apresenta melhor distribuição de precipitação pluviométrica durante o ano no Brasil. Os principais sistemas meteorológicos responsáveis pelas chuvas no estado são as frentes frias, os vórtices ciclônicos, os cavados de níveis médios, a convecção tropical, a Zona de Convergência do Atlântico Sul e a circulação marítima (Monteiro, 2001).

O relevo contribui, fundamentalmente, na distribuição diferenciada da precipitação em distintas áreas do estado. Naquelas mais próximas às encostas de montanhas, do lado barlavento, as precipitações são mais abundantes, pois a elevação do ar úmido e quente

favorece a formação de nuvens cumuliformes, resultando no aumento do volume de precipitação local.

Apesar de possuir pouco distanciamento latitudinal, especialmente no Oeste, o estado apresenta expressivas variações espaciais no seu clima. Estas variações são consequências dos diversos sistemas atmosféricos que atuam, associados às diferenças de altitude existentes entre o Planalto e regiões circunvizinhas.

No início do outono, são observadas as primeiras incursões de massas polares, ainda fracas, porém provocam queda de temperatura. No Planalto e Meio-Oeste podem ser observadas temperaturas negativas, favorecidas pelo efeito da altitude. Nestas regiões ocorrem as primeiras geadas que são, em geral, de intensidade fraca (Monteiro, 2001). Além de geadas, a neve também pode ocorrer neste período, principalmente nas áreas mais altas do Planalto Sul, como os municípios de Urupema, Urubici e São Joaquim (Titarelli, 1972).

Os meses de inverno caracterizam o trimestre hibernal, onde as condições de tempo são influenciadas por sucessivas massas de ar polar provenientes do continente antártico. O ar frio é trazido pela aproximação de anticiclones que se deslocam sobre a Argentina em direção à região Sul do Brasil. Quando instalados sobre SC, estes sistemas ocasionam tempo estável, com predomínio de céu claro e acentuado declínio de temperatura nessas regiões, o que favorece a formação de geada e de nevoeiro, fenômenos típicos da estação.

O volume pluviométrico no inverno, na maioria dos municípios catarinenses, é muito pouco superior ao do outono, embora haja regularidade na passagem da frente. Do Planalto ao Oeste, as chuvas são mais volumosas que em áreas próximas ao litoral.

Segundo Souza (1997), os municípios de Lages, Urupema, Urubici, São Joaquim e Bom Jardim da Serra, no Planalto Sul, são as áreas em que mais neva no Brasil e que, segundo este autor, pelo menos uma vez por ano neva o suficiente para cobrir todas as superfícies expostas e, a cada seis anos aproximadamente, a neve forma camadas de, no mínimo, 30 cm. Nas áreas mais elevadas do Meio-Oeste, pode ocorrer pelo menos um episódio de neve por ano. Os mais baixos índices de insolação, para muitas regiões, estão associados às constantes passagens frontais com suas respectivas áreas de nebulosidade e a posição da terra com relação ao sol neste período do ano. Sob influência das massas de ar frio, as temperaturas ficam muito baixas, favorecendo a ocorrência de geada. Este fenômeno atmosférico tem mais frequência no Planalto e nos municípios mais ao norte das regiões Meio-Oeste, como Água Doce.

A primavera apresenta tempo mais instável, ocasionado principalmente pelos complexos convectivos de mesoescala, fenômenos que se formam, em sua maioria, sobre o norte da Argentina durante a madrugada e deslocam-se rapidamente para leste, atingindo o estado entre a madrugada e início da manhã, favorecendo a ocorrência de pancadas de chuvas fortes com trovoadas e granizo isolados. Nesta estação, algumas massas de ar polar podem deslocar-se sobre o estado, causando declínio acentuado de temperatura e geadas fracas no Planalto, principalmente entre setembro e outubro. Em casos excepcionais, nas áreas mais altas, pode gear em novembro e até em dezembro, embora de forma pontual e bem fraca (Monteiro, 2001).

No verão, a intensidade do calor, associada aos altos índices de umidade, favorece a formação de convecção tropical, que resultam em pancadas de chuvas, principalmente no período da tarde. A passagem de frentes frias, geralmente, organiza e intensifica a convecção tropical, resultando em tempestades, que se caracterizam por chuvas de forte intensidade, descargas elétricas, rajadas de ventos fortes e granizo (Monteiro, 2001).

O grande volume de chuvas nesta estação, pouco afeta a quantidade de horas de insolação, pois o predomínio é de nuvens isoladas, que se intensificam mais pela tarde. As regiões Oeste e Meio-Oeste são as que apresentam maior insolação. O Planalto, por efeito da altitude, apresenta temperaturas mais amenas. As mínimas ficam em torno dos 15 °C e as

máximas chegam a 26 °C. Nos episódios pré-frontais, as máximas podem chegar a 30 °C em áreas mais baixas do Planalto (Monteiro, 2001).

Entre as propriedades vitícolas levantadas na região, segundo dados de Vianna et al. (2016), foi observada uma variação entre os vinhedos na temperatura média anual de 12,9 °C a 17,4 °C. Entre os anos de 2009 a 2013 ocorreu maior incremento de 43,5 % de área em locais com temperatura média anual de 13 °C a 14 °C, seguido de locais com temperatura média anual de 15 °C a 16 °C (33,9 %).

Entre os fatores climáticos, a temperatura é o principal diferencial das regiões de altitude (Brighenti et al., 2014). De acordo com Jackson & Lombard (1993), em locais com temperaturas médias dos meses de maturação entre 9 °C e 15 °C, a maturação final das uvas ocorre durante o outono. Neste período as temperaturas diurnas são mais amenas e as noites frias. A maturação tardia favorece maior concentração de açúcares que proporcionam corpo ao vinho. Além disto, as noites frias favorecem um incremento na coloração e nos níveis de acidez (Kliewer & Torres, 1972).

Em estudo que avaliou os estádios fenológicos da Cabernet Sauvignon, Merlot e Sauvignon Blanc no município de São Joaquim (SC), Borghezán et al. (2011) concluíram que essas variedades apresentam maturação tardia em relação a outras regiões do Brasil. Coincidentemente os vinhedos situados em São Joaquim foram os que apresentaram temperatura média anual inferior a 15°C (63,2 %). Para poder caracterizar melhor os vinhedos em relação à temperatura é preciso avaliar o seu comportamento durante os períodos de maturação.

A amplitude térmica não difere muito entre as regiões de altitude de SC, sendo que a maioria dos vinhedos, segundo Vianna et al. (2016) apresenta amplitude térmica média diária entre 10 °C e 11 °C (79,0 %). Gris et al. (2010) consideram 10 °C de amplitude térmica adequada para a fenologia e a maturação das uvas nas regiões de altitude de SC.

Em termos anuais, a pluviosidade média nos vinhedos varia entre 1.400 mm e 1.869 mm. Cerca de 90 % dos vinhedos situam-se em áreas com pluviosidade anual de 1.500 mm a 1.800 mm. Estes índices são considerados altos em comparação aos 300 a 1.000 mm anuais das principais regiões produtoras de vinho do mundo (Van Leeuwen, 2010). Nas condições climáticas da Região Sul do Brasil, a fase de vegetação e produção do ciclo vegetativo das videiras coincide com o período de primavera e verão, quente e chuvoso (Regina et al. 2006). Além da incidência de doenças fúngicas (Scott et al., 2010), estas condições induzem um crescimento vegetativo vigoroso que influencia diretamente a maturação fenológica das uvas, impedindo que ela ocorra de forma completa (Champagnol, 1984).

O período mais importante para a qualidade da uva para produção de vinho fino é aquele que compreende a maturação e a colheita (Mandelli, 2006). Segundo o autor, além dos dias ensolarados e com reduzida precipitação, a quantidade, intensidade e distribuição das precipitações são fundamentais para o equilíbrio na relação açúcar/acidez. Neste sentido, Borghezán et al. (2014) afirmam que, em função das baixas temperaturas, o ciclo vegetativo nas regiões de altitude de SC é mais longo, o que faz com que a colheita ocorra tardiamente, coincidindo com o período de menor precipitação pluviométrica.

O total de horas de sol anuais está diretamente associado às atividades fotossintéticas e metabólicas das videiras e, em relação à qualidade das uvas para vinho, a insolação tem uma relação direta com a temperatura. Para cultivares tinto o sombreamento dos cachos reduz a cor, a concentração de antocianina e os sólidos solúveis, aumentando a acidez (Francesco et al., 1994). Como a insolação está diretamente relacionada à orientação dos vinhedos, Spayd et al. (2002) estudaram a influência da insolação na qualidade das uvas e comprovaram a existência de diferenças significativas nas concentrações de antocianinas em função da orientação dos vinhedos e do sombreamento dos cachos. De acordo com Sentelhas (1998), a

videira necessita entre 1.200 e 1.400 h de sol anuais para completar seu ciclo, dependendo do cultivar.

Entre os vinhedos com menos horas de sol e aqueles com mais horas de sol há uma diferença de até 1.000 h anuais. A maior faixa de horas de sol compreende os vinhedos que recebem anualmente entre 1.800 e 2.200 h, representando 76 %. Os mais ensolarados recebem até 2.424 h de sol anualmente e correspondem a 16 % dos vinhedos (Vianna et al., 2016).

2.3. Geomorfologia

Para o processo evolutivo do solo, como para o cultivo da videira, a participação do relevo também é importante, pois indiretamente interfere na temperatura e umidade do perfil, por meio da incidência diferenciada da radiação solar e decréscimo das temperaturas com o aumento das altitudes (Vieira, 1975).

Sua ação, de acordo com Oliveira et al. (1992) também reflete diretamente sobre a dinâmica da água, tanto no sentido vertical (infiltração), como lateral (escorrimentos superficiais). Em relevos acidentados a erosão ocasiona a remoção das camadas superficiais, proporcionando a remoção constante do solo e mantendo-o em estágios menos avançados de desenvolvimento. Já em relevos suaves ondulados e planos, o escoamento superficial é menor, favorecendo a infiltração da água e aceleração da evolução dos solos (Vieira, 1975).

A formação do solo nas encostas basálticas é diretamente ligada, segundo Uberti (1981), a alternância das fases de estabilidade e instabilidade, as quais originam quatro zonas distintas na paisagem: erosional (zona de remoção, que resulta na formação de solos jovens), coluvial (zona de adição, solos deposicionais), zonas de alternância (onde erosão e deposição se alternam), e zona de estabilidade (solos desenvolvidos), que podem ser relacionadas aos segmentos da paisagem propostos por Rhue & Walker (1968).

Segundo alguns autores (Butler, 1959; Bigarella et al., 1965; Uberti, 1981), após o estabelecimento da paisagem geológica, o desenvolvimento do relevo em degraus ou patamares se deve à interação dos fatores grau de resistência ao intemperismo e processos geomórficos condicionados pelo clima. O desenvolvimento do relevo sofre influência de glaciações e interglaciações (Nakata & Coelho, 1986), onde ocorreram eventos climáticos extremos, como períodos extremamente secos, alternados com épocas muito úmidas, além de frio intenso e fenômenos de acomodação do terreno como terremotos (Quinn, 1957).

As regiões do Planalto e Meio Oeste Catarinense são caracterizadas pela presença de rochas vulcânicas basálticas e ácidas. As menores declividades proporcionam moderada energia de arraste em áreas tabuliformes. Nas regiões de rochas vulcânicas ácidas, o relevo tabuliforme cede lugar a formas mais arredondadas. Aos patamares se associam as maiores espessuras de solo argiloso e, às escarpas, os solos rasos e afloramentos rochosos. Duas unidades geomorfológicas ocorrem na região de estudo: a Unidade Geomorfológica Planalto dos Campos Gerais, que se apresenta distribuída em bloco de relevos isolados pela segunda, a Unidade Geomorfológica Planalto Dissecado Rio Iguaçú/Rio Uruguai (Santa Catarina, 1986).

A unidade geomorfológica Planalto dos Campos Gerais representa área levemente inclinada com caimento natural para oeste relacionado ao mergulho das camadas da bacia designando o planalto catarinense como um planalto monoclinal. Caracteriza-se por um relevo relativamente plano e conservado, possui áreas com colinas suaves de pequeno desnível entre topo e vale, com ocorrência de rupturas de declive e sulcos estruturais associados. Algumas áreas desta unidade apresentam-se bem conservadas de morfologia planar formadas por processo de pediplanação em decorrência da erosão, logo, apresentam-se em estágio de degradação geralmente separadas de outros modelados por ressaltos topográficos ou escarpas. São notáveis nesta unidade corredeiras e cachoeiras, resultantes das diferenças internas nos derrames de lavas, bem como devido à falhamentos e diques de rochas ígneas mais resistentes, os quais podem seccionar o curso d'água possibilitando a formação de

belas paisagens (Leinz & Amaral, 1980). Essa unidade geomorfológica aparece de forma descontínua, ou seja, em blocos isolados ou compartimentos, referentes a processo de dissecação desenvolvido ao longo dos principais rios da área.

As formas do Planalto dos Campos Gerais são recortadas por áreas de relevo mais dissecado correspondentes a unidade geomorfológica Planalto Dissecado Rio Iguazu/Rio Uruguai, localizado topograficamente abaixo da referida unidade geomorfológica (Freitas et al., 2003).

No Planalto Dissecado Rio Iguazu/Rio Uruguai, as geoformas são produto da intensa dissecação diferencial provocada pela maior energia do relevo, configurando na paisagem encostas em patamar e profundos entalhamentos fluviais seguindo linhas estruturais mantendo esta característica para toda a unidade. Este aspecto estrutural pode ser mais bem evidenciado pela retilinização de segmentos dos rios, pelos cotovelos e pela ocorrência de lajeados, corredeiras, saltos, quedas e ilhas. Logo, a drenagem é composta de cursos sinuosos e vales encaixados. Observa-se nesta unidade interflúvio estreito de topo plano ou levemente convexizado, com vertentes de forte declividade configurando patamares, por vezes chamadas de escarpa. Nestas vertentes ocorrem com frequência anfiteatros erosivos e ravinas (Freitas et al., 2003).

A faixa de 800 a 1.200 m é a de maior ocorrência no estado, correspondendo à grande parte do planalto Ocidental. A maior parte da Serra Geral, que não passa de borda de planalto ou escarpa, encontra-se nesta faixa, delimitando o planalto Ocidental. A faixa de 1.200 a 1.600 m constitui as maiores altitudes da serra do Chapecó, da Taquara, do Espigão, da Pedra Branca, da Farofa, da Anta Gorda, do Mar e Geral. O trecho meridional da Serra Geral é a única região do estado onde as altitudes ultrapassam a cota de 1.600 m (Santa Catarina, 1986).

A altitude média das áreas de cultivo dos vinhedos cadastrados até 2013 foi de 1.136 m, o mais baixo localizado a 675 m e o mais alto a 1.452 m. A faixa de altitude entre 1.201 e 1.300 m foi a que apresentou a maior área plantada, correspondendo a 45,43 % do total. Foi nesta faixa que também ocorreu a maior expansão de área cultivada entre 2009 e 2013, alcançando aumento de 36 % na área. Apesar do regulamento da marca coletiva Acavitis limitar a faixa mínima de altitude para seus vinhedos em 900 m, foram identificados alguns vinhedos em altitudes inferiores, que correspondem a 12,61 % da área plantada (Vianna et al., 2016).

Os vinhedos de altitude apresentam diferentes aspectos fisiográficos, entre eles variação na declividade. A maior parte dos vinhedos está em terreno classificado como suave ondulado (3 e 8 %) e ondulado (8 a 20 %), segundo o sistema de classificação proposto por Uberti et al. (1991) e correspondem respectivamente a 39,38 % e 37,21 % dos vinhedos. A escolha de terrenos nessas condições de declividade pode ser favorável para otimizar a insolação, que também depende da orientação dos vinhedos e do sistema de condução. Já os terrenos planos, com declividades inferiores a 3 %, representam 22,96 % da área, facilitando a mecanização, podendo, porém, apresentar problemas relacionados com excesso de umidade.

Os vinhedos encontram-se instalados preferencialmente, de acordo com estudo de Vianna et al. (2016) no quadrante norte (N, NE e NO), com 194 ha (58,41 %). No quadrante oeste (O, SO) encontram-se 75,5 ha (22,73 %) e no quadrante leste (E, SE) 45,3 ha (13,65 %). Voltados para o sul, apenas 17,3 ha (5,22 %).

A orientação refere-se à direção da face das encostas e apresenta relação direta com o total de horas de sol e o ângulo de incidência dos raios solares, principalmente nas latitudes maiores. No hemisfério sul, as faces com orientação norte são aquelas que, durante o inverno, recebem mais insolação. As faces voltadas para leste são iluminadas primeiro, recebendo o sol da manhã e ficando sombreadas à tarde. Aquelas que estão orientadas para oeste permanecem sombreadas durante a manhã e recebem os raios solares à tarde.

2.4. Vegetação

As condições de relevo e clima permitem o estabelecimento de ampla variedade de vegetação (Santa Catarina, 1986), que é fator importante na formação e estabelecimento do solo e da paisagem. Combinando estes três fatores, mais o material de origem e o tempo geológico, é possível a ocorrência desde solos profundos e desenvolvidos pedogeneticamente, até solos mais rasos e pouco desenvolvidos, incluindo a ocorrência de solos férteis até solos de baixa fertilidade natural.

Em estudo realizado por Ledru (1993) no estado de Minas Geais, definiu as épocas das mudanças climáticas, confirmando períodos muito secos, com pouca vegetação ou predominância de gramíneas e vegetação rasteira; períodos frios e úmidos com predominância de coníferas como a floresta de araucárias, e quente e úmido com ausência da araucária e presença de vegetação mesofítica semidecídua.

O papel da vegetação na formação e estabelecimento do solo é importante, sendo diretamente relacionada à taxa de formação do solo (Almeida, 2000), pois a cobertura vegetal e a ação de raízes exercem influência na atenuação dos efeitos erosivos, tornando-se mais importantes quanto maior o declive (Resende et al., 2002).

Além disto, o tipo de cobertura define o predomínio de percolação vertical ou horizontal de água (Eswaran & DeConnick, 1971), bem como a população microbiológica que tenha afinidade com determinadas espécies vegetais que podem intensificar o intemperismo químico ao longo de muitos anos com seus compostos exudados (Robert & Berthelin, 1986; McKeague et al., 1986) e agentes de agregação que influem na estrutura do solo (Emerson et al., 1986).

A área de estudo é composta por Florestas Subtropicais, com destaque para a Floresta Ombrófila Mista (Floresta de Araucária) que transpõe as serras costeiras estendendo-se pelo Planalto Catarinense e ocorrem em geral em altitudes superiores a 500 m, onde as chuvas são bem distribuídas e a frequência média de geadas é de 10 a 25 dias ano⁻¹. Caracterizam-se por serem mais resistentes ao frio, pela coloração mais clara e por serem mais ralas e menos exuberantes em relação às florestas tropicais, a *Araucária angustifolia* é a principal espécie endêmica, possui extrato arbóreo e arbustivo, presença de epífitas e lianas (Lago, 1968).

A floresta de Araucária apresenta dois estratos formados pelas copas das árvores. O primeiro, mais baixo, é formado pelas copas de espécies de árvores angiospermas. O segundo é formado pelas araucárias (*Araucaria angustifolia*), que são gimnospermas. O estrato das araucárias é quase sempre mais alto do que o estrato das angiospermas, o que faz das Florestas Ombrófilas Mistas sistemas de dois componentes (gimnospermas-angiospermas).

Os Campos Subtropicais predominam no Planalto Catarinense, formando manchas em meio ao domínio da mata de araucária. Merece serem citados também os campos de Água Doce. Esta formação ocorre normalmente acima de 700 m de altitude, sob condições de clima mesotérmico úmido, com precipitações entre 1.600 e 2.000 mm, e temperaturas anuais entre 14 e 16 °C. São agrupamentos herbáceos formados por gramíneas, ciperáceas, compostas, leguminosas e verbenáceas, dando-lhes um aspecto de campos limpos. Este tipo de vegetação está normalmente associado à ocorrência de capões e florestas de galeria.

Os campos do Planalto (Campos de Altitude) aparecem como áreas isoladas, entremeadas à Mata de Araucária e coincidem com altitudes entre 900 e 1400 m. Predominam gramíneas de baixo e médio porte, além de ciperáceas, verbenáceas, leguminosas e compostas (Santa Catarina, 1986).

2.5. Panorama Atual da Vitivinicultura de Altitude

Santa Catarina figura hoje como segundo maior produtor de vinhos do país, com destaque na qualidade dos produtos em consequência de inúmeros investimentos do setor. Possui atualmente cerca de 3.000 ha de área plantada, envolvendo 2.000 famílias tanto no plantio como na elaboração de vinhos com uma produção de 45 milhões de quilos de uva ano-1 e 26 milhões de litros de vinho elaborados em 80 vinícolas instaladas no estado.

No ano de 2012, foram produzidos 21,18 milhões de litros de vinhos em Santa Catarina, sendo a maior parte ainda de vinhos de mesa, correspondendo 72,57% do total (Mello, 2013). Cerca de 80 % da produção de uvas americanas híbridas e européias encontra-se no alto vale do Rio do Peixe, no meio Oeste Catarinense, sendo que a migração dos colonos vindos do Rio Grande do Sul originou há mais de 100 anos a tradição vitivinícola.

A região carbonífera de SC é responsável hoje pela produção do exótico varietal Goethe, único no Brasil, o que confere ao estado de SC mais um diferencial de qualidade no setor. Destaca-se assim, que as bases lançadas pelos imigrantes italianos sedimentaram e consolidaram a atividade vitivinícola em Santa Catarina, especialmente no Vale do Rio do Peixe e no Litoral Sul catarinense (Kreuz et. al., 2005).

Entretanto, como parte das consequências da reconfiguração mundial da vitivinicultura, ultimamente vem ocorrendo o cultivo de uvas das variedades de castas europeias e a produção de vinhos em regiões de elevada altitude como observado na Costa Rica, no Quênia, na Bolívia, em Portugal, na Argentina (Lalas, 2013) e também no Brasil, no estado de Santa Catarina, nas regiões próximas a São Joaquim, Caçador e Campos Novos (Losso, 2010).

Nessas regiões catarinenses, identifica-se uma nova geração de vinhos e de empresários que simbolizam a revolução experimentada pela vitivinicultura catarinense, em busca de modernização para alcançar um novo patamar de mercado na virada para o século XXI. Assim, novos projetos e iniciativas tem surgindo nessas 3 regiões do Estado, que somam mais de 300 novos ha de uvas européias plantados por empresários de outros segmentos econômicos que apostam na produção de vinhos com alto valor agregado, a chamada região dos vinhos finos de altitude (Lombardo, 2013).

Nessas áreas foi realizado por Vieira & Zamparetti (2010), o cadastro dos vinhedos de altitude seguindo exigências cartográficas da lei 10.267 (Brasil, 2001) e conceitos conforme Fialho et. al., (2005). O levantamento de georreferenciamento dos vinhedos foi feito em duas etapas: a primeira realizada de junho de 2008 a novembro de 2009, e a segunda, de fevereiro a agosto de 2013. Para cada vinhedo foi cadastrado o ano de plantio, a variedade, o porta enxerto, o sistema de condução, a quantidade de filas, o espaçamento entre filas e o espaçamento entre plantas.

Os dados foram organizados em um banco de dados georreferenciados no Sistema de Informações Geográficas ArcGis, versão 9.3 e depois atualizado para a versão 10.1. Estes dados estão disponíveis em Epagri (2016). No primeiro levantamento foram georreferenciados 95 % dos vinhedos da Associação Catarinense dos Produtores de Vinhos Finos de Altitude (Acavitis), totalizando 42 estabelecimentos agropecuários com 257,45 ha de área plantada, distribuídos em 183 vinhedos e 400 setores. Em 2013 foi realizado um novo levantamento dos vinhedos no intuito de atualização dos dados e inclusão de novos produtores, que totalizou 53 produtores.

Os dados a seguir forma selecionados do trabalho de Vianna et al. (2016), mostrando o cenário atual da viticultura de altitude do estado de SC.

Os primeiros vinhedos foram implantados no fim dos anos 90, entretanto o período de maior expansão da atividade foi observado entre os anos de 2002 e 2006, com destaque para o ano de 2005, quando foram plantados quase 18 % da área atual. A primeira década de

implantação dos vinhedos apresentou uma taxa média de plantio de 25,8 ha ano⁻¹. A partir de 2008 a taxa de plantio reduziu para 17,6 ha ano⁻¹, mas mesmo assim a atividade continuou se expandindo.

Os vinhedos de altitude estão distribuídos em 13 municípios com destaque para o município de São Joaquim (50,6 % da área plantada) e Água Doce (15,3 %). As propriedades com as maiores áreas individuais estão em Água Doce, com média de 17,2 ha, Urupema 16,7 ha e Tangará 11,1 ha. São Joaquim é o município com maior número de propriedades (39,6 %), com uma área média de 7,6 ha por propriedade.

De acordo com o regulamento da marca coletiva Acavitis, a produtividade máxima nos vinhedos deve ser de 6.000 L ha⁻¹, o que confere à área levantada em 2013 um potencial produtivo máximo de 1.994.100 litros por safra. O regulamento também exige que os vinhos sejam produzidos apenas com uvas *Vitis vinífera*, que correspondem a 93,6 % da área plantada, sendo 72,6 % tintas e 21,1 % brancas. Há algumas coleções, que são vinhedos plantados com diversas variedades, inclusive algumas americanas, associadas normalmente a experimentos ou coleções particulares, que cobrem 6,4 % da área cultivada.

As cultivares com maior área plantada são Cabernet Sauvignon (37,9 %) e Merlot (14,5 %) entre os tintos e entre os brancos Chardonnay (8,1 %) e Sauvignon Blanc (7,5 %).

O sistema de condução mais usado nas propriedades é a espaldeira (84,8 % da área). Trata-se de uma orientação da marca coletiva Acavitis para reduzir a produtividade. Contudo, outros sistemas também foram adotados: Manjedoura, presente em 10,2 % da área; Latada em 1,7 %; Lira em 0,1 % e 3,2 % são vinhedos com outros sistemas de condução.

A escolha do sistema de condução e as práticas de manejo favorecem o controle das condições microclimáticas nos vinhedos. Este maior controle auxilia na relação crescimento vegetativo-produção e na elevação do potencial enológico da uva (Santos, 2006). A escolha do sistema de condução deve ser feita de acordo com as características fisiográficas do local de implantação do vinhedo.

3. CAPÍTULO I

CARACTERIZAÇÃO DE SOLOS DAS REGIÕES PRODUTORAS DE VINHOS FINOS DE ALTITUDE EM SANTA CATARINA

3.1. RESUMO

Os objetivos deste capítulo foram a caracterização morfológica, física e química dos solos, avaliar a distribuição e a interação dos fatores de formação dos solos em perfis de regiões altomontanas de SC. Foram realizadas coletas de solos nas regiões produtoras de vinho de altitude, totalizando a descrição de 38 perfis modais. A partir dos dados morfológicos e dos atributos físicos e químicos, os solos foram avaliados quanto à pedogênese e classificados de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Os resultados indicam que a pedogênese dos solos da região foi mais fortemente influenciada pelo material de origem, clima e relevo. Nas áreas das rochas efusivas básicas (basalto) observa-se a formação de extensas áreas de solos com textura muito argilosa, de cores avermelhadas e com maiores teores de óxidos de ferro onde ocorreu a predominância de Nitossolos Vermelhos e Háplicos, Latossolos Vermelhos e Cambissolos Háplicos, destacando os processos pedogenéticos de eluviação e iluviação de argila e de latossolização, favorecidos pelo grande volume e boa distribuição da precipitação ao longo do ano e pela estabilidade do relevo. Já na área de ocorrência das rochas efusivas ácidas (riodacitos) foram verificados solos de textura média ou argilosa, menores conteúdos de óxidos de ferro, invariavelmente ácidos e com baixos teores de bases. Para estes solos, o relevo promoveu grande remoção de material, resultando em intenso rejuvenescimento, com predomínio de Cambissolos Háplicos e a presença em menor número de Nitossolos Brunos e Neossolos Litólicos. Os solos formados a partir de rochas sedimentares, também se apresentaram ácidos e com baixa saturação por bases, com maiores teores de areia, sendo nessas áreas identificados Cambissolos Háplicos e Húmicos. A análise do agrupamento separou pela similaridade os perfis de solo em três grupos: o primeiro, maior, é formado pelos perfis originados de rochas efusivas como riodacitos e sedimentares, o segundo grupo, menor, é formado apenas pelos quatro perfis da região de Água Doce (rochas efusivas ácidas) e o terceiro formado pelos perfis oriundos do basalto. A análise discriminante foi eficiente no agrupamento das classes de solo. Desta forma, destaca-se a importância da geologia para a formação dos solos desta paisagem, associados ao clima e ao relevo.

Palavras-chave: Pedogênese. Geologia. Formação de solos. Classificação taxonômica.

3.2. ABSTRACT

The objectives of this chapter are the physical characterization and soil chemistry, evaluate the distribution and interaction of training factors of soils in profiles altomontanas regions of SC. Soil samples were collected in the altitude producing regions of wine, totaling the description of 38 modal profiles. From the morphological data and the physical and chemical properties, soil were evaluated for pedogenesis and classified according to the Brazilian System of Soil Classification. The results indicate that the region pedogenetic the soil was strongly influenced by the source material, weather and terrain. In the areas of basic effusive rocks (basalt) observed the formation of extensive areas of soils with clayey, reddish color and higher iron oxides content which occurred the predominance of Nitossols Red and Haplic, Oxisols and Cambisols Haplic highlighting the pedogenic processes Elution and clay Illuvial and latosolization, favored by the large volume and good distribution of rainfall throughout the year and the relief stability. In the area of occurrence of acid effusive rocks (rhyodacites) average or clayey soils were checked, lower content of iron oxides invariably acids and bases with low levels. For these relief soil promoted large removal of material, resulting in intense rejuvenation, with a predominance of Cambisols Haplic and presence in fewer Nitossols Brunos and Litholic Neosols. Soils formed from sedimentary rocks, also showed up acid and low base saturation, but with higher sand content, and those areas identified Cambisols Haplic and Humic. Cluster analysis separated by the similarity the soil profiles in 3 groups: the first, largest, is formed by the originating profiles of rocks as rhyodacites and sedimentary, the second group, the lower is formed only by four profiles of Freshwater region (acid rocks) and the third formed by the profiles derived from basalt. The discriminant analysis was efficient in the grouping of soil types. Thus, it highlights the importance of geology for the formation of this landscape soils associated with the climate and topography.

Keywords: Pedogenesis. Geology. Soil formation. Taxonomic classification.

3.3. INTRODUÇÃO

Os solos formados nas regiões de altitude do estado de SC são caracterizados por apresentarem grande acúmulo de matéria orgânica (MO) nos horizontes superficiais e pela grande variação quanto ao desenvolvimento pedogenético, devido ao intemperismo diferenciado em função, principalmente, da natureza do material de origem (rochas) e clima (altitude).

Nestes ambientes, o clima mais frio, associado aos maiores teores de alumínio atua diminuindo a atividade biológica e conseqüentemente retardam a decomposição e mineralização da MO, fazendo com que ela se acumule nos horizontes superficiais, podendo levar a formação de horizontes de constituição orgânica (hísticos) ou mineral como o A húmico (Almeida et al., 2000).

A variação das rochas seja pela sua composição mineralógica ou granulometria terá influência na velocidade de intemperismo e conseqüentemente na composição dos solos, principalmente os teores de argila, o tipo de mineral de argila e a presença expressiva de elementos como alumínio e ferro.

Devido à dinâmica do clima, da MO e da composição das rochas, predominam nas regiões de altitude solos com coloração brunada ou bruno-amarelada, associada aos altos teores de MO. Esta última influencia tanto a formação quanto na persistência de formas dos óxidos de ferro, em geral, favorecendo a goethita em detrimento a hematita, promovendo o amarelecimento dos solos (Schwertmann & Taylor, 1989; Almeida et al., 2000).

Somado aos fatores clima e material de origem, a ação do relevo reflete diretamente sobre a dinâmica da água e indiretamente sobre o regime de umidade dos solos, através da incidência diferenciada da radiação solar, do decréscimo da temperatura com o aumento da altitude e sobre os tipos de vegetação natural, também importante fator na formação dos solos. Os solos de relevo íngreme são submetidos ao rejuvenescimento, através de processos erosivos resultando em solos menos profundos e menos evoluídos do que os situados em condições de relevo mais suave, onde as condições hídricas determinam ambiente com solos mais profundos (Silva et al., 2009a).

Desta forma, os solos desenvolvidos nessa região apresentam características peculiares. Atualmente, é escasso o conhecimento em relação às características dos solos formados neste ambiente. Tal conhecimento pode contribuir no monitoramento das mudanças ocorridas no ambiente do solo, bem como do comportamento dos solos em sistemas agrícolas. Visto que essas áreas vêm sofrendo contínua e rápida substituição da paisagem, reforçada pela tradição florestal da região, que acarreta intensa descaracterização e fragmentação dos diferentes ambientes que os compõem (Boldrini, 2009).

A partir do exposto, a hipótese deste estudo é que a ocorrência dos solos das regiões altomontanas produtoras de vinhos finos em Santa Catarina e a sua gênese são influenciadas pela interação dos fatores material de origem e clima, que ocorrem de forma diferenciada em função do gradiente altitudinal.

O objetivo deste estudo foi caracterizar os solos, avaliar a distribuição e a interação dos fatores de formação dos solos de regiões de altitude do estado de Santa Catarina.

3.4. MATERIAL E MÉTODOS

3.4.1. Coleta de Amostras e Análises Laboratoriais

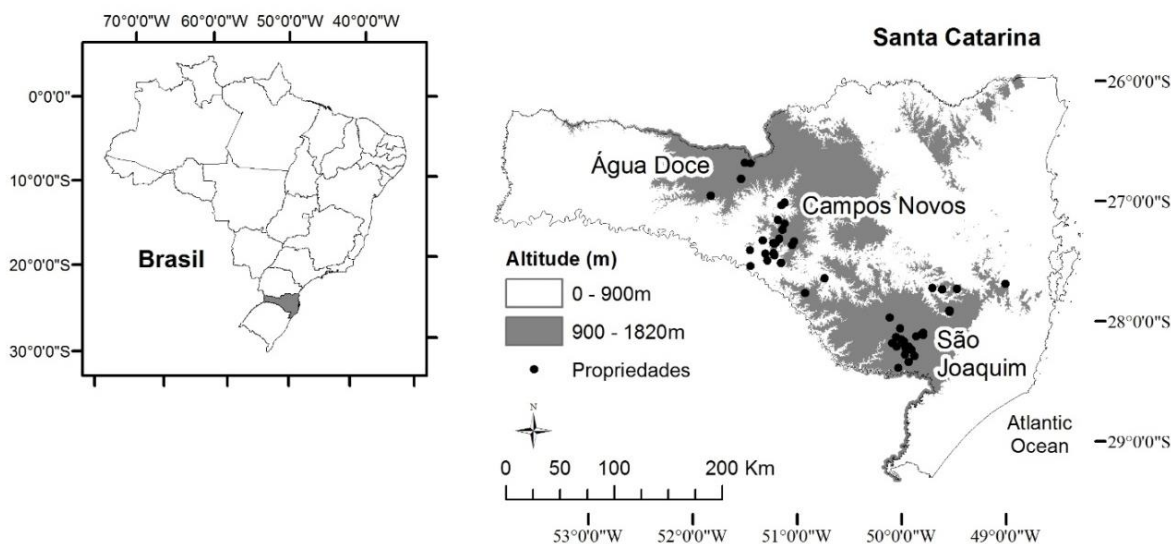


Figura 2. Regiões de altitude do estado de Santa Catarina e a distribuição dos perfis de solos coletados.

Foram abertas trincheiras para coleta de 38 perfis modais (Figura 2), descritos segundo Santos et al. (2013b). As amostras de todos os horizontes foram secas, destorroadas e passadas por peneira (2 mm), constituindo a terra fina seca ao ar (TFSA).

Na Tabela 1 são apresentados os perfis de solo por região e características gerais dos pontos de coleta nas regiões de altitude do estado de SC.

Foram avaliados os atributos químicos: pH em água, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+ , P e Al^{3+} ; físicos: densidade de partículas (D_p) e granulometria (areia, silte e argila) de acordo com Veiga (2011), e calculados: Soma de Bases (SB), CTC (pH 7,0), atividade da argila (Targ) e grau de floculação (GF). Os teores de SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 foram determinados após digestão ácida (método do ataque sulfúrico), a partir dos quais foram calculados os índices k_i e k_r conforme metodologia preconizada por Camargo et al. (1986). Todas as análises foram realizadas no laboratório de solos da Epagri, no município de Chapecó, SC.

Na Tabela 1 são apresentadas as características gerais das áreas onde foram amostrados os perfis, separados por região.

A partir dos atributos morfológicos e dos dados de análises físicas e químicas, os perfis de solo foram classificados segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) (Santos et al., 2013a).

3.4.2. Análise dos Dados

De acordo com a geologia, os perfis de solo foram agrupados em quatro regiões, também identificadas pelos municípios sede: I - região de rochas sedimentares - perfis 1 a 4 (Bom Retiro e Urubici); II - região de rochas ígneas ácidas - riodacito - perfis 5 a 21 (São Joaquim); III - região de rochas ígneas - basalto - perfis 22 a 34 (Campos Novos); e IV - região de rochas ígneas ácidas - tipo Palmas - perfis 35 a 38 (Água Doce).

As inferências teóricas sobre a pedogênese foram realizadas a partir da análise conjunta dos atributos morfológicos, químicos, físicos e mineralógicos relacionados como fatores de formação dos solos e processos pedogenéticos.

Tabela 1. Perfis de solo por região e características gerais dos pontos de coleta nas regiões de altitude do estado de Santa Catarina.

Região	Perfil	Atitude (m)	Município	Geologia	TC (*)	Relevo regional
I	1	902	Bom Retiro	Sedimentos siltico-argilos	4A	Ondulado a forte ondulado
	2	864	Bom Retiro	Sedimentos siltico-argilos	4A	Ondulado a forte ondulado
	3	1.144	Urubici	Arenito, pelito e folhelho	5	Forte ondulado
	4	1.059	Urubici	Arenito, pelito e folhelho	5	Forte ondulado
II	5	1.258	São Joaquim	Riodacito	4A	Forte ondulado
	6	1.282	São Joaquim	Riodacito	4A	Forte ondulado
	7	1.259	São Joaquim	Riodacito	4A	Forte ondulado
	8	1.359	São Joaquim	Riodacito	4A	Forte ondulado
	9	1.259	São Joaquim	Riodacito	5	Ondulado a forte ondulado
	10	1.304	São Joaquim	Riodacito	5	Ondulado a forte ondulado
	11	1.274	São Joaquim	Riodacito	5	Ondulado a forte ondulado
	12	1.240	São Joaquim	Riodacito	5	Ondulado a forte ondulado
	13	1.227	São Joaquim	Riodacito	5	Ondulado a forte ondulado
	14	1.302	São Joaquim	Riodacito	5	Ondulado a forte ondulado
	15	1.301	São Joaquim	Riodacito	5	Ondulado a forte ondulado
	16	1.270	São Joaquim	Riodacito	5	Ondulado a forte ondulado
	17	1.328	São Joaquim	Riodacito e andesito	4A	Ondulado a forte ondulado
	18	1.112	São Joaquim	Riodacito e andesito	4A	Ondulado a forte ondulado
	19	1.146	São Joaquim	Riodacito	5	Ondulado a forte ondulado
	20	1.109	Urupema	Riodacito	4A	Ondulado a forte ondulado
	21	1.217	São Joaquim	Riodacito	4A	Ondulado a forte ondulado
III	22	900	C. Belo do Sul	Basalto e diabásio	3A	Ondulado a forte ondulado
	23	989	Cerro Negro	Basalto básico vesiculado	3A	Ondulado a forte ondulado
	24	869	C. Novos	Basalto e diabásio	3A	Suave ondulado a ondulado
	25	976	C. Novos	Basalto e diabásio	3A	Suave ondulado a ondulado
	26	877	C. Novos	Basalto e diabásio	3A	Suave ondulado a ondulado
	27	852	C. Novos	Basalto e diabásio	3A	Suave ondulado a ondulado
	28	949	C. Novos	Basalto e diabásio	3A	Suave ondulado a ondulado
	29	880	C. Novos	Basalto e diabásio	3A	Suave ondulado a ondulado
	30	912	Tangará	Basalto e diabásio	3A	Ondulado a forte ondulado
	31	1.162	Tangará	Basalto e diabásio	3A	Ondulado a forte ondulado
	32	1.055	Tangará	Basalto e diabásio	3A	Ondulado a forte ondulado
	33	919	Videira	Basalto e diabásio	3A	Ondulado a forte ondulado
	34	849	Videira	Basalto e diabásio	3A	Ondulado a forte ondulado
	IV	35	1.183	Vargem Bonita	Riolito, andesito e riodacito	4B
36		1.330	Água Doce	Rochas vulcânicas ácidas	4B	Ondulado
37		1.260	Água Doce	Rochas vulcânicas ácidas	4B	Ondulado
38		1.260	Água Doce	Rochas vulcânicas ácidas	4B	Ondulado

(*) TC: Tipo climático, Braga & Ghellere (1999)

Como suporte à tomada de decisão, os atributos determinados foram submetidos à estatística descritiva e a similaridade entre os perfis de solos foi avaliada por meio da análise multivariada, através de dados quantitativos utilizados para estimar a distância euclidiana, gerando a matriz de dissimilaridade, onde se aplicou o método de agrupamento hierárquico do vizinho mais próximo, a partir da apresentação de um dendrograma de similaridade (Johnson & Wichern, 2007). Nesta análise foram utilizados os atributos físicos e químicos dos horizontes subsuperficiais.

Na diferenciação e caracterização dos solos, foi realizada a análise discriminante, utilizada no intuito de separar conjuntos distintos das observações (atributos físicos e químicos) e fixar novos grupos previamente definidos (classes de solo), permitindo a visualização dos grupos em um espaço multidimensional, e indicando a contribuição das variáveis originais para cada função discriminante. Para esta análise foram utilizadas todas as variáveis avaliadas nos horizontes A e B (quando presente) separadamente. Quando da ocorrência de mais de um horizonte B utilizou-se o horizonte que representasse a maior expressão no perfil do solo.

Todas as análises foram realizadas pelo programa SPSS 20.0 (Statistical Package for Social Sciences).

3.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.5.1. Caracterização e Distribuição dos Solos nas Regiões

Na região I, entre os fatores de formação destaca-se o material de origem que determinou de maneira geral a granulometria mais grosseira para os perfis quando comparada aos das demais regiões. A ação deste fator associado ao clima frio e úmido levou a formação de solos com baixa soma e saturação por bases, elevados teores de alumínio (acima de 4,0 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), caráter alítico (Santos et al., 2013a) (P1, P3 e P4) e argila de atividade alta ($T \geq 27,0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ argila). O clima úmido e frio também contribuiu para os elevados teores de carbono, inclusive no horizonte B do perfil 4, que apresentou teores de 19 g kg^{-1} (Tabela 2), resultando em horizontes que foram classificados como A húmico (P3 e P4) e A proeminente (P2) (Santos et al., 2013a).

Tabela 2. Atributos físicos e químicos dos horizontes A e B de perfis de solos da região I (rochas sedimentares), localizados nos municípios de Urubici e Bom Retiro, SC.

P	H	Ag	Ar	Gf	COT	pH	SB	Al ³⁺	CTC	T _{arg}	V	m	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	ki	kr
		---g kg ⁻¹ ---		%	g kg ⁻¹			-----cmol _c kg ⁻¹ -----			%		-----g kg ⁻¹ -----				
1	A	360	319	30	24,2	4,7	2,8	3,2	18,4	51,1	16	53	36,4	97,4	67,1	0,64	0,44
	Bi	470	308	45	7,4	4,3	0,8	5,3	28,6	60,9	3	87	34,7	122,8	70,2	0,48	0,35
2	A	310	359	36	22,3	4,1	7,3	1,4	33,8	109,0	21	16	31,9	67,3	56,0	0,81	0,53
	Bi	490	350	53	8,7	4,4	13	2,0	43,9	89,6	30	13	35,0	128,7	73,6	0,46	0,34
3	A	296	343	76	19,8	4,2	1,4	7,0	27,8	93,9	5	83	43,8	94,0	48,7	0,79	0,60
	Bi	360	303	58	3,4	4,2	1,2	5,7	15,2	42,2	8	83	38,1	154,8	90,5	0,42	0,30
4	A	200	456	42	22,4	4,4	2,9	2,2	12,4	62,0	25	43	22,3	78,6	34,2	0,48	0,38
	Bi	200	438	54	18,6	4,3	0,5	5,2	15,3	76,5	3	91	29,0	111,5	42,4	0,44	0,36

P= perfil; H = horizonte; Ag= argila; Ar= areia; Gf= grau de floculação; Sb= soma de bases; T_{arg}= atividade da argila; V= saturação por bases; m= saturação por alumínio.

A baixa saturação por bases, com valores variando de 3 a 30 %, indicou que os solos da região I são bastante intemperizados e com elevada saturação por Al (superior a 80 %). Os valores relativamente baixos de ki (entre 0,42 a 0,48) e kr (de 0,30 a 0,36) no horizonte B, retratam elevado estágio de intemperismo, indicando uma mineralogia predominantemente oxidica. Os teores de Al₂O₃ e Fe₂O₃ aumentam do topo para a base dos perfis, sendo observado padrão contrário para os teores de SiO₂ que apresentaram decréscimo em profundidade. Portanto, a baixa saturação por bases destes solos pode ser decorrente do intemperismo prévio do material de origem e contínua lixiviação a que o solo é submetido em ambiente climático bastante úmido.

O relevo variou de ondulado a forte ondulado, o que promoveu grande remoção de material, submetendo os perfis a intenso processo de rejuvenescimento. A permanência de fragmentos de rochas, cascalhos e calhaus nos perfis, parece indicar que processos de erosão, transporte e deposição tiveram forte influência na formação dos solos, associado à resistência da rocha ao intemperismo. Os perfis revelaram baixo grau de pedogênese, não sendo observada a ocorrência de nenhum processo pedogenético específico, caracterizando os solos com horizonte diagnóstico subsuperficial Bi (incipiente).

Os perfis 3 e 4 foram classificados como Cambissolos Húmicos Alíticos típicos, e o perfil 1 Cambissolo Háptico Alítico típico. As principais variações estão no perfil 2, classificado como Cambissolo Háptico Ta Distrófico léptico e também a ocorrência do horizonte diagnóstico superficial A húmico nos perfis 3 e 4.

As regiões II, III e IV são formadas por rochas ígneas, porém constituídas de diferentes materiais de origem, pelo fato do vulcanismo no estado de SC não ter ocorrido de forma homogênea, sendo observada a presença de rochas desde caráter mais ácido até básicas. Todos os perfis apresentam elevado teor de argila, variando no horizonte B, de 350 a 570 g kg⁻¹ na região II, entre 450 a 743 g kg⁻¹ na região III e de 489 a 613 g kg⁻¹ na região IV, indicando que os minerais essenciais como os plagioclásios, piroxênios e feldspatos alcalinos dos riódacitos (Clemente & Azevedo, 2007) e os plagioclásios, piroxênios e olivinas dos basaltos (Corrêa, 2003) foram completamente intemperizados formando argilominerais e óxidos.

Na região II, os solos são originados de riódacitos e estão localizados em altitudes que variam de 1.109 a 1.325 m, o clima é um fator de formação de grande importância, tanto pelas baixas temperaturas, que estão entre as mais baixas do Brasil, assim como pela elevada umidade. Essas características, relacionadas com o material de origem condicionando elevados teores de argila, refletiram na formação de solos com baixa soma (1,2 a 3,6 cmol_c kg⁻¹) e saturação por bases (11 a 39 %), elevados teores de alumínio na maioria dos perfis, caráter alítico nos perfis 9, 10, 14 e 21 e argila de atividade alta (Perfis 6, 9, 10, 11 e 21), conforme dados apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Atributos físicos e químicos dos horizontes A e B de perfis de solos da região II (ígneas ácidas), localizados nos municípios de São Joaquim e Urupema, SC.

P	H	Ag	Ar	Gf	COT	pH	Sb	Al ³⁺	CTC	T _{arg}	V	m	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	ki	kr
		----g kg ⁻¹ ----		%	g kg ⁻¹			-----cmol _c kg ⁻¹ -----					-----g kg ⁻¹ -----				
5	A	350	239	42	31,9	4,9	12,0	0,8	20,2	57,7	60	6	41,4	137,2	90,2	0,51	0,48
	Bt	540	186	89	12,4	4,7	3,6	3,0	12,1	22,4	30	45	43,2	165,8	93,1	0,44	0,48
6	A	560	104	66	17,3	5,3	4,3	2,2	18,6	33,2	23	34	43,2	148,7	91,5	0,49	0,49
7	A	496	122	54	25,8	5,0	7,5	0,8	17,4	35,1	43	10	42,8	163,2	82,7	0,45	0,54
	Bt	565	76	20	8,4	4,7	1,6	2,1	12,3	21,8	14	57	55,1	150,3	86,8	0,62	0,66
8	A	470	148	43	27,2	5,4	8,7	0,9	22,9	48,7	38	9	167,0	51,4	144,2	5,52	1,20
	Bi	530	113	30	18,8	5,2	3,0	1,5	13,0	24,5	24	33	167,8	80,4	90,7	3,35	1,92
9	A	453	147	27	11,4	5,1	9,2	1,6	14,8	32,7	63	15	32,2	154,7	90,9	0,35	0,37
	Bi	494	127	35	9,5	4,5	2,7	5,3	21,1	42,7	13	66	33,6	150,3	88,2	0,38	0,40
10	A	439	258	28	39,2	5,0	5,3	1,8	9,4	21,4	60	25	38,9	144,9	94,1	0,46	0,43
	Bi	450	155	42	18,7	4,7	4,0	5,3	19,5	43,3	20	57	40,2	154,5	93,3	0,44	0,45
11	A	323	173	75	33,4	5,3	7,1	2,6	18,7	57,9	38	27	40,4	110,3	92,8	0,62	0,45
	Bi	452	155	20	17,2	4,9	2,5	3,2	12,3	27,2	20	56	47,2	144,9	92,3	0,55	0,53
12	A	303	257	35	30,1	5,1	7,6	0,6	15,1	49,8	50	7	40,8	118,7	96,8	0,58	0,44
	Bi	500	146	44	15,8	4,5	1,8	3,8	8,4	16,8	24	68	44,3	150,2	96,2	0,50	0,48
13	A	400	258	44	284	5,5	6,7	0,0	10,3	26,8	68	0	129,1	55,9	76,4	3,93	1,75
	Bi	570	139	27	20,2	4,7	1,2	3,1	7,4	13,0	17	72	298,0	163,4	120,3	3,10	2,57
14	A	318	116	65	39,1	5,5	6,6	2,9	19,6	61,6	33	12	46,4	118,4	97,8	0,67	0,49
	Bi	428	113	16	16,9	5,2	2,5	4,4	11,1	25,9	21	49	38,5	78,3	94,2	0,84	0,42
15	A	230	370	27	25,0	6,5	16,4	0,0	18,2	79,1	91	0	36,5	87,7	138,3	0,71	0,27
	Bi	350	204	38	9,5	5,3	22,3	2,3	26,6	76,0	83	9	44,9	175,8	136,5	0,43	0,34
16	A	457	111	61	21,3	5,2	12,1	0,5	21,8	47,7	56	4	71,4	34,4	73,9	3,53	1,00
	Bi	536	100	57	10,2	4,4	3,5	2,3	12,9	24,1	28	40	67,1	33,3	74,2	3,43	0,94
17	A	417	105	40	23,7	5,1	5,9	1,2	17,2	41,2	34	17	30,2	142,1	33,4	0,36	0,94
	Bi	560	80	21	10,0	4,5	2,2	3,5	12,4	22,1	19	61	22,2	150,0	95,8	0,25	0,24
18	A	462	91	63	35,4	5,2	11,0	0,5	23,0	49,8	48	4	41,2	120,7	98,7	0,58	0,43
	Bi	527	62	35	10,4	5,3	6,0	1,2	12,4	23,5	48	1	40,8	142,6	93,2	0,49	0,45
19	A	451	98	31	34,6	5,5	9,1	0,6	14,2	31,5	68	6	84,8	38,3	73,1	3,76	1,20
	Bi	565	41	95	6,4	5,7	3,9	1,1	9,3	16,5	43	22	87,4	29,2	80,0	5,09	1,13
20	A	543	146	89	30,8	5,5	6,7	1,7	18,6	34,3	35	20	141,1	65,8	112,6	3,65	1,30
	Bi	570	110	74	14,2	5,3	1,8	3,7	10,9	19,1	16	67	144,8	70,1	123,1	3,51	1,22
21	A	330	259	36	23,8	4,5	5,5	2,5	17,7	53,6	31	31	34,9	170,5	95,3	0,35	0,38
	Bi	520	223	32	4,5	4,3	1,2	5,3	18,8	36,2	6	82	36,0	250,2	90,5	0,24	0,41

P= perfil; H = horizonte; Ag= argila; Ar= areia; Gf= grau de flocculação; Sb= soma de bases; T_{arg}= atividade da argila; V= saturação por bases; m= saturação por alumínio.

O clima frio e úmido desta região, decorrente das maiores altitudes, favorece a alta lixiviação de bases, contribuindo para aumento dos teores de alumínio trocável, resultando em solos quimicamente ácidos (Almeida et al., 2000). Esta condição de clima favoreceu baixas taxas de mineralização da MO, propiciando elevados teores de C orgânico no solo, que alcançaram 39 g kg^{-1} no horizonte superficial dos perfis 10 e 14. Assim, destaca-se a influência dos fatores clima e organismos no acúmulo de C nos horizontes superficiais.

O fator relevo, que variou de ondulado a forte ondulado, promoveu grande remoção de material, com intenso rejuvenescimento na maioria dos perfis, não sendo observada a expressão de processo pedogenético específico, caracterizando 13 perfis como Cambissolos e o perfil 6, como Neossolo Litólico Distrófico típico. Os elevados teores de carbono em superfície não foram suficientes, na maioria dos casos, para caracterizar os horizontes A húmico, fato relacionado à pequena espessura do horizonte A.

Nas áreas de menor declividade do relevo, que favoreceram maior infiltração de água no perfil do solo, foram observados solos com maior desenvolvimento pedogenético. Alguns solos são formados pelo processo pedogenético específico eluviação/iluviação, como evidenciado nos perfis 5, 7 e 18. Nestes solos ocorreu translocação de argila do horizonte A para o horizonte B, com a expressão muito evidente de cerosidade nas faces dos agregados, que são bem desenvolvidos, refletindo a gênese do horizonte B nítrico, identificando a ordem dos Nitossolos.

No nível categórico de Subordem, os perfis 5 e 7 foram classificados como Nitossolos Brunos, reflexo do clima que condicionou cores mais brunadas, com matizes variando de 10YR a 7,5YR. Ainda, a presença da goethita, que tende a ser o óxido de Fe mais presente em solos de região fria e úmida (Schwertmann & Taylor, 1989), já que a formação da hematita é suprimida devido ao acúmulo de compostos orgânicos que impedem a formação de ferrihidrita (precursor da hematita) (Inda Junior, 2002). Todos os Cambissolos por não apresentarem nenhuma característica distintiva foram classificados como Háplicos.

No terceiro nível, Grande grupo, os perfis 9, 10, 14 e 21 foram classificados como alíticos; já o perfil 7 apresentou caráter alumínico (teor de $\text{Al} \geq 4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, atividade argila $< 20 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ e saturação por $\text{Al} \geq 50 \%$ e/ou $V < 50 \%$). Os demais perfis apresentaram-se como distróficos, sendo que o P11 possui argila de atividade alta ($\geq 27 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) associada à baixa saturação por bases. Os demais perfis apresentaram argila de atividade baixa.

No nível de Subgrupo, o perfil 11 foi identificado como léptico, presença de contato lítico entre 50 e 100 cm contados a partir da superfície, enquanto o P5 foi classificado como húmico. Os demais, por não apresentarem nenhum atributo diagnóstico distintivo, foram classificados como típicos.

A baixa saturação por bases, com valores no horizonte B entre 6 a 48 % (exceto P15), indica o alto grau de lixiviação dos solos deste grupo, com elevada acidez potencial ($\text{H}^+ + \text{Al}^{+3}$) e com grande parte do complexo sortivo ocupado pelo Al^{+3} (Tabela 3). Entretanto são observados valores inferiores aos das regiões I e IV e similares aos da região III.

Os conteúdos de argila são muito altos e os teores de areia total muito baixos neste solo. Embora haja diminuição dos valores de SiO_2 , caracterizando perda de sílica em função da alteração dos minerais primários, a resistência ao intemperismo imposta pela mineralogia do riodacito e a seleção de frações de maior tamanho ainda manteve altos os teores de Si nos horizontes, quando comparados aos perfis da região III (basalto). Estes resultados indicam que os minerais essenciais do riodacito (plagioclásios, piroxênios e feldspatos alcalinos) foram bastante intemperizados, formando argilominerais e óxidos.

Os altos valores de k_i , entre 3,1 e 5,5 nos perfis 8, 13, 16, 19 e 20 (Tabela 3) indicam que nestes perfis há evolução direcionada à formação de minerais 2:1 intercalados com minerais 1:1. Segundo nas imediações de São Joaquim e Água Doce predominam rochas de caráter mais ácido nessa formação (riodacitos), que ao contrário dos basaltos típicos

apresentam conteúdo mais alto de sílica, com teores próximos ou acima de 60 % (Teske, 2010).

Na região III, solos desenvolvidos de basalto e localizam-se em menores altitudes quando comparados às demais regiões, entre 832 a 1.128 m, o material de origem é responsável pela textura muito argilosa (superiores a 600 g kg⁻¹), exceto os perfis 23, 30, 31 e 32 que apresentaram textura argilosa no horizonte B (Tabela 4). O relevo teve grande reflexo no intemperismo destes solos, devido a sua menor declividade (suave ondulado a ondulado), permitindo maior infiltração de água no interior do solo e resultando em solos mais profundos. Este fato também explica os baixos valores de soma de bases, inferiores a 3,0 cmol_c kg⁻¹, exceto em P23 e P32. Os teores de Al trocável apresentaram grande variação entre os perfis, de 0,4 (P32) a 6,5 (P34); assim como a saturação por bases (V) com valores extremos de 2 % (P34) e 81 % (P32), enquanto nos demais perfis oscilaram entre 8 e 28 % no horizonte B.

Tabela 4. Atributos físicos e químicos dos horizontes A e B de perfis de solos da região III (ígneas básicas), localizados na região de Campos Novos, SC.

P	H	Ag	Ar	Gf	COT	pH	Sb	Al ³⁺	CTC	T _{arg}	V	m	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	ki	kr
		---g kg ⁻¹ ---	%	%	g kg ⁻¹		-----cmol _c kg ⁻¹ -----	---	---	---	%		-----g kg ⁻¹ -----	---	---		
22	A	543	90	56	33,8	5,2	11,8	0,2	19,2	35,4	62	2	17,2	120,2	97,4	0,24	0,16
	Bt	690	43	64	15,2	4,6	2,4	2,0	10,4	15,1	24	45	20,3	140,0	96,1	0,25	0,17
23	A	320	170	25	23,7	6,8	16,1	0,0	16,6	51,9	92	0	34,8	172,8	112,0	0,34	0,24
	Bi	450	153	41	15,3	4,5	4,7	5,3	30,2	57,1	16	53	34,7	95,5	124,6	0,62	0,34
24	A	455	121	38	38,2	6,1	15,6	0,3	15,7	34,5	98	2	9,4	120,9	101,1	0,13	0,09
	Bt	602	39	24	18,0	4,6	2,5	3,1	9,4	15,6	28	55	11,2	167,2	107,5	0,11	0,08
25	A	449	33	51	63,8	5,2	7,4	0,5	16,6	37,0	42	6	21,1	187,1	153,6	0,19	0,13
	Bt	657	27	30	28,2	4,5	1,5	4,0	11,2	17,0	13	73	46,6	212,3	150,6	0,37	0,26
26	A	663	23	47	26,7	5,3	8,4	0,6	18,0	27,1	46	7	25,5	140,7	93,0	0,31	0,22
	Bw	677	20	93	13,2	5,0	0,8	1,7	7,3	10,8	11	68	12,3	177,7	136,8	0,12	0,08
27	A	671	16	54	16,7	5,5	4,9	1,6	13,2	19,7	38	25	9,4	180,3	145,8	0,09	0,06
	Bw	743	11	99	12,4	5,2	1,5	0,6	6,4	8,6	25	29	12,2	173,8	142,3	0,12	0,08
28	A	422	50	34	26,7	4,5	10,0	0,6	16,7	39,6	58	6	41,7	203,4	158,7	0,35	0,23
	Bi	631	25	46	8,4	4,2	2,1	2,2	10,1	16,0	21	51	42,5	262,4	157,5	0,28	0,20
29	A	472	76	47	22,1	5,8	13	0,5	20,4	43,2	64	4	12,8	142,3	135,3	0,15	0,10
	Bt	687	31	24	17,4	4,5	1,9	2,7	10,8	15,7	17	59	18,0	164,5	134,2	0,19	0,12
30	A	415	39	30	19,0	5,0	8,6	0,3	20,2	48,7	44	3	30,3	127,5	93,4	0,40	0,28
	Bt	592	62	75	15,4	4,3	2,0	2,1	16,1	27,2	13	67	25,1	170,0	92,2	0,25	0,19
31	A	436	83	59	24,4	4,2	1,8	2,7	25,6	58,7	7	76	54,6	158,3	153,7	0,59	0,36
	Bi	456	89	52	14,8	4,5	2,2	3,0	14,2	31,1	16	58	44,5	58,4	126,8	1,30	0,54
32	A	427	30	44	23,9	5,0	8,2	0,6	16,6	38,9	48	67	44,0	114,4	98,1	0,65	0,42
	Bt	562	80	96	6,4	5,0	10,7	0,4	13,1	23,3	81	4	37,2	155,5	94,0	0,41	0,29
33	A	568	82	38	17,2	5,3	11,9	0,4	17,0	29,9	72	3	34,2	144,6	93,5	0,40	0,28
	Bt	635	55	99	6,3	4,3	2,9	2,4	10,5	16,5	26	45	34,8	162,9	94,3	0,36	0,27
34	A	539	17	37	20,1	4,8	4,8	2,9	16,9	31,4	28	38	31,2	150,2	93,4	0,35	0,25
	Bt	620	33	66	14,0	4,4	0,4	6,5	18,8	30,3	2	94	22,4	70,4	92,1	0,54	0,29

P= perfil; H = horizonte; Ag= argila; Ar= areia; Gf= grau de flocculação; Sb= soma de bases; T_{arg}= atividade da argila; V= saturação por bases; m= saturação por alumínio.

As condições de clima (menor altitude) associadas ao relevo suave ondulado e ondulado (menor declividade) resultaram em condições que favoreceram a formação de hematita em detrimento a goethita, imprimindo a coloração mais avermelhada aos perfis, com matiz 5YR e 2,5YR. A hematita é favorecida em ambientes bem drenados ou com baixa atividade de água e sua ocorrência está diretamente associada ao elevado grau de intemperismo (Schwertmann & Taylor, 1989).

Essas condições influenciaram também as classes de solo, sendo que nas áreas desta região com declividades mais elevadas ocorrem Nitossolos Háplicos e Cambissolos Háplicos, enquanto nas zonas de estabilidade, com menor declive, são verificados Latossolos Vermelhos e Nitossolos Vermelhos e Háplicos.

Os teores de argila observados no Nitossolo refletem o alto grau de desenvolvimento pedogenético, embora menor que o dos Latossolos, pois estão em posições mais declivosas da paisagem, onde ocorrem processos de rejuvenescimento dos solos (Curcio, 2006). Adicionalmente a baixa atividade da argila (Targ) reflete o estágio avançado de intemperismo dos Latossolos, em comparação aos Nitossolos, que apresentam valores superiores de Targ.

A translocação de argila do horizonte A para o B, com cerosidade evidente (moderada e comum) nos agregados, que são bem desenvolvidos, indica os processos pedogenéticos de eluviação e iluviação de argila, refletindo a gênese do horizonte B nítico, nos Nitossolos.

Quanto aos Latossolos, estes possuem textura muito argilosa e alto grau de floculação, chegando a 93 e 99 % nos horizontes Bw, evidenciando, assim, o processo pedogenético específico de latolização, responsável pela grande remoção de sílica e bases e relativo incremento de óxidos de ferro e de alumínio.

No nível categórico de Subordem, os perfis 22, 26, 27, 30 e 34 foram classificados como Vermelhos (localizados em menores altitudes), indicando a atuação do clima e do relevo, permitindo que ocorresse a maior expressão do óxido de ferro hematita na cor do solo. Os demais por não apresentarem nenhuma característica distintiva foram classificados como Háplicos.

No terceiro nível (Grande grupo), 8 dos 13 perfis da região I são distróficos, 2 perfis têm caráter alumínico (P25, P30 e P31), 2 perfis têm caráter alítico (P34 e P23) e um perfil é eutrófico (P32). No nível de Subgrupo, todos os perfis foram classificados como típicos

A baixa saturação por bases indicou que os solos são bastante lixiviados e com alta acidez potencial (Al+H). Entretanto com valores inferiores às regiões I e IV e similares aos da região II. Os teores de SiO₂, de modo geral, foram os menores em comparação com os solos das demais regiões. Os teores de Fe₂O₃ foram, em geral, mais altos na região III, comparados aos solos desenvolvidos de riodacitos e rochas sedimentares; entretanto a maioria dos perfis desta região foi considerada com médio teor de óxidos de ferro. Segundo Santos et al. (2013a) teores entre 80 e 180g kg⁻¹ de solo, classificam o solo como de caráter mesoférrico, mesmo sendo solos provenientes de basalto, onde seriam esperados maiores valores de ferro.

Em estudos com rochas básicas e ácidas Levi & Melfi (1972) concluíram que o intemperismo foi mais rápido nas rochas básicas, devido à ocorrência de elevados teores de minerais ferro-magnesianos (olivina e piroxênio), sendo estes os primeiros a se intemperizar, o que promoveu a ocorrência de um maior número de fissuras, favorecendo a drenagem e, conseqüentemente, o intemperismo. Já as rochas ácidas apresentaram-se mais compactas e resistentes ao intemperismo, devido a maior quantidade de quartzo e minerais aluminossilicatados. Analisando a mineralogia de saprólitos de basaltos no estado de SC. Os solos da região IV, desenvolvidos de rochas vulcânicas ácidas do tipo Palmas, estão localizados em altitudes variando de 1.252 a 1.330 m e com relevo suave ondulado e ondulado. Mesmo com essas condições de clima e relevo, que poderiam favorecer os processos de intemperização, foram observados solos classificados como Cambissolos Húmicos (P35 e P36) e Háplicos (P37 e P38), sem processo pedogenético específico.

O fator clima influenciou na acumulação de MO, com valores de carbono orgânico total (COT) de até 72 g kg⁻¹ na camada superficial (Tabela 5). Quanto às cores, o acúmulo de MO associado a maior umidade no solo favorecem a formação de goethita em detrimento a hematita, imprimindo coloração tipicamente brunada ou amarelada aos solos, com matizes variando de 10YR a 7,5YR. Todos os perfis apresentaram caráter alítico, assim definindo o

terceiro nível (Grande grupo), e no nível de Subgrupo, todos os perfis foram classificados como típicos.

Como nos solos das demais regiões, a baixa saturação por bases, os altos teores de H^+ + Al^{3+} e a saturação por alumínio entre 66 a 88 %, indicam alto grau de lixiviação dos perfis.

Tabela 5. Atributos físicos e químicos dos horizontes A e B de perfis de solos da região IV (ígneas ácidas), localizados na região de Água Doce, SC.

P	H	Ag	Ar	Gf	COT	pH	Sb	Al^{3+}	CTC	T_{arg}	V	m	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	ki	kr
		g kg ⁻¹	%	g kg ⁻¹			cmol _c kg ⁻¹				%		g kg ⁻¹				
35	A	468	40	81	72,3	4,8	3,0	3,7	21,2	45,3	14	55	11,4	129,1	109,2	0,15	0,10
	Bi	515	46	15	36,4	4,3	1,6	4,5	13,2	25,6	12	74	21,7	209,0	131,9	0,18	0,13
36	A	484	35	38	37,9	4,9	0,9	5,1	14,9	30,8	6	85	27,2	135,2	81,4	0,34	0,25
	Bi	489	17	22	21,1	4,0	1,0	5,5	19,5	39,9	5	85	26,4	158,7	84,2	0,28	0,21
37	A	556	43	73	29,4	4,6	1,5	2,8	17,8	32,0	9	65	28,4	154,9	93,7	0,31	0,22
	Bi	613	12	38	10,2	4,7	2,1	4,1	11,2	18,3	19	66	34,9	177,3	26,6	0,33	0,31
38	A	316	193	56	26,6	4,3	12,8	5,5	19,4	61,4	7	30	23,8	130,2	22,8	0,31	0,28
	Bi	520	129	54	7,5	4,6	1,0	7,6	22,0	42,3	1	88	25,3	142,7	97,2	0,30	0,21

P= perfil; H = horizonte; Ag= argila; Ar= areia; Gf= grau de floculação; Sb= soma de bases; T_{arg} = atividade da argila; V= saturação por bases; m= saturação por alumínio.

3.5.2. Interação dos Fatores de Formação dos Solos

Pela avaliação do agrupamento pela similaridade (Figura 3), é possível agrupar os solos e confirmar a influencia do material de origem nos atributos do solo, o que destaca a importância e a relação direta da geologia para a formação dos solos no ambiente de altitude no estado de SC.

Pela avaliação do dendrograma, os solos foram agrupados em quatro grupos homogêneos: 1. maior é formado pelos solos das regiões I (sedimentares) e II (riodacitos); 2. menor, formado apenas pelo perfil 4; 3. formado pelos 4 perfis da região IV (ígneas ácidas) e, 4. formado pelos solos originados de basalto (região III).

No dendrograma verifica-se que os perfis formados a partir de riodacito da região (II) de São Joaquim (perfis 5, 7, 6, 8, 9, 14 até o perfil 21), possuem, nesta ordem, maior similaridade entre si, indicada pela menor distância euclidiana. Unem-se a este grupo os perfis na região de rochas sedimentares (I), sendo que o perfil 1 apresenta maior similaridade com os perfis 2 e 3. De forma distinta, o perfil 4 se relaciona tanto com os riodacitos como com os solos originados de rochas sedimentares, mas com maior distância euclidiana. Este perfil se diferencia, principalmente pelos menores teores de argila, que apresentam pouca ou nenhuma variação entre os horizontes A e B.

O segundo grupo, com solos da região IV mostra maior similaridade entre os perfis 37 e 38, sendo que o perfil 38 apresentou similaridade com todos os 3 perfis e em menor proporção com o perfil 35. O P35 se distingue dos demais pelos elevados teores de C (72 g kg⁻¹) no horizonte A e o menor valor de ki.

No grupo com menor similaridade entre os solos, região III, os perfis 33, 32, 31 e 34 se apresentaram mais próximos. Já os perfis 22 e 23 apresentaram similaridade entre si, porém foram os que mostraram as maiores diferenças em comparação a todos os demais perfis, ou seja, apresentam variáveis distintas em relação a outros solos.

Dando sequência a análise, os solos foram submetidos à análise discriminante, a qual se apresenta como uma importante ferramenta para avaliação de levantamentos dos solos e tem demonstrado a possibilidade de prever classes de solos e/ou sua separabilidade na paisagem (Demattê & Nanni, 2003; Kravchenko et al., 2002).

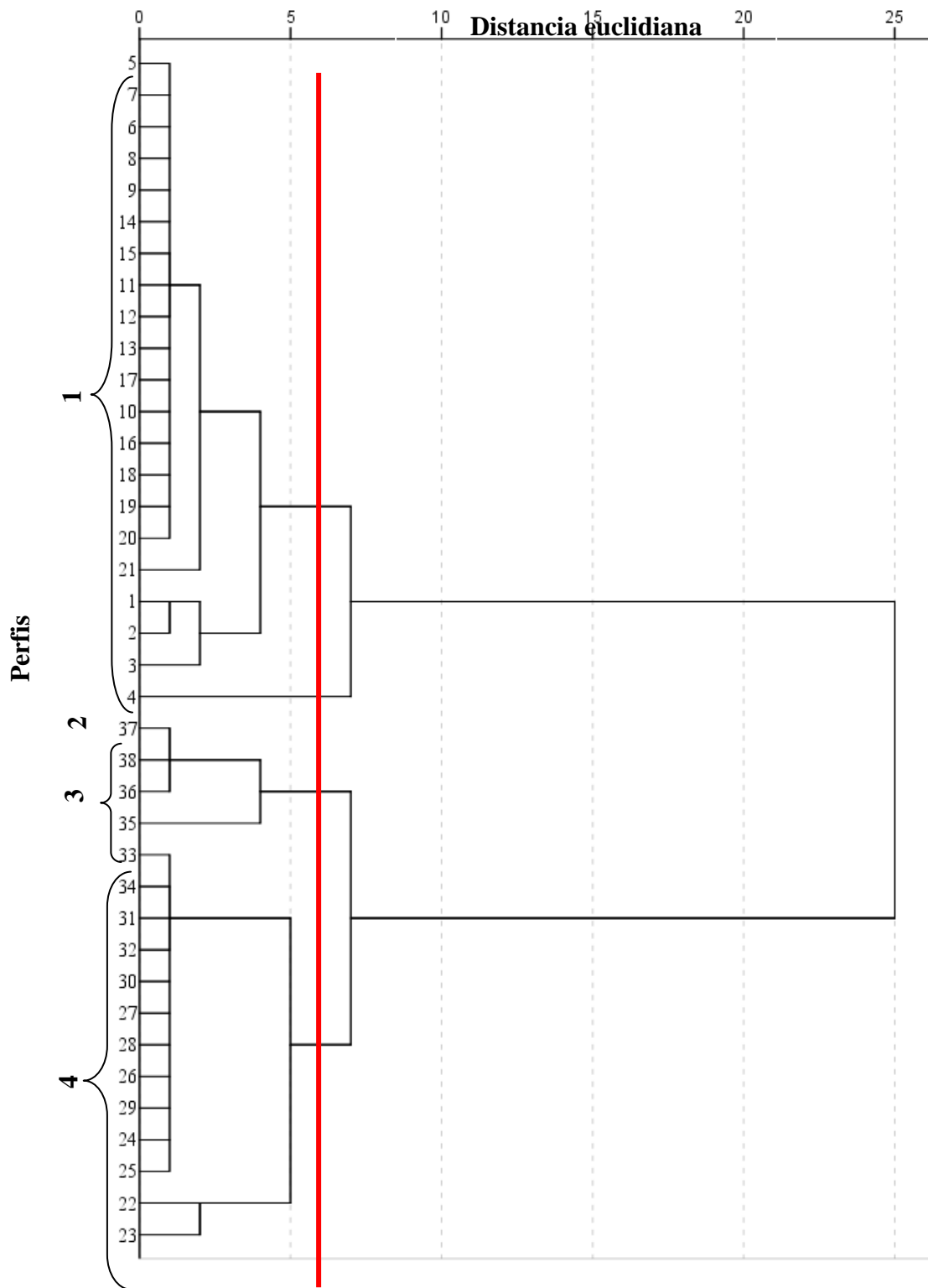


Figura 3. Dendrograma de similaridade dos perfis de solo (Regiões: I – 1 a 4; II – 5 a 21; III – 22 a 34; IV – 35 a 38) avaliados nas diferentes regiões de altitude do estado de SC.

A análise discriminante foi realizada com base nas quatro classes de solo e indicou, para o horizonte A, que os dois primeiros eixos canônicos (CAN), explicaram 94,3 % da variância total, sendo que a CAN1 explica 78,1 %, ou seja, esta é a função que mais contribui para demonstrar as diferenças entre os grupos e a CAN2 16,2 % da variância.

Entretanto, a avaliação de Lambda de Wilks, que serve para testar a significância das funções discriminantes, indica p-value (0,455) maior que o nível de significância de 0,05 para a CAN1, não sendo, desta forma, significativa.

Para o horizonte B, 100 % da variância dos dados também é explicada nos dois primeiros eixos canônicos (Figura 4), sendo que a CAN 1 explica 73,8 % e a CAN 2 explica 26,2 %. O baixo valor de lambda Wilks (0,000) da CAN1, mostra que a primeira função tem um melhor poder de discriminação e o p-value (0,003) indica que a primeira função discriminante é altamente significativa.

Entre as variáveis mais relevantes para a determinação da CAN1 estão os teores de potássio e fósforo, kr, densidade do solo, magnésio e pH, avaliadas através da matriz de estrutura, que indica a contribuição que cada variável forneceu para a função.

A análise do total de observações e os percentuais de classificação correta e incorreta das classes de solo, nos quatro grupos determinados pelas funções discriminantes canônicas (Tabela 6), mostra que todas as observações das classes de solo no horizonte B (100 %) foram classificadas corretamente. Isto comprova a eficiência da técnica de agrupamento para distinguir classes de solo e evidencia a relação do horizonte B com os atributos que melhor expressam a pedogênese.

Estes valores estão de acordo com estudos de Demattê & Garcia (1999) e Demattê et al. (2000), que também registraram acerto de 100 % para as classes de solos avaliadas. Fiorio et al. (2010) e Nanni et al. (2004), obtiveram acertos globais acima dos 80 % e Kravchenko et al. (2002) cerca de 90 %.

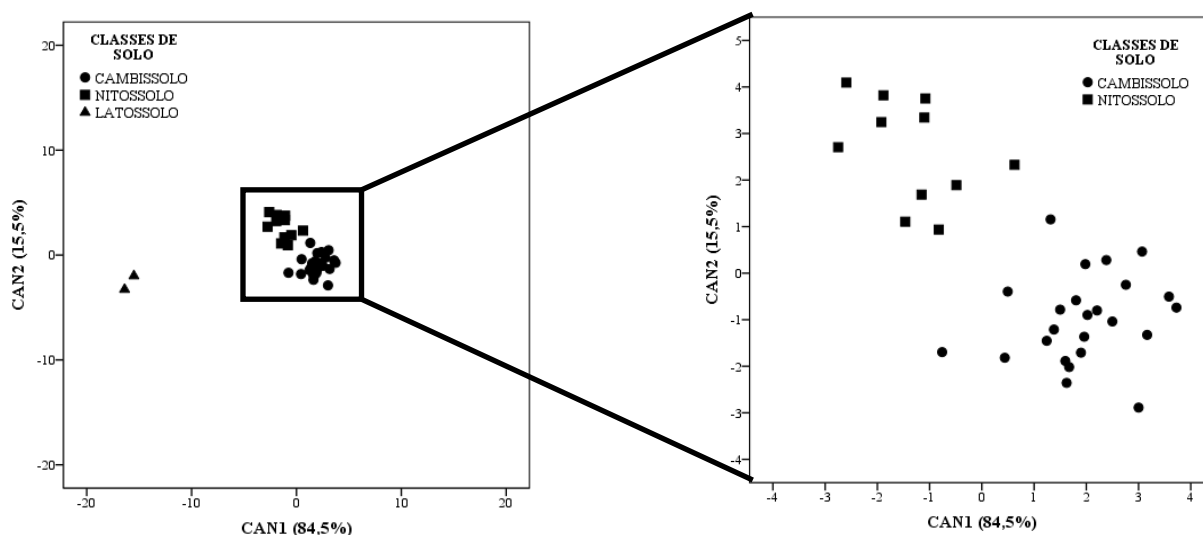


Figura 4. Dispersão dos coeficientes canônicos das variáveis estudadas em relação às classes de solos no horizonte B.

Tabela 6. Classificação das amostras nas 4 classes de solos (Neossolo, Cambissolo, Nitossolo e Latossolo) determinadas utilizando as duas funções discriminantes no horizonte A e B.

Grupo Original	Nº de perfis	Grupos estimados (modelo)			
		Neossolo Litólico	Cambissolo	Nitossolo	Latossolo
Horizonte A (73,7 %)					
Neossolo L.	1	0	0	1	0
		0	0	100 %	0
Cambissolo	24	0	24	0	0
		0	100 %	0	0
Nitossolo	11	0	0	2	9
		0	0	18,2 %	81,8 %
Latossolo	2	0	0	0	2
		0	0	0	100 %
Horizonte B (100 %)					
Cambissolo	24	0	24	0	0
		0	100 %	0	0
Nitossolo	11	0	0	11	0
		0	0	100 %	0
Latossolo	2	0	0	0	2
		0	0	0	100 %

Por outro lado, no horizonte A, apenas 73 % da classificação foi corretamente relacionada com a do modelo. Neste horizonte, o Neossolo Litólico foi classificado como Nitossolo, 9 perfis de Nitossolos foram agrupados com os Latossolos e todos os Cambissolos (24 perfis) apresentaram a mesma classificação de acordo com o modelo. Este resultado é esperado, uma vez que o horizonte diagnóstico subsuperficial ou a sua ausência são os principais critérios para distinção destas classes de solos no SiBCS.

3.6. CONCLUSÕES

A gênese dos solos da região de estudo foi fortemente influenciada pelos fatores material de origem, clima e relevo, que refletiram em solos com elevados teores de argila, baixa soma e saturação por bases, elevados teores de alumínio e de carbono.

A maior parte dos solos da região foi classificada como Cambissolos (63 %). Entretanto, ocorrem Nitossolos (29 %) e Latossolos (5 %), que indicam a influência do relevo e clima na expressão de processos pedogenéticos. Além de Neossolos Litólicos (3 %) em áreas com relevo forte ondulado.

A análise conjunta das variáveis edáficas permitiu separar os solos em três grupos. O primeiro, maior, é formado pelos perfis originados de rochas como riodacitos e sedimentares; o segundo grupo, menor, é formado apenas pelos quatro perfis da região de Água Doce (rochas ácidas) e o terceiro é formado por perfis originados de basalto.

A técnica de análise discriminante com base em variáveis do horizonte B foi eficiente no agrupamento das classes de solo.

4. CAPÍTULO II

GEOQUÍMICA DOS SOLOS DE ALTITUDE DE SANTA CATARINA

4.1. RESUMO

O objetivo deste capítulo foi de estimar a expressão dos processos de intemperismo através do reconhecimento das modificações entre as características químicas da rocha e do solo, em perfis de regiões altomontanas de SC. As análises dos elementos químicos e suas quantidades presentes no solo e nas rochas foram realizadas por meio de um espectrômetro de fluorescência de raios-X de energia dispersiva. Foram avaliadas amostras de horizontes diagnósticos superficiais e sub-superficiais dos 38 perfis modais e das rochas a eles relacionados. Foram realizadas as seguintes avaliações: SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , Fe_2O_3 , K_2O , MgO , Na_2O , P_2O_5 , TiO_2 , MnO , S, B, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Zr e V, ocorrentes nas diferentes amostras. Para o cálculo do balanço geoquímico, utilizou-se o método baseado nos pressupostos de Brewer (1964). Foram construídos diagramas AFM (Irvine & Baragar, 1971), diagrama ternário composto pelos vértices $A = (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$, $F = (\text{Fe}_2\text{O}_3)$ e $M = (\text{MgO})$ e Diagrama R1:R2 para rochas vulcânicas de De La Roche et al. (1980), no qual $R1=4\text{Si}-11(\text{Na}+\text{K})-2(\text{Fe}+\text{Ti})$ e $R2=\text{Al}+2\text{Mg}+6\text{Ca}$. As análises das rochas confirmam que o material é de natureza não toleítica, distribuindo-se exclusivamente pelos campos do riolito/riodocito, e toleítica no campo andesi-basalto/basalto, com forte enriquecimento de Fe_2O_3 e Al_2O_3 em relação aos álcalis e ao magnésio. Os perfis de solo apresentaram comportamento geoquímico diferenciado, como reflexo do processo pedogenético e grau de evolução dos solos. Desta forma, apresentaram discordância, com as sequências de perda de constituintes em solos, devido à baixa concentração de determinados elementos nos solos ácidos. A mobilidade dos micronutrientes no solo pode variar muito, tanto entre perfis como nas classes de solo avaliadas.

Palavras-chave: Fluorescência. Mobilidade. Diagramas. Elementos químicos.

4.2. ABSTRACT

The aim of this chapter is to estimate the expression of weathering processes by recognizing the changes between the chemical characteristics of rock and soil, in altomontanas regions of SC profiles. Analysis of chemical elements and their amounts present in soil and rock were carried out by means of an X-ray fluorescence energy dispersive spectrometer. Samples of surface diagnostic horizons and subsurface of 38 modal profiles and rocks related to them were evaluated. The following evaluations were performed: SiO₂, Al₂O₃, CaO, Fe₂O₃, K₂O, MgO, Na₂O, P₂O₅, TiO₂, MnO, S, B, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Zr and V, occurring in different samples. To calculate the geochemical balance, was used the method based on assumptions Brewer (1964). Diagrams were built AFM (Irvine & Baragar, 1971), ternary diagram composed of vertices A = (Na₂O + K₂O), F = (Fe₂O₃) and M = (MgO) and Diagram R1:R2 to volcanic rocks of De La Roche et al . (1980), in which R1=4Si-11(Na+K)-2(Fe+Ti) e R2=Al+2Mg+6Ca. The analysis of rocks confirm that the material is not tholeiitic nature, distributed exclusively by the fields of rhyolite / riocito and tholeiitic in andesi-basalt / basalt field with strong enrichment Fe₂O₃ and Al₂O₃ in relation to alkalis and magnesium. The soil profiles showed different geochemical behavior, reflecting the pedogenetic process and degree of evolution of soils. Thus, they showed mismatch with the sequences of loss of constituents in soils due to low concentration of certain components in acidic soils. The mobility of micronutrients in the soil can vary greatly, both between profiles as the evaluated soil classes.

Keywords: Fluorescence. Mobility. Diagrams. Chemical elements.

4.3. INTRODUÇÃO

A composição química do solo é controlada em parte pela constituição do material de origem, sendo que os solos com maior maturidade pedogenética refletem mais intensamente os efeitos do intemperismo condicionado pelos fatores e processos pedogenéticos atuantes. Com o tempo, a composição mineralógica do solo pode diferir daquela do material de origem, refletindo perdas e redistribuição de elementos e/ou ainda pela adição de material externo ao perfil do solo (Thanachit et al., 2005).

Os elementos químicos distribuídos no perfil do solo contribuem com informações importantes para a compreensão de processos, tais como os geoquímicos, hidrológicos, biológicos, climatológicos e geomórficos na superfície da terra (Michelon, 2006). A caracterização química destes elementos no perfil e também no saprólito e nas rochas pode ser utilizada para estimar a sua mobilidade durante o intemperismo (Brimhall & Dietrich, 1986).

A formação do solo depende do grau e intensidade do intemperismo a que o material de origem foi submetido, estando diretamente relacionada com a percolação horizontal e vertical de água, intensidade, periodicidade e fluxo da pluviosidade, condições do meio (pH de abrasão, concentração de nutrientes) e variações de temperaturas ao longo do desenvolvimento do perfil de solo, imprimindo atributos químicos, físicos e mineralógicos específicos (Melfi & Pedro, 1978).

O grau de intemperismo pode ser analisado por meio do reconhecimento das modificações dos minerais das rochas e ainda através das mudanças nas características químicas das rochas (Stefánsson et al., 2001; White, 2002). Sua estimativa permite entender, entre outros, os processos de formação e o funcionamento da paisagem, a mobilidade de elementos, além de estimar o potencial agrícola dos solos e as perdas toleráveis por erosão (White & Blum, 1995). Assim, constitui-se para estudos de pedogênese, em uma importante ferramenta, no sentido de fornecer informações relativas aos ganhos e perdas de elementos no solo.

Entretanto, mesmo com condições climáticas favoráveis ao intemperismo do material de origem, variações locais e regionais ocorrem em função da atuação dos demais fatores de formação dos solos. Sob condições climáticas favoráveis, o tempo necessário para intemperização de uma determinada rocha depende de sua natureza, destacando-se a sua composição química e mineralógica, textura e estrutura (Teixeira et al., 2009).

Desta forma, as rochas efusivas da Formação Serra Geral, podem apresentar em condições climáticas semelhantes, diferentes estágios de evolução. Solos originados pela alteração de basaltos tendem a apresentar fertilidade natural mais alta devido à maior concentração de bases trocáveis como Ca^{+2} e Mg^{+2} e são responsáveis pela formação de extensas áreas de solos de textura argilosa e de cores variando de roxas até tons avermelhados ou brunados, com altos teores de Fe_2O_3 (Pedron, 2007).

Já as rochas efusivas intermediárias e ácidas dão origem a solos de textura argilosa ou média, alguns com gradiente textural bem acentuado, com teores variáveis de Fe_2O_3 , em geral inferior a 180 g kg^{-1} (Potter et al., 2004), são invariavelmente ácidos com baixos teores de bases e apresentam mineralogia da fração argila composta de caulinita de melhor grau de cristalinidade quando comparada aos solos desenvolvidos de basalto (Almeida et al., 1992).

A importância dos estudos geoquímicos se relaciona aos processos geoquímicos envolvidos na pedogênese, desde a alteração das rochas até a formação dos diferentes tipos de solos no globo terrestre, com objetivos de estudar, analisar e entender as relações entre os elementos químicos que compõem a litosfera e o ambiente antrópico (Carvalho, 1989).

A análise por fluorescência de raios-X é o método mais importante e versátil utilizado em geoquímica de rochas, realizando análise de rochas e solos de forma rápida e precisa. É um método de análise elementar qualitativo e quantitativo que se aplica à identificação de praticamente todos os elementos. O princípio do método é muito simples, sendo utilizada uma fonte de radiação X para ionizar os níveis internos dos átomos constituintes da amostra, por efeito fotoelétrico (Parreira, 2006).

Na reorganização do átomo e regresso ao estado fundamental, estes podem liberar o excesso de energia através da emissão de um fóton X, de energia igual à diferença de energia de ligação dos níveis entre os quais se deu a transição. Esta radiação é característica do elemento. A detecção e análise deste espectro permite a identificação e quantificação dos elementos constituintes da amostra. Trata-se de uma técnica não destrutiva e que na maior parte dos casos não necessita de qualquer preparação prévia da amostra, permitindo ainda a detecção simultânea dos diferentes elementos constituintes da amostra (Martins, 2011).

Assim, a hipótese deste estudo é a de que variações locais influenciadas por fatores e processos pedogenéticos atuantes resultam em modificações diferenciadas dos minerais das rochas que podem ser observadas através da composição química do solo, através da análise de fluorescência de raios X.

O objetivo do presente estudo é o de estimar a expressão dos processos de intemperismo através do reconhecimento das modificações entre as características químicas da rocha e do solo em diferentes regiões de altitude de SC.

4.4. MATERIAL E MÉTODOS

As análises dos elementos químicos e suas quantidades presentes no solo e nas rochas foram realizadas por meio de um espectrômetro de fluorescência de raios-X de energia dispersiva, do modelo Shimadzu EDX-720. Foram avaliadas amostras de horizontes diagnósticos superficiais e sub-superficiais dos 38 perfis modais e das rochas a eles relacionadas. O método analítico usado é denominado método dos parâmetros fundamentais (PF), descrito por Bona et al., (2007). Este método permite a obtenção da curva de sensibilidade do equipamento para cada elemento de interesse, quando uma amostra de composição química conhecida é submetida a parâmetros instrumentais bem definidos. A curva de sensibilidade do equipamento relaciona a intensidade fluorescente teórica calculada e a medida para cada elemento (Han et al., 2006).

Para corrigir os efeitos de absorção e calibrar as linhas espectrais dos elementos analisados, foi utilizado o padrão A-750. O padrão de calibração, fornecido junto com o equipamento EDX-720, é uma liga metálica composta por alumínio, estanho, magnésio, ferro e cobre. Para as análises foram utilizadas aproximadamente 3 g de solo, acondicionadas sob um filme de Mylar® de 6 µm de espessura, estendido no fundo de uma cela de polietileno com 32 mm de diâmetro externo e 23 mm de altura.

As condições de operação do equipamento selecionadas foram: tensão do tubo de 15 keV (Na a Sc) e 50 keV (Ti a U) com corrente no tubo de 184 e 25 µA, respectivamente; colimador de 10 mm; tempo real de integração de 300 s; tempo morto do detector de 40 e 39%, sob vácuo e detector de Si(Li) refrigerado com nitrogênio líquido.

Foram realizadas as seguintes avaliações: SiO₂, Al₂O₃, CaO, Fe₂O₃, K₂O, MgO, Na₂O, P₂O₅, TiO₂, MnO, S, B, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Zr e V, ocorrentes nas diferentes amostras.

Para o cálculo do balanço geoquímico, utilizou-se o método baseado nos pressupostos de Brewer (1964) no qual o balanço é estabelecido conhecendo-se a concentração dos elementos de interesse e de um elemento índice de baixíssima mobilidade. Os cálculos foram realizados utilizando-se como elemento índice o alumínio, e posteriormente refeitos utilizando-se o titânio, para confirmação de qual teria se comportado como elemento imóvel. Os valores obtidos são relativos ao rocha/saprolito coletado, sendo as porcentagens de ganho (valores positivos) ou de perda (negativos) dos elementos ao longo do perfil do solo (horizonte A e B diagnóstico) em relação à rocha/saprolito.

A escolha do elemento índice é bastante variável dependendo das condições climáticas e geoquímicas atuantes. Desta forma, considerou-se como critério a Série de Polinov (1937), uma sequência de solubilidade dos principais elementos químicos constituintes dos minerais e rochas, modificada por Hudson (1995), chamada de série Polinov-Hudson. Assim, um primeiro critério foi observar qual elemento índice produz uma série de perdas dos outros elementos mais próxima da proposta por Polinov-Hudson.

Foram construídos diagramas AFM (Irvine & Baragar, 1971), diagrama ternário composto pelos vértices A = (Na₂O + K₂O), F = (Fe₂O₃) e M = (MgO), que avalia o comportamento da relação FeO/MgO numa suíte de rochas. Neste diagrama são reconhecidas duas séries magmáticas principais: Série toleítica e Série calcio-alcalina. Diagrama R1:R2 para rochas vulcânicas de De La Roche et al. (1980), no qual R1=4Si-11(Na+K)-2(Fe+Ti) e R2=A1+2Mg+6Ca.

As análises estatísticas foram realizadas com os programas SPSS 20.0 (Statistical Package for Social Sciences) e Microsoft Excel. Os dados foram ajustados por regressões lineares a 5% de probabilidade, conforme o coeficiente de determinação (R²) e correlação.

4.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado da análise fatorial dos dados geoquímicos elementares das rochas são apresentados no diagrama da Figura 5, que mostra a projeção dos *loadings* no diagrama CAN1 versus CAN2 e CAN3. O uso do modelo de três componentes, representou 82 % da variância total, considerando-se, desta forma, adequado para a caracterização dos dados.

Os elementos P e S apresentaram valores das comunalidades inferiores a 0,5 sendo excluídos da avaliação. Os demais valores das comunalidades dos elementos, os quais são, em sua maior parte, próximos de 1, indicam que o padrão das variáveis está satisfatoriamente bem descrito pelo modelo.

Na Figura 5 é possível identificar três grupos de elementos com padrões específicos. O primeiro componente (CAN1), é responsável por 38 % da variância total e nele encontram-se os elementos menos solúveis (Al, Ti, Cr, Cu, V e Zr), além do Si e Fe que apresentam solubilidade intermediária.

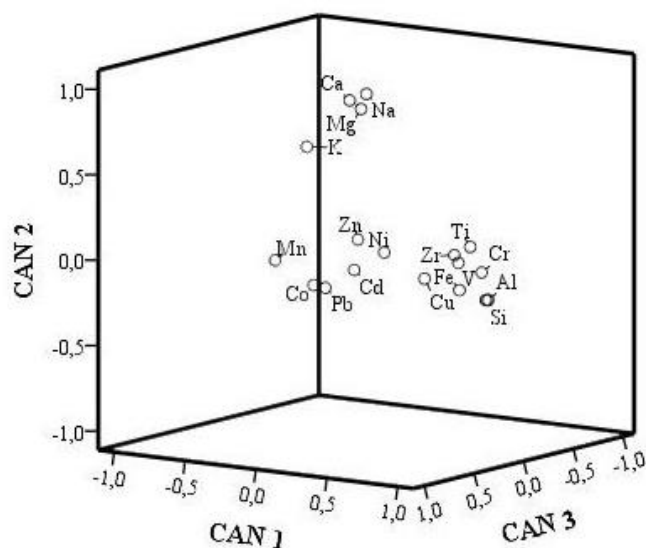


Figura 5. Diagrama de análise multivariada nos eixos canônicos para elementos químicos de rochas das regiões altomontanas de SC.

A baixa mobilidade química destes elementos se deve à sua relativa inércia durante o intemperismo, como é o caso do Ti, assim como devido à estabilidade dos minerais primários e/ou secundários que os contêm, onde se pode citar o Zr e o Cr.

O CAN2 explica aproximadamente 26 % da variância total dos dados e nele estão contidos os elementos de maior solubilidade como Ca, Mg, Na e K (Figura 5). Estes elementos podem ser fortemente adsorvidos aos colóides, absorvidos pelos vegetais e/ou organismos do solo e estar na solução do solo. São bastante móveis no solo e facilmente lixiviados em solos com baixa CTC do solo.

Os demais elementos (Mn, Ni, Co, Pb, Cd, Zn) ficam numa posição intermediária entre os grupos, no componente CAN3 que representa 16 % da variância total.

As correlações mais significativas se referem ao Si, que apresenta correlação forte e positiva com o Fe (0,924), Al, V, Ti, Cr, Cu e negativa com o K, que se correlaciona positivamente com o Ca (Tabela 7). O Fe também apresenta correlação com Ti, V, Cu e Cr.

De acordo com Butt et al (2000), as distribuições de elementos traços como Cr, Zr, Ti se relacionam, em parte ou totalmente, com a do Fe, como também observado na Figura 5.

A distribuição das rochas estudadas foi baseada através da classificação do diagrama R1R2 (De La Roche et al., 1980). Pelo diagrama (Figura 6), verifica-se que as rochas distribuem-se exclusivamente pelo campo do riolito/riodocito, assim como no campo andesito-basalto/basalto toleítico.

Tabela 7. Matriz de correlação linear entre teores geoquímicos de elementos de rochas nos perfis coletados nas regiões de altitude de SC.

	Al	Si	Ca	Fe	K	Mg	Na	Ti	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn	Zr	V
Al	1,000	0,785	-0,191	0,488	-0,480	-0,191	-0,190	0,347	0,538	0,295	-0,074	0,116	-0,177	0,051	0,394	0,342
Si		1,000	-0,171	0,924	-0,560	-0,165	-0,115	0,644	0,604	0,596	0,158	0,364	-0,369	0,010	0,457	0,750
Ca			1,000	-0,123	0,565	0,583	0,784	0,012	-0,121	0,032	0,159	0,095	-0,285	-0,014	-0,007	-0,059
Fe				1,000	-0,492	-0,114	-0,044	0,693	0,519	0,657	0,269	0,441	-0,410	-0,017	0,401	0,846
K					1,000	0,267	0,384	-0,310	-0,298	-0,345	-0,111	-0,220	0,093	-0,156	-0,288	-0,412
Mg						1,000	0,817	0,069	-0,044	-0,185	0,134	0,035	-0,174	0,325	-0,083	0,042
Na							1,000	0,057	-0,026	-0,017	0,122	0,195	-0,295	0,114	-0,026	0,096
Ti								1,000	0,479	0,507	0,044	0,240	-0,238	0,055	0,339	0,707
Cr									1,000	0,386	-0,098	0,365	-0,440	0,149	0,212	0,597
Cu										1,000	0,141	0,550	-0,348	0,226	0,314	0,524
Mn											1,000	0,265	-0,161	0,134	-0,076	0,218
Ni												1,000	-0,546	0,279	0,033	0,489
Pb													1,000	-0,091	0,010	-0,431
Zn														1,000	0,030	0,077
Zr															1,000	0,379
V																1,000

O caráter geral das rochas vulcânicas da Formação Serra Geral foi determinado por Piccirillo & Melfi (1988) com o auxílio do diagrama R1R2 de De La Roche et al. (1980), onde se distingue a presença de dois grandes grupos de rochas, denominados de toleítico e toleítico-transicional.

O primeiro, disperso pelo campo toleítico, é constituído por basaltos com baixo teor em Ti ($TiO_2 < 2\%$) e por rochas ácidas do tipo Palmas; o segundo, também disposto no campo toleítico, porém, deslocado em direção ao transicional, é constituído por basaltos com alto teor em Ti ($TiO_2 \geq 2\%$) e rochas ácidas do tipo Chapecó.

A classificação segundo o Diagrama AFM, apresentado na Figura 7, mostra que as amostras da região do basalto foram representadas em diagramas AFM, possuindo um forte enriquecimento de Fe_2O_3 em relação aos álcalis e ao magnésio e portanto, concentradas acima da linha de Irvine & Baragar (1971), ou seja no campo das rochas toleíticas, confirmando o padrão observado para as rochas da Formação Serra Geral, de magmatismo intracontinental. Entretanto os riolitos e riodacitos concentraram-se na faixa intermediária e toleítica.

A avaliação da composição química (elementos maiores) nos perfis dos Cambissolos Háplicos Alíticos típicos é apresentada na Tabela 8. Nesta classe de solo não se registram grandes variações verticais. Isto se deve ao fato destes solos apresentarem um baixo grau de evolução pedogenética, tendendo a possuírem menor taxa de intemperismo e lixiviação de bases, quando comparados com os Latossolos, por exemplo.

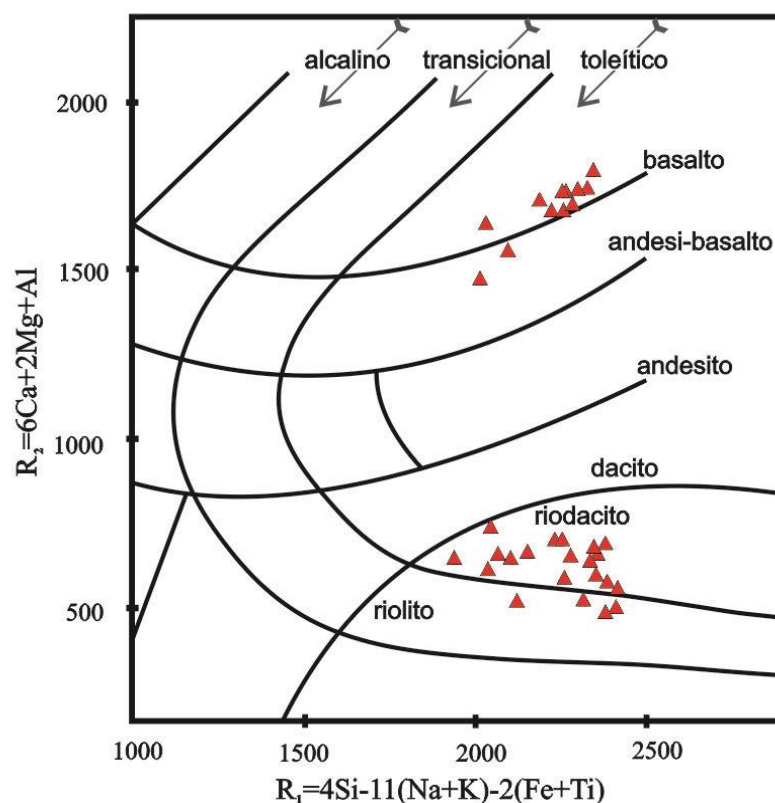


Figura 6. Diagrama R1R2 dos solos de altitude de Santa Catarina (De La Roche et al., 1980).

A diferenciação dos horizontes no perfil ocorre de forma mais definida com a evolução dos processos intempéricos e pedogenéticos (Pinto & Kämpf, 1997). Assim, solos pouco desenvolvidos como os Cambissolos apresentam variações menos significativas nos teores de elementos metálicos entre os horizontes, já que, em geral, são solos com processo menos intensos de lixiviação e formação de minerais secundários, assim como não apresentam expressiva translocação de argila para o horizonte B. Por outro lado, os Latossolos por serem muito lixiviados podem também não apresentar diferenciação entre os horizontes para alguns elementos, cujos teores são muito baixos.

O padrão dos elementos químicos depende, além de suas mobilidades relativas, de fatores, como presença de MO e de óxidos e hidróxidos de Fe e Al, que podem implicar na adsorção, coprecipitação e precipitação de minerais neoformados em estados menos solúveis (Santos, 2014).

O Si apresentou intensidade moderada de intemperismo, e tende a ser lixiviado gradativamente do perfil, ao longo da sua evolução. Enquanto o Fe e Al apresentaram um enriquecimento relativo nos horizontes dos perfis. Este padrão pode ser justificado pela formação dos óxidos de Fe e Al que permanecem no perfil (Lacerda et al., 2000).

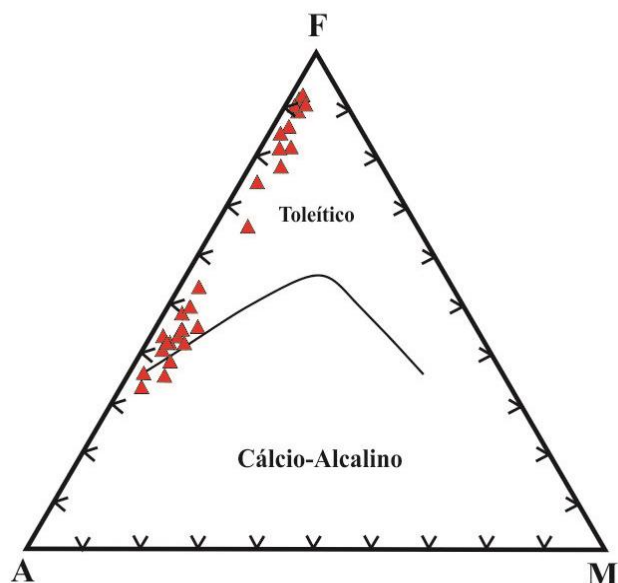


Figura 7. Diagrama AFM dos solos de altitude de SC. Linha divisória segundo Irvine & Baragar (1971).

Os baixos teores de Ca, Mg e Na observados estão diretamente relacionados com o baixo grau de resistência ao intemperismo dos minerais silicatados primários que os contêm, onde os minerais são destruídos e estes íons são perdidos.

Os resultados observados no horizonte A, mostram que em muitos casos, os horizontes superficiais não são relativamente menos intemperizados quando comparados aos horizontes imediatamente abaixo. Em função do avanço da frente de intemperização ocorre a formação de um gradiente de perdas que são progressivamente maiores em direção à superfície (Pinto & Kämpf, 1997), o que não foi observado em todos os perfis. Este padrão indica que em muitos casos, pode estar havendo adição superficial de alguns elementos.

Essa afirmativa pode ser confirmada através da análise dos teores de P que foram elevados na camada superficial do perfil 1 e, em outros casos, apresentou valor elevado na rocha, como no perfil 9.

A sequência decrescente de solubilidade dos elementos, para os perfis dos Cambissolos Háplicos Alíticos típicos é apresentada na Tabela 9. Para o cálculo do balanço geoquímico foram utilizados como elementos índices o Al e o Ti, onde se observou o mesmo padrão na maioria dos perfis para os dois elementos, confirmando que estes possuem similaridade quanto a sua mobilidade no solo. Entretanto, para discussão dos resultados baseou-se no pressuposto de que o Ti tenha sido o elemento imóvel, possibilitando assim quantificar as perdas e ganhos absolutos em relação à rocha, durante o processo de alteração intempérica.

O Ti é considerado um elemento imóvel devido à natureza relativamente insolúvel dos minerais que ele constitui, como o rutilo e o atanásio. O Ti pode ocorrer em diferentes fases minerais, em materiais geogênicos ou pedogênicos. Pode também substituir o Fe em oxihidróxidos de Fe e ser conservado na fração argila do solo (Stiles et al., 2003). Entretanto alguns estudos mostram que o Ti pode ser móvel nas diferentes camadas no solo (Cornu et al., 1999).

Tabela 8. Teores de Si, Al, Ca, F, K, Mg, Na, P, Ti e Mn expressos na forma de óxidos, em horizontes A e Bi de Cambissolos Háplicos Alíticos típicos e rochas, localizadas nas

P	H	g kg ⁻¹									
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	MgO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	TiO ₂	MnO
1	A	496,8	142,6	30,7	16,0	3,0	3,8	0,1	6,1	0,1	0,8
	Bi	511,7	144,2	35,8	2,5	1,6	2,3	0,1	1,4	0,0	0,4
	R	600,1	146,3	46,8	1,1	1,4	2,4	0,0	1,0	0,0	0,9
9	A	686,6	179,7	124,2	2,1	0,9	2,4	0,0	1,3	1,4	1,4
	Bi	678,9	172,4	144,8	0,2	0,3	0,9	0,0	1,3	0,8	0,4
	R	718,1	183,4	89,4	0,3	0,4	1,0	0,0	5,3	1,5	0,6
21	A	630,4	182,2	51,9	1,2	0,9	1,5	0,0	0,9	0,6	0,4
	Bi	657,5	161,3	77,4	0,1	0,6	1,2	0,0	0,7	0,7	0,5
	R	718,3	174,3	33,0	0,1	0,4	2,5	0,0	0,8	0,4	0,2
23	A	440,7	155,0	51,6	6,0	0,6	4,2	0,0	1,1	0,5	0,3
	Bi	477,8	162,0	57,1	0,3	0,5	0,8	0,0	0,8	0,5	0,2
	R	575,8	172,1	24,3	0,2	2,7	4,3	0,1	0,2	0,1	0,2
37	A	563,3	209,1	221,1	1,0	0,7	1,2	0,0	1,8	1,4	0,4
	Bi	559,6	192,1	244,9	0,5	0,2	0,6	0,0	0,9	1,0	0,2
	R	527,4	290,0	175,5	0,1	0,3	0,4	0,0	3,0	2,1	1,2
38	A	540,4	176,6	275,6	1,0	0,6	0,9	0,0	2,1	1,2	1,6
	Bi	607,1	161,7	177,7	0,9	0,2	0,5	0,0	0,6	0,9	0,5
	R	667,4	172,6	179,1	0,3	0,2	0,9	0,0	1,7	1,2	6,6

regiões de altitude de SC.

O Al também pode ser considerado imóvel durante o intemperismo, porém sua solubilidade pode ser bastante variável dependendo das condições geoquímicas e climáticas dominantes, principalmente em valores de pH abaixo de 4,5 e na presença de alguns ácidos orgânicos, que podem acelerar a dissolução do Al da fase sólida do solo formando complexos solúveis Al - íons orgânicos. A formação destes complexos pode aumentar a perda de Al pela lixiviação (Gardner, 1992). Além disto, alguns dos minerais primários, como o feldspato, que contém Al, são instáveis nas condições de superfície, e portanto, facilmente intemperizáveis. Desta forma as perdas do Al podem ser expressas em ganhos nos demais elementos.

Considerando ainda as condições ambientais do presente estudo, em altitudes acima de 800 metros, com temperaturas médias abaixo de 18° C, predomina o processo de complexação, logo a mobilidade do Al seria maior devido a sua reação com ácidos orgânicos.

Através da análise da Tabela 9 verifica-se que todos os perfis apresentaram diferenças na sequência de perda de elementos entre os horizontes A e B, sendo que o perfil 37 foi o que apresentou maior similaridade entre os horizontes.

Entretanto, as sequências observadas nos Cambissolos Háplicos Alíticos não apresentaram a mesma tendência de perda de constituintes e mobilidade dos cátions comuns entre os perfis de solos avaliados. Assim como apresentaram discordância, em linhas gerais, com as sequências de perda de constituintes em solos, estabelecidas por Polinov - Hudson: Cl>SO₄>Na>Ca>Mg>K>Si>Fe>Al.

Essas diferenças também foram observadas por Michelon (2006), em trabalho que teve por objetivo estimar os processos de intemperismo através da avaliação dos ganhos e perdas de elementos para diferentes solos no Rio Grande do Sul. O autor observou em perfil em condições similares ao do presente estudo (UM Vacaria), que os elementos Mg, Fe e Na desviaram-se da série proposta.

Tabela 9. Sequência decrescente de solubilidade dos elementos, através dos métodos IsoAl e IsoTi em horizontes A e B de Cambissolos Háplico Alítico típicos, localizadas nas regiões de altitude de SC.

P	H	Iso	Sequência de solubilidade	P	H	Iso	Sequência de solubilidade
1	A	Al	Na>K>Ca>Mg>Ti>Si>Fe>Mn	23	A	Al	Ca>Ti>Fe>Si>Mn>Mg>K>Na
		Ti	Na>K>Ca>Mg>Al>Si>Fe>Mn			Ti	Ca>Fe>Mn>Si>Al>Mg>K>Na
	Bi	Al	K>Na>Ca>Mg>Ti>Si>Fe>Mn		Bi	Al	Ti>Fe>Ca>Si>Mn>Mg>K>Na
		Ti	K>Na>Ca>Mg>Al>Si>Fe>Mn			Ti	Fe>Al>Ca>Si>Mn>Mg>K>Na
9	A	Al	Fe>Ca>Mn>Mg>Si>K>Na>Ti	37	A	Al	Ca>Na>Mg>K>Si>Fe>Ti>Mn
		Ti	Fe>Ca>Mn>Mg>Si>K>Na>Al			Ti	Ca>Na>Mg>K>Si>Fe>Al>Mn
	Bi	Al	Fe>Ca>Na>Mg>Si>K>Mn>Ti		Bi	Al	Ca>Na>Mg>Si>Fe>K>Ti>Mn
		Ti	Fe>Ca>Al>Na>Si>Mg>K>Mn			Ti	Ca>Na>Mg>Si>Fe>K>Al>Mn
21	A	Al	Ca>Mn>K>Ti>Si>Mg>Na>Fe	38	A	Al	K>Na>Fe>Si>Ti>Ca>Mg>Mn
		Ti	Ca>Mn>K>Si>Fe>Al>Mg>Na			Ti	K>Na>Fe>Si>Al>Ca>Mg>Mn
	Bi	Al	Mn>Fe>Si>Ti>Ca>K>Mg>Na		Bi	Al	Fe>Ti>K>Si>Na>Ca>Mg>Mn
		Ti	Mn>Fe>Si>Ca>K>Al>Mg>Na			Ti	Fe>Al>K>Na>Si>Ca>Mg>Mn

O perfil 1 foi o que apresentou maior similaridade entre os elementos com a sequência proposta por Polinov-Hudson. Entre os elementos, o Ca foi o que apresentou maior similaridade, especialmente na camada superficial dos perfis 21, 23 e 37. Para o potássio também foi observada uma grande mobilidade em alguns perfis, como verificado na camada superficial do perfil 38 e no horizonte B do perfil 1.

Quanto ao Na, este apresentou a menor mobilidade nos perfis 21 e 23, tanto no horizonte A como B, o que pode ser explicado pelos baixos teores observados na rocha. Já para o magnésio, de modo geral, também foi observada a baixa mobilidade deste íon, padrão também observado por Michelin (2006).

A maior mobilidade do Fe no perfil 9 e no horizonte B dos perfis 23 e 38, provavelmente está relacionada aos baixos teores de pH, em função da solubilidade e, conseqüentemente, a movimentação do Fe aumenta com a diminuição do pH do solo. As condições redox do meio podem contribuir para a mobilidade do Fe do solo. Esta constatação também justifica a grande mobilidade do Mn no horizonte B do perfil 21.

A sequência observada na UM Vacaria (Michelon, 2006), Fe>K>Al>Si>Ca>Na>Mg, se aproximou das observadas nos solos de altitude de Santa Catarina.

Os teores dos elementos menores e traços das amostras de solo analisadas (Tabela 10) mostram comportamentos diferenciados entre os elementos.

Para o enxofre e o cobalto foram verificados maiores valores no horizonte superficial. Para o enxofre essa distribuição se justifica em função da maior parte deste elemento encontrar-se na MO do solo, portanto, a mineralização desta influencia sobremaneira a disponibilidade dos nutrientes sujeitos a transformações de oxi-redução e perdas por lixiviação. Segundo Fassbender (1975), o teor de enxofre orgânico pode variar entre 60 e 90 % do teor de enxofre total.

A mobilidade do cobalto é considerada como moderada sob condições de oxidação e elevada em meio ácido, porém devido a sua forte afinidade sortiva com argilominerais e óxidos hidratados de Fe e Mn este metal não migra em fases solúveis (Kabata-Pendias & Pendias, 1992). Durante processos magmáticos iniciais o Co^{+2} substitui o Fe^{+2} e Mn^{+2} , que são similares em carga e raio iônico. Desta forma, as rochas básicas são mais enriquecidas de Co que as rochas ácidas. As principais barreiras geoquímicas devem-se à presença de sulfuretos, à sua adsorção e à variação de pH (Reimann & Caritat, 1998).

Tabela 10. Teores de S, B, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Zr e V em horizontes A e B de Cambissolos Háplicos Alíticos típicos e rochas, localizadas nas regiões de altitude de SC.

P	H	S	B	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Zr	V
1	A	1292,6	<5.0	0,2	2,7	14,4	311,4	5,1	15,3	174,3	8,1	29,9
	Bi	304,4	<5.0	<0.05	1,9	14,4	27,9	4,1	17,9	30,7	9,9	26,0
	R	39,2	<5.0	<0.05	17,2	14,2	44,7	14,2	41,2	34,1	4,6	20,1
9	A	156,8	<5.0	0,1	57,7	21,8	108,0	14,4	16,6	74,3	29,0	234,1
	Bi	152,1	<5.0	0,1	15,8	35,8	111,0	15,7	20,8	59,1	20,0	277,0
	R	41,5	<5.0	0,1	112,5	87,6	300,1	64,1	10,3	113,7	11,6	122,5
21	A	297,2	<5.0	0,1	4,2	6,0	24,6	3,1	29,1	34,0	30,0	59,5
	Bi	155,5	<5.0	0,1	5,7	6,7	30,7	2,8	36,6	32,0	39,2	69,1
	R	26,5	<5.0	0,1	5,7	1,4	53,5	2,6	29,2	26,1	19,9	34,6
23	A	277,9	<5.0	0,1	4,0	8,8	62,9	3,5	26,8	89,2	31,9	54,5
	Bi	199,2	<5.0	0,1	2,7	9,7	62,5	3,3	27,4	35,5	68,9	60,9
	R	25,0	<5.0	<0.05	5,8	12,6	48,0	10,9	22,2	38,0	9,0	13,6
37	A	457,6	<5.0	0,1	8,5	35,5	134,6	14,4	13,3	64,4	23,5	437,3
	Bi	102,9	<5.0	0,1	7,0	38,2	136,2	9,3	13,5	41,8	18,7	474,1
	R	160,1	<5.0	<0.05	70,5	36,8	185,7	12,5	12,1	26,6	49,3	<5.0
38	A	540,1	<5.0	0,1	39,1	29,1	182,1	12,0	13,2	77,1	34,0	594,8
	Bi	49,8	<5.0	0,1	14,9	18,7	171,8	6,7	12,7	42,5	59,2	398,7
	R	42,9	<5.0	0,1	244,5	15,8	161,0	13,8	18,1	52,3	35,8	274,2

Os valores de Cd e B foram baixos e similares em todas as amostras avaliadas. A distribuição de B nas rochas é diferente dos outros elementos menores e traços, por sua predominância nas rochas sedimentares (Krauskopf, 1997).

O Cd é um elemento pouco móvel no solo (Melo et al., 2001), está intimamente ligado a MO e sua retenção correlaciona-se com o pH, CTC do solo, superfície específica e força iônica (Borges, 2002). A mobilidade do Cd é moderada em ambientes oxidantes, sendo muito baixa em ambientes redutores. Este elemento é muito solúvel diante de baixos valores de pH. As principais barreiras geoquímicas para sua perda devem-se à formação de quelatos com os ácidos húmicos e à sua adsorção pelas argilas (Reimann & Caritat, 1998).

O Zn também apresentou maiores valores na camada superficial, exceto no perfil 9, onde foram verificados maiores na rocha. Muitos estudos têm se observado grande afinidade do Zn pelos ácidos fúlvicos da MO (Alloway, 1995). A mineralogia do solo e os valores de pH afetam diretamente a sorção e a mobilidade do Zn no solo. Em condições de solo ácido o Zn encontra-se mais fracamente adsorvido, o que favorece sua maior mobilidade (Zaffari et al., 2009).

Assim, a mobilidade do zinco é elevada sob condições de oxidação em meio ácido e muito baixa em ambiente neutro a alcalino e redutor. As principais barreiras geoquímicas deste elemento são o pH e a adsorção pelas argilas, pelos óxidos de Fe-Mn e pela MO (Reimann & Caritat, 1998).

Os elementos Cr, Ni, Pb e Zr apresentaram pouca diferenciação entre as amostras tanto no solo quanto na rocha, refletindo sua estabilidade nas áreas avaliadas. A mobilidade do Cr é muito baixa em todo o tipo de ambiente (oxidantes, redutores, ácidos, neutros ou alcalinos). No solo, o Cr³⁺, íon que predomina na maioria dos solos, apresenta baixa solubilidade e reatividade, resultando em baixa mobilidade no ambiente (Kabata-Pendias & Pendias, 1992).

A mobilidade do chumbo é baixa sob condições de oxidação, em meio ácido e neutro a alcalino, sendo muito baixa em ambiente redutor. O Pb está intimamente ligado a MO que apresenta cerca de 40 % do total presente no solo, limitando sua mobilidade, e o restante

encontra-se ligado a outros compostos como óxidos e hidróxidos de Fe e Al, carbonatos e fosfatos (Xian, 1989). O íon Pb^{2+} tem raio atômico intermediário entre o K^+ e Ca^{2+} e consequentemente ocorre por substituição nos feldspatos potássios, micas, por isso as rochas ígneas ácidas são mais enriquecidas que as básicas. É móvel nos estágios finais dos processos magmáticos (Kabata-Pendias & Pendias, 1992).

O cobre apresentou padrões diferenciados nos perfis. Foram observados valores maiores na rocha nos perfis 9, 21 e 37 e valores superiores no horizonte A dos perfis 1, 23 e 38.

A sua mobilidade é dependente dos teores de COT e valores de pH, sendo particularmente estável entre valores de pH entre 5 e 6 (Reimann & Caritat, 1998). Em solos e sedimentos apresenta grande potencial de interação química com minerais e componentes orgânicos do solos. Desta forma, o cobre é pouco móvel nos solos, mostrando pequena variação no conteúdo total em perfis pedológicos. Na MO o Cu é retido principalmente pelos ácidos húmicos e fúlvicos, formando complexos estáveis (Silva & Mendonça, 2007).

Os perfis 21 e 23 foram os que apresentaram, na maioria dos casos, as menores diferenças quanto aos teores de elementos menores e traços entre as amostras avaliadas. A distribuição das diferentes formas de elementos menores e traços depende das propriedades químicas dos metais e das características do solo, tais como: pH, potencial redox, textura, CTC do solo, competição entre metais, temperatura do solo e atividade microbiana (Alloway, 1995).

O pH está entre as propriedades que mais afetam a distribuição química, mobilidade e a disponibilidade de micronutrientes no solo, pois o aumento de pH resulta no aumento da CTC do solo pela desprotonação dos grupamentos ácidos da MO e da superfície dos óxidos, na formação de hidróxidos, carbonatos e fosfatos insolúveis com os micronutrientes e na complexação mais efetiva pela MO (Kabata-Pendias & Adriano, 1995).

Na Tabela 11 são observados os valores da composição química (elementos maiores) nos perfis de Cambissolos Háplicos Distróficos típicos, que apresentaram maior ocorrência na área de estudo.

Os valores bastante elevados em Fe nos solos decorrem da herança do material de origem, que é naturalmente enriquecido nestes elementos, assim como observado para o Al.

Por outro lado, os baixos teores de SiO_2 indicam que a alteração intempérica deu-se com perda moderada de Si, com diminuição da relação SiO_2/Al_2O_3 da rocha para o solo. Verifica-se uma diminuição dos valores de Ca e Mg nos solos, porém, em alguns perfis, como 12 e 15 estes elementos ainda estão presentes em quantidades significativas, especialmente o Ca.

O manganês apresentou padrão variável no perfis, onde em alguns casos foram verificadas perdas nos horizontes superficiais e um considerável aumento em profundidade. Assim, as perdas podem estar associadas a períodos de maior precipitação, podendo ser formados sítios redutores, que podem favorecer a perda do Mn, assim como do ferro, ou ainda pode acumular-se na superfície ou manter valores mais elevados nas rochas.

O P apresentou de maneira geral, baixos valores tanto na rocha como no solos. O P é liberado por processos de intemperismo dos minerais primários e incorporado na MO, adsorvido nos argilominerais ou precipitado (Sommer, et al, 1996).

Assim como observado nos Cambissolos Háplicos Alíticos, os Distróficos também apresentaram grande variação entre as sequências de perdas de elementos apresentadas nos perfis de solo. Para os perfis 11, 12, 13 e 29 (Tabela 12), verificou-se uma grande similaridade com a sequência de Polinov (1937).

Tabela 11. Teores de Si, Al, Ca, F, K, Mg, Na, P, Ti e Mn expressos na forma de óxidos, em horizontes A e B de Cambissolos Háplicos Distróficos típicos e rochas, localizadas nas regiões de altitude de SC.

P	H	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O g kg ⁻¹	MgO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	TiO ₂	MnO
2	A	517,6	48,4	28,3	0,3	1,8	2,5	0,0	0,8	0,0	0,3
	Bi	557,2	50,8	37,7	0,1	1,4	2,3	0,0	0,3	0,0	0,2
	R	618,0	48,6	24,7	0,2	1,5	6,4	0,1	0,3	0,1	0,1
8	A	615,8	67,1	176,9	1,9	0,6	1,1	0,0	2,0	2,1	2,5
	Bi	679,6	83,3	127,2	1,6	0,7	1,3	0,3	0,7	2,4	2,9
	R	745,7	129,0	115,3	0,6	0,4	1,5	0,1	3,1	1,7	2,6
11	A	646,0	100,3	114,4	5,4	0,8	5,8	0,2	1,8	2,1	3,2
	Bi	669,6	88,7	125,2	4,2	1,1	5,6	0,3	0,6	2,2	2,5
	R	767,7	97,0	118,1	2,6	0,5	10,2	0,2	0,9	1,6	1,2
12	A	675,6	91,2	112,3	11,2	1,9	3,7	0,2	1,4	1,9	0,6
	Bi	666,3	88,7	127,4	7,2	1,4	4,9	0,3	0,9	2,0	0,9
	R	741,4	92,4	151,2	4,1	0,6	6,2	0,3	0,7	1,7	1,4
13	A	561,6	100,4	133,2	0,6	0,5	1,6	0,0	0,8	0,8	0,5
	Bi	603,0	112,2	178,2	0,4	0,4	1,5	0,0	1,9	1,7	0,7
	R	712,3	136,4	144,1	0,2	0,2	1,3	0,0	3,5	1,6	0,4
14	A	618,8	74,5	193,8	3,4	0,5	1,8	0,1	1,8	1,5	3,8
	Bi	662,8	78,5	151,9	0,6	0,4	0,9	0,0	0,8	1,1	3,0
	R	742,0	51,0	188,8	1,1	0,4	6,4	0,1	5,7	4,1	0,4
15	A	605,4	64,5	102,1	12,3	3,1	4,1	0,2	1,5	2,2	4,6
	Bi	684,7	79,3	116,7	6,6	1,1	5,4	0,3	0,7	2,2	3,0
	R	781,6	83,2	98,2	7,6	0,5	22,4	0,3	0,8	1,7	3,7
16	A	577,9	83,4	131,8	0,6	0,4	1,3	0,0	1,6	1,6	1,4
	Bi	621,4	88,1	187,4	0,1	0,2	0,6	0,0	0,8	1,0	0,4
	R	771,9	92,4	123,2	1,2	0,6	2,5	0,0	0,9	2,8	4,5
17	A	554,6	108,1	134,6	0,2	0,2	0,6	0,0	0,6	0,8	0,3
	Bi	615,9	95,8	180,9	0,4	0,4	1,6	0,0	2,5	1,8	0,7
	R	742,9	62,7	180,2	0,6	0,5	4,2	0,1	4,0	4,1	0,7
19	A	620,8	82,3	189,5	0,8	0,2	1,6	0,0	1,5	1,0	2,3
	Bi	685,2	72,2	135,2	0,1	0,6	1,7	0,1	1,7	1,3	2,0
	R	751,7	60,3	54,0	16,0	3,2	9,9	0,3	2,1	1,7	0,8
20	A	614,1	61,8	210,2	5,8	0,5	1,5	0,0	1,8	1,8	2,5
	Bi	673,7	78,2	142,6	0,3	0,3	0,8	0,0	1,9	0,7	1,5
	R	752,3	122,7	116,8	0,6	0,3	2,0	0,0	3,0	1,0	1,3
29	A	452,4	92,0	245,9	2,7	0,4	1,9	0,0	1,9	1,8	1,0
	Bi	481,9	91,8	222,4	0,3	0,3	1,6	0,0	1,0	1,2	0,5
	R	575,3	262,5	156,8	0,7	0,1	4,1	0,0	1,3	2,9	0,3
32	A	490,1	82,9	256,6	2,0	0,4	1,2	0,0	1,1	1,9	3,8
	Bi	525,9	85,6	230,4	0,4	0,8	1,8	0,0	0,9	2,9	1,3
	R	589,5	122,6	176,9	0,7	0,6	5,1	0,1	1,1	2,5	0,9

Tabela 12. Sequência decrescente de solubilidade dos elementos, através dos métodos IsoAl e IsoTi em horizontes A e B de Cambissolos Háplicos Distrófico típicos, localizadas nas regiões de altitude de Santa Catarina.

P	H	Iso	Sequência de solubilidade	P	H	Iso	Sequência de solubilidade
2	A	Al	Mn>K>Si>Fe>Na>Ca>Mg>Ti	16	A	Al	Na>Fe>K>Si>Mg>Ca>Ti>Mn
		Ti	Mn>K>Si>Fe>Al>Na>Ca>Mg			Ti	Na>Fe>Si>Al>K>Mg>Ca>Mn
	Bi	Al	Fe>Mn>K>Si>Na>Ca>Mg>Ti		Bi	Al	Fe>Na>K>Si>Ti>Mn>Mg>Ca
		Ti	Fe>Mn>Al>K>Si>Na>Ca>Mg			Ti	Fe>Al>Na>K>Mn>Si>Mg>Ca
8	A	Al	Ca>Mg>Mn>K>Si>Na>Ti>Fe	17	A	Al	Fe>Mn>K>Ca>Si>Na>Ti>Mg
		Ti	Ca>Mg>Mn>K>Si>Na>Fe>Al			Ti	Al>Fe>Mn>K>Si>Ca>Na>Mg
	Bi	Al	Ca>Mg>Mn>K>Si>Na>Ti>Fe		Bi	Al	Mn>Fe>K>Ca>Si>Ti>Na>Mg
		Ti	Ca>Mg>Mn>K>Si>Na>Fe>Al			Ti	Al>Mn>Fe>Si>K>Ca>Na>Mg
11	A	Al	Ca>Na>Mg>K>Si>Fe>Ti>Mn	19	A	Al	Fe>Mn>Ti>Si>Na>K>Ca>Mg
		Ti	Ca>Na>Mg>K>Si>Fe>Al>Mn			Ti	Fe>Mn>Al>Si>Na>K>Ca>Mg
	Bi	Al	Ca>Na>Mg>K>Si>Fe>Ti>Mn		Bi	Al	Fe>Mn>Ti>Si>Na>K>Ca>Mg
		Ti	Ca>Na>Mg>K>Si>Fe>Al>Mn			Ti	Fe>Mn>Al>Si>Na>K>Ca>Mg
12	A	Al	Ca>Na>Mg>Ti>Si>Fe>K>Mn	20	A	Al	Ca>K>Mn>Ti>Si>Fe>Na>Mg
		Ti	Ca>Na>Mg>Si>Fe>K>Al>Mn			Ti	Ca>K>Mn>Si>Fe>Na>Mg>Al
	Bi	Al	Ca>Na>Mg>K>Si>Fe>Ti>Mn		Bi	Al	Fe>Mn>K>Ti>Si>Ca>Na>Mg
		Ti	Ca>Na>Mg>K>Si>Mn>Fe>Al			Ti	Fe>Mn>K>Si>Al>Ca>Na>Mg
13	A	Al	Ca>Na>Mg>K>Si>Ti>Mn>Fe	29	A	Al	Ca>Mg>K>Mn>Si>Na>Fe>Ti
		Ti	Ca>Na>Mg>K>Mn>Si>Fe>Al			Ti	Ca>Mg>K>Mn>Na>Si>Fe>Al
	Bi	Al	Ca>Na>Mg>K>Si>Ti>Mn>Fe		Bi	Al	Ca>Mg>K>Mn>Na>Si>Fe>Ti
		Ti	Ca>Na>Mg>K>Mn>Fe>Si>Al			Ti	Ca>Mg>K>Mn>Na>Si>Fe>Al
14	A	Al	Mn>Ca>K>Si>Fe>Na>Ti>Mg	32	A	Al	Mn>Ca>Si>Fe>Ti>K>Na>Mg
		Ti	Mn>Ca>Al>K>Si>Fe>Na>Mg			Ti	Mn>Ca>Si>Fe>K>Al>Na>Mg
	Bi	Al	Mn>K>Fe>Si>Ca>Na>Ti>Mg		Bi	Al	Mn>K>Si>Ti>Fe>Ca>Na>Mg
		Ti	Mn>Al>K>Si>Fe>Ca>Na>Mg			Ti	Mn>K>Si>Fe>Al>Ca>Na>Mg
15	A	Al	K>Ca>Ti>Si>Mn>Fe>Na>Mg				
		Ti	K>Ca>Mn>Si>Fe>Al>Na>Mg				
	Bi	Al	K>Ti>Fe>Si>Ca>Mn>Na>Mg				
		Ti	K>Fe>Al>Si>Ca>Mn>Na>Mg				

O Mn apresentou grande mobilidade nestes solos. O Fe no perfil 19 e o K no perfil 15 também apresentaram grande mobilidade inclusive em profundidade.

Desta forma, a distribuição geoquímica dos elementos evidencia que o primeiro grupo de constituintes móveis refere-se ao Ca e Mn, que são rapidamente mobilizados, permanecendo nos horizontes superficiais em razão principalmente da ciclagem vegetal. Segue-se o K, Mg e Na, que também são mobilizados e transportados com menor intensidade. O Si é mais lentamente transportado.

Porém, questões específicas do ambiente, como as altas taxas de precipitação pluviométrica favorecem o transporte destes elementos. Assim, pode haver o aumento da solubilidade do Fe, como foi observado no perfil 19. Para o Mg verificou-se uma baixa mobilidade em grande parte dos perfis.

Na Tabela 13 são apresentados os valores dos elementos observados nos perfis de Cambissolos Háplicos Distróficos típicos. O Ni apresentou valores mais elevados na rocha, exceto para o perfil 19 onde foram verificados os maiores valores no horizonte A.

Para os teores Cr, Co e Pb foram registrados valores próximos. Alguns perfis apresentaram maiores valores no horizonte A, enquanto em outros perfis estes maiores valores foram observados tanto no horizonte B, como na rocha. O B e o Cd não mostraram diferenças detectáveis.

Tabela 13. Teores de S, B, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Zr e V em horizontes A e B de Cambissolos Háplicos Distrófico típicos e rochas, localizadas nas regiões de altitude de SC.

P	H	S	B	Cd	Co	Cr	mg Kg ⁻¹					
							Cu	Ni	Pb	Zn	Zr	V
2	A	362,9	<5,0	0,1	2,9	12,0	11,8	5,7	19,6	28,5	9,2	21,6
	Bi	96,4	<5,0	<0,05	3,5	16,3	13,3	6,1	20,5	21,8	10,2	23,0
	R	18,1	<5,0	<0,05	4,0	12,7	22,4	17,5	18,9	40,9	6,9	12,3
8	A	349,2	<5,0	0,1	46,9	26,9	114,8	15,0	15,5	78,5	32,1	387,8
	Bi	127,0	<5,0	0,1	55,2	22,7	107,1	28,6	13,9	72,7	36,5	218,2
	R	<10	<5,0	0,1	79,2	9,4	152,7	48,7	15,1	80,3	24,7	174,7
11	A	212,1	<5,0	0,2	88,4	24,1	128,2	22,9	16,7	90,3	39,9	200,4
	Bi	98,4	<5,0	0,1	59,7	29,2	126,2	30,1	14,4	74,7	38,5	209,7
	R	26,7	<5,0	0,1	70,6	15,7	120,9	54,6	10,7	102,7	68,9	206,0
12	A	298,2	<5,0	0,2	54,2	30,2	99,4	27,3	18,6	69,1	40,1	221,4
	Bi	145,2	<5,0	0,1	49,2	28,5	115,3	29,4	12,7	57,8	30,7	205,5
	R	39,4	<5,0	0,1	65,3	14,4	87,2	40,4	14,4	59,7	31,1	157,4
13	A	122,6	<5,0	<0,05	18,2	39,7	89,4	18,5	22,4	38,4	58,7	235,4
	Bi	101,4	<5,0	<0,05	21,7	31,2	141,3	30,7	13,1	71,0	15,2	169,2
	R	100,2	<5,0	0,1	43,5	35,4	203,0	63,1	18,1	42,2	107,7	269,4
14	A	511,2	<5,0	0,1	69,5	34,5	104,8	19,7	16,2	82,2	29,0	383,9
	Bi	134,2	<5,0	0,1	76,6	35,5	107,7	15,8	21,7	62,0	30,1	310,8
	R	157,8	<5,0	0,1	26,9	48,1	166,9	43,3	15,3	26,4	46,1	289,2
15	A	384,6	<5,0	0,2	92,1	25,7	104,3	28,7	15,8	93,9	41,9	218,1
	Bi	138,0	<5,0	0,1	64,6	23,1	116,9	30,6	13,9	71,6	34,1	210,0
	R	36,7	<5,0	0,1	74,2	11,5	86,2	44,2	11,3	60,8	32,4	158,5
16	A	106,9	<5,0	0,1	44,9	37,7	114,9	20,2	15,3	53,8	35,0	264,0
	Bi	125,2	<5,0	0,1	10,2	74,9	98,0	15,1	16,2	37,7	19,9	276,6
	R	46,6	<5,0	0,1	176,1	39,6	129,7	50,3	17,1	40,3	60,5	191,9
17	A	75,6	<5,0	<0,05	5,1	56,2	80,3	13,7	25,6	37,0	64,6	256,2
	Bi	107,2	<5,0	<0,05	24,4	35,2	137,7	32,2	11,2	68,4	14,8	263,4
	R	78,8	<5,0	0,1	59,8	70,3	163,3	47,7	14,4	57,8	50,8	348,7
19	A	46,7	<5,0	0,1	126,8	66,1	97,4	36,5	12,0	64,6	11,6	296,9
	Bi	65,1	<5,0	0,1	87,4	58,4	108,1	26,1	10,1	44,9	38,1	195,1
	R	<10	<5,0	0,1	22,4	6,9	158,0	17,4	8,3	33,7	58,7	61,3
20	A	303,4	<5,0	0,1	72,0	45,2	116,8	14,9	17,0	67,5	30,4	385,0
	Bi	84,6	<5,0	0,1	44,9	42,7	106,1	17,2	17,2	58,6	63,9	230,5
	R	15,9	<5,0	0,1	67,0	46,6	194,0	53,2	7,9	65,0	63,2	129,9
29	A	290,0	<5,0	0,2	24,0	19,8	117,5	8,8	25,2	71,0	42,4	161,2
	Bi	154,9	<5,0	0,1	22,9	23,3	113,0	9,2	22,2	40,6	36,7	211,2
	R	431,4	<5,0	0,1	16,4	167,8	106,9	9,5	13,9	18,7	83,1	270,5
32	A	319,3	<5,0	0,1	109,6	121,4	117,7	27,6	19,8	68,5	29,1	406,5
	Bi	294,9	<5,0	0,1	42,8	68,6	117,0	27,0	12,6	59,9	34,3	240,5
	R	190,2	<5,0	0,1	31,6	89,6	175,5	90,1	11,9	61,0	47,4	243,7

O Cu e o Zr apresentaram padrões similares, com maiores valores observados na rocha em grande parte das amostras analisadas. Em contrapartida, para o Zn e V os maiores valores em grande parte dos perfis não foram quantificados no horizonte A. Os teores de MO, os óxidos de ferro, de alumínio e de manganês e os minerais de argila influenciam na retenção do zinco no solo, como foi observado também por Stevenson & Ardakani (1972).

Observa-se que a mobilidade dos elementos no solo pode apresentar ampla variação. Alguns deles, são fortemente retidos na fase sólida do solo, enquanto outros não são adsorvidos ou, às vezes, são excluídos pelas cargas negativas dos sólidos.

A perda nos teores absolutos de SiO₂ foi pequena. Os valores ao longo da sequência de alteração são apresentados na Tabela 14. Na maioria dos perfis observou-se acréscimo discreto nos teores absolutos dos elementos Al, Fe e Ti nos horizontes B, seguido de subsequente decréscimo no horizonte A. Entretanto, em inúmeros perfis, os maiores valores foram observados no horizonte A.

Os teores absolutos do Ca, Mg e K, mostraram perda geralmente acentuada ao longo da evolução da alteração intempérica, excetuando-se quando o teor inicial foi baixo. Observou-se, em inúmeros perfis, acréscimo de CaO e MgO a partir do horizonte B em direção ao horizonte A. Para o Mn foi observado padrão errático com ganhos e perdas nos perfis de alteração.

As sequências de perdas de elementos para os Cambissolos Húmicos mostra valores expressivos quanto à mobilidade do Fe, sendo esta maior em comparação com os demais elementos o que pode ser observado através das análises dos perfis 10 e 36, tanto no horizonte A como no B. Para o K verificou-se elevada mobilidade na camada superficial dos perfis 3 e 35 (Tabela 15).

Já para o Mg, verificou-se menor mobilidade em comparação aos demais o que pode ser confirmado através da análise dos perfis 3, 35 e 36. O Al apresentou mobilidade média na maior parte dos perfis, estando possivelmente relacionado aos baixos valores de pH.

Os valores dos elementos nos Cambissolos Húmicos, que contém elevados teores de MO e alumínio, são apresentados na Tabela 16. Para o S, assim como observado para os demais Cambissolos os teores foram mais elevados no horizonte A. O maior valor entre todas as amostras foi observado no perfil 35, justamente aquele onde foram observados os maiores valores de COT. O V e o Cr também apresentaram padrão similar ao observado para o S, exceto para o perfil 10 que apresentou maiores valores na rocha para os dois elementos.

Para o Co foi verificado padrão contrário ao S, sendo todos os perfis apresentaram maiores valores na rocha. O Zn apresentou padrão similar ao observado para o Co, exceto para o perfil 4 onde os maiores valores deste elemento foram verificados no horizonte A.

Tabela 14. Teores de Si, Al, Ca, F, K, Mg, Na, P, Ti e Mn expressos na forma de óxidos, em horizontes A e B de Cambissolos Húmicos Alíticos típicos e rochas, localizadas nas regiões de altitude de SC.

P	H	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	g kg ⁻¹					
						K ₂ O	MgO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	TiO ₂	MnO
3	A	484,8	138,7	31,6	0,8	1,7	1,7	0,0	0,5	0,1	0,1
	Bi	518,9	149,2	28,2	0,6	0,9	1,4	0,0	0,4	0,3	0,1
	R	600,3	173,6	23,5	0,2	0,3	0,9	0,0	0,5	0,5	0,2
4	A	524,8	136,6	17,9	10,7	2,9	3,5	0,1	3,0	0,0	0,5
	Bi	535,6	138,0	17,8	2,6	2,2	2,8	0,0	0,4	0,0	0,6
	R	557,3	128,8	9,1	1,1	1,0	2,1	0,0	0,2	0,0	0,4
10	A	607,9	211,1	75,7	0,8	0,7	1,8	0,0	0,7	0,7	0,6
	Bi	604,7	210,2	80,4	1,1	0,6	1,4	0,0	0,6	0,5	0,5
	R	696,1	198,8	98,0	0,6	0,1	1,1	0,1	1,9	1,9	1,4
35	A	609,2	216,7	68,4	0,6	0,7	1,4	0,0	2,2	0,6	0,2
	Bi	666,6	217,5	112,2	0,1	0,4	1,2	0,0	1,4	0,4	0,2
	R	699,0	245,9	41,0	0,6	0,2	7,1	0,0	4,7	0,7	0,8
36	A	611,6	226,0	58,4	0,5	0,7	1,3	0,0	0,8	0,5	0,2
	Bi	698,3	213,3	84,7	0,1	0,8	1,4	0,0	0,9	0,4	0,1
	R	786,4	176,0	32,2	0,4	0,4	2,9	0,0	0,9	0,6	0,2

Tabela 15. Sequência decrescente de solubilidade dos elementos, através dos métodos IsoAl e IsoTi em horizontes A e B de Cambissolos Húmico Alítico típicos, localizadas nas regiões de altitude de SC.

Perfil	Hor.	Iso	Sequência de solubilidade	P	H	Iso	Sequência de solubilidade	
3	A	Al	K>Mn>Fe>Si>Na>Ca>Mg>Ti	35	A	Al	K>Na>Fe>Si>Ca>Ti>Mn>Mg	
		Ti	K>Mn>Fe>Si>Al>Na>Ca>Mg			Ti	K>Na>Fe>Si>Ca>Al>Mn>Mg	
	Bi	Al	Mn>K>Fe>Si>Na>Ca>Mg>Ti		Bi	Al	Fe>K>Na>Si>Ti>Ca>Mn>Mg	
		Ti	Mn>Al>K>Fe>Si>Na>Ca>Mg			Ti	Fe>K>NaSi>>Al>Ca>Mn>Mg	
4	A	Al	Ca>K>Fe>Si>Mg>Na>Mn>Ti	36	A	Al	Fe>K>Mn>Si>Ti>Ca>Na>Mg	
		Ti	Ca>K>Fe>Si>Mg>Na>Mn>Al			Ti	Fe>K>Si>Al>Mn>Ca>Na>Mg	
	Bi	Al	Ca>K>Fe>Si>Mn>Mg>Ti>Na		Bi	Al	Fe>K>Si>Na>Ca>Mn>Ti>Mg	
		Ti	Ca>K>Fe>Si>Mn>Mg>Al>Na			Ti	Fe>K>Si>Al>Na>Ca>Mn>Mg	
10	A	Al	Fe>Na>Ca>Si>Mg>Ti>K>Mn					
		Ti	Fe>Na>Ca>Mg>Si>K>Mn>Al					
	Bi	Al	Fe>Na>Ca>Mg>Si>Ti>K>Mn					
		Ti	Fe>Na>Ca>Mg>K>Si>Mn>Al					

O Ni, Zr, Cu e Pb não apresentaram padrão diferenciado entre os perfis avaliados nessa classe de solo, sendo observados valores superiores no solo em alguns perfis e na rocha para outros. No P4 os valores indicam que houve incremento de Cu no horizonte A, o que pode ser devido ao uso da calda bordalesa (mistura de sulfato de cobre e cal, diluídos em água - CuSO₄.5H₂O + Ca(OH)₂) comum no controle de doenças na cultura da uva.

Tabela 16. Teores de S, B, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Zr e V em horizontes A e B de Cambissolos Húmicos Alíticos típicos e rochas, localizadas nas regiões de altitude de SC.

P	H	S	B	Cd	Co	Cr	mg kg ⁻¹					
							Cu	Ni	Pb	Zn	Zr	V
3	A	223,4	<5,0	<0,05	2,6	11,4	28,2	4,2	9,8	18,5	9,5	30,1
	Bi	12,4	<5,0	0,1	4,1	9,5	32,1	4,0	10,2	22,2	12,4	21,7
	R	54,8	<5,0	0,1	7,3	1,6	66,2	3,2	17,8	32,6	21,7	15,8
4	A	499,0	<5,0	0,1	4,5	10,3	45,1	4,5	15,9	101,4	5,4	14,2
	Bi	192,7	<5,0	0,1	4,0	10,1	7,4	4,3	16,4	25,2	7,0	10,5
	R	85,8	<5,0	<0,05	5,7	5,6	4,4	4,9	12,0	14,8	4,9	<5,0
10	A	112,4	<5,0	0,1	54,3	10,8	44,2	40,7	15,5	22,9	44,2	82,1
	Bi	89,1	<5,0	0,1	59,2	11,3	50,7	38,5	12,3	20,7	49,4	91,7
	R	21,0	<5,0	0,1	116,7	37,2	164,0	90,9	9,0	37,4	65,9	160,1
35	A	708,2	<5,0	0,1	3,3	21,7	23,1	5,9	23,5	50,7	45,3	83,9
	Bi	248,5	<5,0	0,1	3,4	20,1	23,9	5,9	18,9	38,2	27,4	110,9
	R	195,4	<5,0	0,1	7,0	2,2	6,8	2,6	19,1	113,0	57,8	6,9
36	A	175,5	<5,0	0,1	3,5	9,4	23,1	5,3	36,4	45,1	96,6	48,9
	Bi	128,6	<5,0	0,1	3,8	11,7	27,4	6,0	31,0	46,0	24,1	72,1
	R	45,7	<5,0	0,1	9,2	2,3	22,7	6,1	40,1	64,1	61,5	12,0

Na Tabela 17 são apresentados os valores dos elementos maiores onde se observa valores elevados de Al na rocha de grande parte dos perfis (perfis 5, 18, 22, 24, 25, 30, 31, 33 e 34), diminuindo em direção ao horizonte A.

Tabela 17. Teores de Si, Al, Ca, F, K, Mg, Na, P, Ti e Mn expressos na forma de óxidos, em horizontes A e Bt de Nitossolos Brunos, Háplicos e Vermelhos e rochas, localizadas nas regiões de altitude de SC.

P	H	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	g kg ⁻¹					
						K ₂ O	MgO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	TiO ₂	MnO
5	A	514,3	90,5	89,4	2,1	0,5	0,5	0,0	0,9	1,4	0,4
	Bt	532,2	87,8	74,7	1,7	0,4	0,7	0,0	0,8	1,2	0,5
	R	668,3	99,5	67,9	0,5	0,2	0,6	0,0	1,0	1,5	0,5
7	A	514,9	90,0	187,4	2,1	0,5	1,4	0,0	2,0	1,0	0,7
	Bt	561,4	88,4	146,3	0,2	0,3	0,9	0,0	1,3	0,7	0,5
	R	675,6	80,1	180,9	0,8	0,1	0,8	0,0	2,1	1,2	1,4
18	A	593,4	63,5	227,0	3,3	0,4	1,9	0,0	3,0	2,2	5,3
	Bt	600,6	84,7	207,4	1,1	0,3	1,8	0,0	1,4	1,4	1,3
	R	654,6	151,4	173,4	1,6	0,1	12,2	0,2	2,9	2,9	0,7
22	A	498,3	61,3	226,3	4,5	1,0	1,2	0,0	1,8	2,1	3,5
	Bt	523,5	74,3	197,1	0,5	0,4	0,6	0,0	1,0	1,3	1,3
	R	561,6	114,6	115,0	1,5	0,4	3,2	0,1	0,7	1,2	1,7
24	A	419,0	62,0	296,3	12,8	0,8	5,5	0,0	2,8	0,4	0,4
	Bt	511,0	72,1	214,0	0,3	0,2	0,5	0,0	1,0	0,5	0,4
	R	553,5	101,2	138,9	0,1	0,1	0,1	0,0	2,0	3,1	1,0
25	A	469,5	98,7	225,4	0,4	0,3	0,6	0,0	1,8	2,5	0,8
	Bt	490,8	90,4	212,9	0,8	0,4	0,5	0,0	1,7	1,6	0,9
	R	571,5	101,8	114,1	3,9	0,4	4,9	0,1	1,1	1,1	1,1
26	A	426,4	95,1	182,7	1,5	0,3	1,3	0,0	1,4	0,8	0,5
	Bt	481,0	91,1	165,4	0,1	0,2	0,4	0,0	0,9	0,6	0,3
	R	562,7	83,6	143,4	1,5	0,9	4,1	0,0	0,4	2,0	1,4
30	A	494,9	62,3	218,1	2,3	1,9	2,2	0,0	1,1	3,4	3,8
	Bt	474,5	88,6	155,6	2,5	1,2	2,1	0,0	1,2	2,1	2,2
	R	564,1	112,5	134,9	2,7	0,3	2,3	0,2	1,3	1,2	0,5
31	A	498,8	93,9	200,7	0,4	0,4	0,8	0,0	2,2	1,7	1,1
	Bt	514,4	132,8	246,0	0,3	0,4	0,8	0,0	2,0	1,9	1,4
	R	591,1	142,9	199,5	0,4	0,3	0,8	0,0	2,7	1,9	0,4
33	A	477,2	68,8	246,0	0,7	0,2	0,8	0,0	0,9	1,2	4,2
	Bt	493,0	68,7	191,8	0,6	0,2	0,7	0,0	0,7	1,1	3,2
	R	585,3	99,0	140,4	5,0	0,7	3,5	0,1	0,8	0,9	4,3
34	A	433,8	76,9	191,6	1,1	0,5	1,2	0,0	1,4	2,6	0,9
	Bt	460,9	78,9	172,0	1,2	0,3	1,0	0,0	0,8	1,5	3,4
	R	596,8	176,1	156,0	0,3	0,1	1,3	0,0	6,0	2,7	0,7

O Ca apresentou maiores valores no horizonte A, exceto para os perfis 31 e 33. O elevado valor observado no horizonte A do perfil 24, está certamente relacionado à calagem que geralmente é utilizada para a correção dos solos.

Para o Fe, em todos os perfis analisados, exceto no perfil 24, foram verificados valores mais elevados no horizonte A, diminuindo em comparação com a rocha. Este padrão também foi observado para o K, entretanto em um número um pouco menor de perfis.

O Mg, assim como o Mn apresentou comportamento diferenciado, com muitos perfis com valores mais elevados nas rochas. O P mostrou valores similares entre os encontrados no solo e na rocha na maioria dos perfis.

A sequência decrescente de solubilidade dos elementos nos Nitossolos de altitude é apresentada na Tabela 18. Destaca-se a baixa mobilidade do Mg e Na, como já observado na classe dos Cambissolos. O Ca apresentou mobilidade elevada nos perfis 22 e 24, entretanto nos demais a mobilidade variou de moderada a baixa. Já o K e o Fe apresentaram mobilidade elevada em alguns perfis avaliados.

Tabela 18. Sequência decrescente de solubilidade dos elementos, através dos métodos IsoAl e IsoTi em horizontes A e Bt de Nitossolos Brunos, Háplicos e Vermelhos, localizadas nas regiões de altitude de SC.

P	H	Iso	Sequência de solubilidade	P	H	Iso	Sequência de solubilidade	
5	A	Al	K>Mn>Ca>Mg>Na>Si>Fe>Ti	26	A	Al	Fe>Ca>Na>Si>Ti>Mn>K>Mg	
		Ti	K>Mn>Ca>Mg>Na>Si>Fe>Al			Ti	Fe>Al>Ca>Si>Na>Mn>K>Mg	
	Bt	Al	K>Mn>Ca>Mg>Na>Si>Fe>Ti		Bt	Al	Fe>Na>Ti>Si>K>Mn>Mg>Ca	
		Ti	K>Mn>Ca>Mg>Na>Si>Fe>Al			Ti	Fe>Al>Na>Si>K>Mn>Mg>Ca	
7	A	Al	K>Na>Ca>Mg>Si>Fe>Ti>Mn	30	A	Al	Mn>Fe>Ti>Si>K>Ca>Mg>Na	
		Ti	K>Na>Ca>Mg>Si>Al>Fe>Mn			Ti	Mn>Fe>Al>Si>K>Ca>Mg>Na	
	Bt	Al	K>Mg>Na>Ca>Si>Fe>Ti>Mn		Bt	Al	Mn>Fe>Ti>Si>K>Ca>Mg>Na	
		Ti	K>Al>Mg>Na>Ca>Si>Fe>Mn			Ti	Mn>Fe>Al>Si>K>Ca>Mg>Na	
18	A	Al	Mn>K>Ca>Si>Fe>Ti>Na>Mg	31	A	Al	Mn>Na>K>Si>Fe>Mg>Ca>Ti	
		Ti	Mn>K>Ca>Si>Fe>Al>Na>Mg			Ti	Mn>Na>K>Si>Fe>Mg>Ca>Al	
	Bt	Al	K>Mn>Si>Fe>Ca>Ti>Na>Mg		Bt	Al	Mn>Na>K>Si>Mg>Ti>Ca>Fe	
		Ti	K>Mn>Al>Si>Fe>Ca>Na>Mg			Ti	Mn>Na>K>Si>Mg>Al>Ca>Fe	
22	A	Al	Ca>K>Mn>Si>Fe>Ti>Na>Mg	33	A	Al	Fe>Ti>Mn>Si>K>Mg>Na>Ca	
		Ti	Ca>K>Mn>Si>Fe>Al>Na>Mg			Ti	Fe>Mn>Al>Si>K>Na>Mg>Ca	
	Bt	Al	Fe>Ti>K>Mn>Si>Ca>Na>Mg		Bt	Al	Ti>Fe>Mn>Si>K>Mg>Ca>Na	
		Ti	Fe>K>Mn>Al>Si>Ca>Na>Mg			Ti	Fe>Mn>Al>Si>K>Mg>Ca>Na	
24	A	Al	Ca>Mg>K>Na>Si>Fe>Mn>Ti	34	A	Al	K>Ca>Mn>Si>Fe>Ti>Mg>Na	
		Ti	Ca>Mg>K>Na>Si>Fe>Al>Mn			Ti	K>Ca>Mn>Si>Fe>Mg>Na>Al	
	Bt	Al	Ca>Mg>K>Na>Si>Fe>Mn>Ti		Bt	Al	Mn>Ca>k> Si>Fe>Mg>Na>Ti	
		Ti	Ca>Mg>K>Na>Si>Fe>Al>Mn			Ti	Mn>Ca>K>Si>Fe>Mg>Na>Al	
25	A	Al	Fe>Mn>Ti>Na>Si>K>Ca>Mg					
		Ti	Fe>Mn>Al>Na>Si>K>Ca>Mg					
	Bt	Al	Fe>Mn>Ti>Na>Si>K>Ca>Mg					
		Ti	Fe>Mn>Al>Na>Si>K>Ca>Mg					

Na Tabela 19 observam-se os valores dos elementos para os Nitossolos. O Cu se destaca com os maiores teores observados na rocha para todos os perfis, exceto no perfil 25. Destacando os elevados teores de Cu provenientes do material de origem. Para o Ni também foi verificado este padrão com maiores valores na rocha.

O S e V, apresentam padrão divergente, com maior concentração no horizonte A da maioria dos perfis. O Pb, Zn, Zr, Co e Cr, apresentaram valores elevados tanto nos horizontes A e Bt, assim como em alguns casos nas rochas, não sendo identificado um padrão diferenciado para estes elementos.

Os Latossolos, considerando-se uma escala evolutiva quanto à pedogênese, são caracterizados pela ação intensa dos processos de intemperismo químico e processos pedogenéticos, com forte lixiviação quase completa dos elementos químicos do perfil de solo, sendo observado predomínio de Al e Fe na forma de óxidos e oxi-hidróxidos. Devido ao avançado estágio da pedogênese, estes são solos que apresentam pouca diferenciação entre os horizontes.

Os valores da relação molar $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ decrescem da rocha para os horizontes do solo. Os valores de Al, Fe, K e Mg se mostraram superiores no horizonte A dos Latossolos em relação ao horizonte Bw (Tabela 20). O teores de Mn, P e Ti apresentaram padrões diferenciados dos demais elementos, com maiores valores no horizonte Bw em relação ao A.

Tabela 19. Teores de S, B, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Zr e V em horizontes A e Bt de Nitossolos Brunos, Háplicos e Vermelhos e rochas, localizadas nas regiões de altitude de SC.

P	H	S	B	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Zr	V
							mg kg ⁻¹					
5	A	302,2	<5,0	0,1	12,2	12,2	108,8	11,4	29,7	35,4	55,2	39,4
	Bt	259,2	<5,0	0,1	17,6	9,2	135,4	7,3	39,2	40,6	35,3	40,7
	R	205,6	<5,0	0,1	9,0	4,6	189,8	6,8	44,8	57,6	76,7	34,6
7	A	362,6	<5,0	0,1	29,3	36,9	114,8	18,7	15,0	62,9	24,6	335,2
	Bt	110,4	<5,0	0,1	21,2	37,2	119,8	14,8	19,4	58,5	33,5	264,5
	R	35,0	<5,0	0,1	83,6	45,1	196,1	38,4	14,6	35,0	78,5	159,1
18	A	403,1	<5,0	0,1	123,1	76,4	98,4	27,0	17,8	89,8	35,2	451,8
	Bt	116,5	<5,0	0,1	64,1	71,7	108,5	38,2	10,3	59,2	17,6	361,5
	R	17,7	<5,0	0,1	110,5	139,1	225,3	70,6	7,1	119,2	45,5	337,6
22	A	368,1	<5,0	0,2	110,8	42,2	115,3	17,6	18,7	69,7	44,9	398,1
	Bt	103,7	<5,0	0,1	53,2	28,2	117,7	16,0	15,5	49,3	23,6	298,3
	R	<10	<5,0	0,1	60,0	18,9	274,8	89,0	11,1	53,3	19,7	97,2
24	A	277,4	<5,0	0,1	5,7	15,2	67,5	4,4	22,5	38,8	21,9	96,8
	Bt	97,5	<5,0	0,1	13,3	9,7	113,6	3,1	24,9	35,6	23,8	76,6
	R	72,6	<5,0	0,3	48,1	11,7	213,4	47,1	15,9	45,1	56,9	203,6
25	A	59,4	<5,0	0,1	35,4	22,7	187,2	40,4	12,2	40,9	30,2	180,7
	Bt	62,2	<5,0	0,1	32,1	29,2	144,3	33,2	9,2	41,0	27,8	158,0
	R	39,2	<5,0	0,1	41,6	46,2	110,1	39,0	6,7	42,3	17,5	159,5
26	A	244,9	<5,0	0,1	8,5	63,2	88,8	12,6	21,2	43,7	26,4	266,6
	Bt	82,8	<5,0	<0,05	4,9	54,5	82,2	9,5	24,8	34,4	66,0	230,9
	R	62,5	<5,0	0,2	31,9	1,7	162,1	6,6	31,4	89,4	45,0	28,3
30	A	223,5	<5,0	0,2	110,5	71,3	112,4	22,7	16,1	78,1	57,7	255,9
	Bt	158,2	<5,0	0,1	54,2	70,6	160,7	45,2	10,6	54,2	40,4	235,1
	R	121,6	<5,0	<0,05	45,7	72,9	180,0	60,4	6,8	23,1	39,9	181,3
31	A	587,7	<5,0	0,1	25,8	29,3	151,7	19,7	11,8	44,6	31,3	301,7
	Bt	625,8	<5,0	0,1	38,6	25,3	159,5	26,2	14,0	49,5	42,5	238,2
	R	1567,1	<5,0	0,1	33,9	37,3	200,6	45,3	10,7	40,1	59,0	298,5
33	A	255,3	<5,0	0,1	104,1	98,4	153,7	14,4	16,4	67,8	29,0	441,7
	Bt	319,7	<5,0	0,1	85,1	60,0	135,3	11,4	21,4	61,7	12,7	395,7
	R	77,2	<5,0	0,1	147,8	44,9	175,2	151,9	8,4	61,4	24,9	197,1
34	A	222,1	<5,0	0,1	47,2	15,8	133,3	16,1	10,8	47,9	29,5	277,8
	Bt	152,8	<5,0	0,1	109,6	77,0	113,3	23,5	19,5	56,4	22,6	315,8
	R	121,5	<5,0	<0,05	15,3	11,3	143,9	14,5	28,7	11,5	15,3	212,1

Tabela 20. Teores de Si, Al, Ca, F, K, Mg, Na, P, Ti e Mn expressos na forma de óxidos, em horizontes A e B de Latossolos e rochas, localizadas nas regiões de altitude de SC.

P	H	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	MgO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	TiO ₂	MnO
		g kg ⁻¹									
27	A	444,6	109,1	241,3	0,7	0,5	1,1	0,0	1,0	1,2	0,5
	Bw	492,9	65,9	235,6	0,7	0,3	1,8	0,0	1,1	1,2	1,5
	R	593,7	95,3	175,7	0,5	0,2	3,4	0,0	1,4	1,6	1,2
28	A	372,9	159,2	262,4	0,3	0,5	1,2	0,0	1,0	1,8	0,7
	Bw	426,6	114,3	253,7	0,3	0,2	1,7	0,0	1,1	2,0	1,1
	R	571,0	146,6	145,9	0,4	0,2	3,9	0,0	1,6	1,7	1,7

A sequência de perdas mostrou solubilidade diferenciada para o Ca, sendo observada elevada mobilidade no perfil 27 e baixa no perfil 28 (Tabela 21). Tal comportamento pode estar relacionado a ganhos de Ca e Mg no perfil 28 associados a possível calagem realizada nessa área.

O Na apresentou nos Latossolos, comportamento que foi observado para os Cambissolos e Nitossolos, o que pode ser consequência do seu baixo conteúdo nas rochas.

Tabela 21. Sequência decrescente de solubilidade dos elementos, através dos métodos IsoAl e IsoTi em horizontes A e B de Latossolos, localizadas nas regiões de altitude de SC.

P	H	Iso	Sequência de solubilidade	P	H	Iso	Sequência de solubilidade
27	A	Al	Ca>K>Mg>Si>Fe>Ti>Na>Mn	28	A	Al	K>Fe>Ti>Mg>Si>Mn>Na>Ca
		Ti	Ca>K>Mg>Si>Fe>Al>Na>Mn			Ti	K>Fe>Mg>Si>Al>Mn>Na>Ca
	Bw	Al	Ca>Mg>K>Na>Si>Mn>Fe>Ti		Bw	Al	Ti>K>Fe>Mg>Si>Mn>Na>Ca
		Ti	Ca>Mg>K>Na>Si>Fe>Al>Mn			Ti	K>Fe>Mg>Si>Al>Mn>Na>Ca

Na Tabela 22 são apresentados os valores dos elementos encontrados nos perfis dos Latossolos. Destacam-se maiores valores de Cu e Ni na rocha, enquanto para os elementos Cr, Pb e V os maiores valores foram observados nos horizontes do solo. Já para os teores Co, Zr, S e Zn, foram observados valores elevados tanto no solo quanto na rocha

Em solos podzols, Zeissink (1971) observou concentrações de Zn, Mn, Ni e Co mais elevadas no horizonte B e associados aos óxidos de ferro. Em Latossolos a ocorrência pronunciada destes elementos foi no horizonte C, atribuindo este padrão a intensa lixiviação ocorrida em todo o perfil com a sua concentração no horizonte mais inferior. Levinson (1974) também destaca que muitos Oxisols na África apresentam concentrações mais elevadas de Zn, Ni, Cu e Pb no horizonte B, o que também pode ser atribuído à adsorção destes elementos nos óxidos de ferro.

Tabela 22. Teores de S, B, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Zr e V em horizontes A e B de Latossolos e rochas, localizadas nas regiões de altitude de SC.

P	H	S	B	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Zr	V
		mg kg ⁻¹										
27	A	241,0	<5,0	0,1	7,4	63,3	98,6	16,7	24,0	50,3	31,5	276,0
	Bw	60,5	<5,0	0,1	48,1	26,6	103,9	10,1	20,3	50,5	24,3	263,4
	R	323,1	<5,0	0,1	37,1	51,6	117,4	48,5	2,9	46,9	29,1	166,0
28	A	185,4	<5,0	0,1	40,2	78,7	100,5	31,3	21,6	51,4	42,5	285,2
	Bw	129,5	<5,0	0,1	39,9	89,1	126,4	27,8	18,0	48,8	34,2	249,2
	R	35,3	<5,0	0,2	105,6	84,1	165,3	79,8	13,4	83,0	44,3	201,1

4.6. CONCLUSÕES

Os solos das regiões de altitude de Santa Catarina, apresentam natureza toleítica, distribuem-se pelos campos do riolito/riodocito, assim como no campo andesi-basalto/basalto, com forte enriquecimento de Fe_2O_3 e Al_2O_3 em relação aos álcalis e ao magnésio.

Os perfis de solo avaliados apresentaram padrão geoquímico diferenciado, como reflexo do processo pedogenético e o grau de evolução dos solos.

As sequências de perda dos elementos constituintes do solo apresentaram comportamento discordante com as sequências apresentadas na literatura.

A mobilidade dos elementos no solo apresenta ampla variação, tanto entre as classes do solo, quanto entre perfis na mesma classe.

5. CAPÍTULO III

SUBSTÂNCIAS HÚMICAS E CARBONO 13 EM SOLOS DE ALTITUDE

5.1. RESUMO

O objetivo deste capítulo foi de avaliar os teores de carbono e a partição quantitativa das frações húmicas em perfis de solo localizados nas regiões de altitude e sua relação com as classes e uso do solo, bem como avaliar os horizontes diagnósticos superficiais e quantificar os valores de $\delta^{13}\text{C}$ em perfis de Cambissolos desta região, propondo sua utilização como atributo complementar no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS). Para os horizontes diagnósticos superficiais e subsuperficiais, foi realizado o fracionamento da matéria orgânica, quantificando-se as frações dos ácidos fúlvicos (C-AF), ácidos húmicos (C-AH) e humina (C-HM) em 38 perfis de diferentes classes de solo. Para a avaliação da $\delta^{13}\text{C}$ foram realizadas coletas de amostras nas profundidades 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60, 60-80 e 80-100 cm, de 24 perfis de Cambissolo. Os resultados indicam que a fração C-HM apresentou maiores valores em todos os perfis estudados, demonstrando a resistência da C-HM à decomposição microbiana e sua interação com a fração mineral do solo. As frações de C-AF e C-AH encontram-se em quantidades similares na maioria dos perfis. A baixa presença de bases trocáveis nos solos, resultaram em uma menor intensidade dos processos de humificação e conseqüentemente menores frações de C-AHs. A análise discriminante distinguiu as classes de uso do solo e as SHs permitiram discriminar as ordens taxonômicas de solos das regiões do estudo, demonstrando a influencia da gênese na dinâmica da formação destas substâncias. A análise dos Cambissolos, indicam a predominância de Cambissolos Háplicos com horizonte diagnóstico superficial A moderado e elevados teores de COT. Estes valores muitas vezes não foram suficientes para enquadrar os horizontes superficiais como A húmico, devido à sua pequena espessura. Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ mostraram, nos solos classificados como A húmico, pouca alteração na assinatura isotópica, indicando a manutenção da vegetação, enquanto nos solos classificados como A moderado observaram-se alterações decorrentes de cultivos de plantas com metabolismo C_3 e C_4 . A análise de agrupamentos por similaridade não distinguiu os horizontes classificados como A húmico dos demais. Sugere-se a utilização da técnica de $\delta^{13}\text{C}$ como atributo complementar para o SiBCS, quando da observância de alteração no uso do solo em áreas com declividade superior a 8 %, solos rasos e pouco profundos, textura argilosa a muito argilosa e tores de COT superiores a 3 %, considerando assim que o atributo profundidade seja considerado relativamente para fins de classificação e, sejam fornecidas informações essenciais para o manejo e uso agrícola dos solos dos em que os teores de MO são representativos.

Palavras-chave: Fracionamento químico. Classes de solo. Uso da terra. Análise isotópica.

5.2. ABSTRACT

The Santa Catarina altitude regions are characterized by having soils with horizons with high organic matter levels. The aim of this chapter is to assess the carbon content and the quantitative partition of humic fractions in soil profiles located in the regions of altitude and its relationship with the classes and land use, as well as evaluating the superficial diagnostic horizons and quantify $\delta^{13}\text{C}$ values in Cambisols profiles that region, suggesting its use as an additional attribute in the Brazilian System of Soil Classification (SiBCS). For surface and subsurface diagnostic horizons, we performed the fractioning of OM, quantifying the content of fulvic acids (C-FA), humic acid (C-HA) and humin (C-HM) in 38 profiles of different soil types. For the evaluation of $\delta^{13}\text{C}$ sample collections were conducted in the depths 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60, 60-80 and 80-100 cm of 24 profiles Cambisol. The results indicate that C-HM fraction showed higher values in all studied profiles, demonstrating the strength of C-HM the microbial decomposition and its interaction with the mineral fraction of the soil. The fractions C-FA and C-HA are found in similar amounts in most profiles, and B horizon prevails in most cases higher amounts of C-HA in relation to the C-AF. The low presence of exchangeable cations in the soil, resulting in a lower intensity of humification processes and consequently lower C-AHs contents. The discriminant analysis distinguished the land use classes confirming the relationship of TOC and SH variables with land use. The SHs permitted to identify the taxonomic orders of soils of the regions studied, demonstrating the influence of genesis in the dynamics of the formation of these substances. The analysis of Cambisols indicate the predominance of Cambisols Haplic with superficial diagnosis horizon moderate and high TOC. These values were often not sufficient to frame the surface horizons as the humic due to its small thickness. The $\delta^{13}\text{C}$ values shown in soils classified as A humic, little change in the isotope signature, indicating the maintenance of vegetation, while in soils classified as A moderate were observed changes resulting from C_3 and C_4 plants crops. The cluster analysis for similarity did not distinguish the horizons classified as A humic of others. It is suggested the use of $\delta^{13}\text{C}$ technique as an additional attribute to the SiBCS and when the change of compliance in land use in areas with slopes above 8 %, shallow, shallow soils, clayey to very clayey and higher TOC sectors to 3 %, the depth attribute is disregarded for classification purposes and thus be provided essential information for management and agricultural land use which are representative.

Keywords: Chemical fractionation. Soil classes. Land use. Isotopic analysis.

5.3. INTRODUÇÃO

As regiões de altitude do estado de Santa Catarina são caracterizadas pelo clima frio e úmido, favoreceram o acúmulo acentuado de matéria orgânica (MO) nos horizontes superficiais (Calegari, 2008). Entretanto, essas condições promoveram, ao mesmo tempo, elevada taxa de lixiviação, tornando estes solos excessivamente ácidos com baixos teores de nutrientes. Desta forma, devido à pobreza química, o suprimento de nutrientes para as formações vegetais desenvolvidas nestes solos é dependente, em grande parte, da contribuição da MO, uma vez que a reserva dos minerais é reduzida, evidenciando assim, a importância do estudo da composição da MO dos solos nessas áreas (Miranda et al., 2007).

As substâncias húmicas (SHs) são as principais responsáveis pelos inúmeros processos físicos e químicos que ocorrem com a participação da MO. Deste modo, é importante conhecer detalhadamente sua formação e composição, que pode variar de acordo com a fonte de MO e o seu ambiente de acumulação. Fatores como vegetação, clima, tipo de solo e sistemas de manejo influenciam na humificação, determinando, de certa forma, as características das SHs (Favoretto, 2007; Fernandes, 2007).

As características químicas e estruturais da MO e sua interação com a fração mineral vão determinar a sua intensidade de transformação no solo (Benites et al., 2003). Pedoambientes distintos, como os observados no sul do Brasil, possuem diferenças significativas na constituição da MO e na distribuição das SHs (Benites et al., 2001).

Em virtude da importância da matéria orgânica do solo em relação à produtividade dos ecossistemas, têm sido desenvolvidos vários estudos sobre a interferência antrópica devido à substituição de áreas naturais e sua relação no armazenamento de carbono e na quantidade e qualidade das SHs da MO do solo nas regiões subtropicais (Feistauer et al., 2004; Guedes, 2005; Soares, 2009; Borszowskei, 2011; Fachini, 2012; Pflieger, 2013; Santos et al., 2013c).

A substituição da vegetação natural por outros usos leva a mudanças no estoque de carbono do solo, que variam de acordo com as condições de clima, espécie vegetal e solo, e a ação antrópica é capaz de modificar rapidamente certas características naturais do solo que foram adquiridas ao longo de milhares de anos (Hillel & Rosenzweig, 2010). Essas mudanças podem fazer com que 25-30 % do COT do solo seja perdido (Murty et al., 2002). Os resultados podem ser ainda mais drásticos em áreas de relevo acidentado, como ocorre na maior parte do estado de SC. Essa característica de ambientes altomontanos no estado de SC condiciona ainda a pequena profundidade efetiva dos solos, com predominância de solos com baixo grau de desenvolvimento pedogenético, como os Cambissolos.

Os teores de COT são um dos principais critérios de diferenciação nos sistemas de classificação de solos internacionais, como o Soil Taxonomy (USDA, 2014) e o World Reference Base for Soil Resources (IUSS, 2014), bem como na maioria dos sistemas nacionais, como o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) (Santos et al., 2013a). Neste sistema, os teores de COT são determinantes na classificação do horizonte A húmico, dentre os horizontes superficiais de constituição mineral. Perfis com maior expressão deste horizonte diagnóstico tendem a ocorrer em ambientes altomontanos, em especial na região sul do Brasil (Santos et al., 2013a).

Adicionalmente aos teores de COT, o uso de traçadores isotópicos de carbono pode levar a melhor compreensão das transformações da paisagem, ao indicar a natureza do carbono perdido e o tempo provável para a sua acumulação. Essas informações permitem verificar se determinado perfil de solo foi submetido à alteração antrópica e a noção temporal desta interferência (Trumbore & Camargo, 2009). Dortzbach et al. (2015), ao avaliar áreas de floresta e pastagem com diferentes tempos de uso, em diferentes profundidades de solo em

área de Mata Atlântica de SC, observaram alterações em $\delta^{13}\text{C}$, as quais resultaram em assinaturas isotópicas distintas. Os autores verificaram, por exemplo, que, em pastagens com 50 anos de uso, na camada de 0,00–0,10 m, 66 % do COT do solo era derivado da floresta original.

Os sistemas taxonômicos comumente são submetidos a atualizações e adequações, como as propostas para o SiBCS nos trabalhos de Valladares (2007) e Fontana et al. (2011). Neste sentido, é possível que informações quanto à análise isotópica do $\delta^{13}\text{C}$ auxiliem em estudos pedológicos, permitindo identificar e caracterizar alterações decorrentes de atividades antrópicas nas classes de solos, assim contribuindo para a contínua evolução do SiBCS em seus níveis taxonômicos inferiores.

Alguns trabalhos realizados no Brasil buscam o entendimento da pedogênese e estabelecer propriedades relacionadas às SHs que poderiam ser utilizadas como atributos diagnósticos na estratificação dos horizontes e, conseqüentemente, para a classificação dos solos (Fontana et al., 2008; Valladares et al., 2008; Ebeling et al., 2011, Fontana et al., 2011b).

Diante disto, o objetivo deste trabalho foi avaliar os teores de carbono e a partição quantitativa das frações húmicas em perfis de solo localizados nas regiões de altitude do estado de Santa Catarina e sua relação com as classes e uso do solo. Assim como avaliar os horizontes diagnósticos superficiais e quantificar os valores de $\delta^{13}\text{C}$ em perfis de Cambissolos localizados em regiões de elevada altitude em SC, bem como propor a utilização complementar deste atributo no SiBCS.

5.4. MATERIAL E MÉTODOS

5.4.1. Substancias Húmicas

5.4.1.1. Coleta de amostras e análises laboratoriais

As coordenadas geográficas, altitude, uso do solo e classificação dos perfis de solo coletados nas regiões produtoras de vinhos de altitude são apresentadas na Tabela 23.

Foram realizadas coletas de solo em áreas de floresta em estagio médio/avançado de regeneração (F), floresta em estagio inicial de regeneração (Fi), pastagem (P), cultura anual (CA) e reflorestamento (RF), nos horizontes dos perfis modais.

O fracionamento das SHs foi feito em triplicata, nas 76 amostras dos horizontes A diagnósticos. Foram determinados os teores de carbono das frações: C-HM, C-AH e C-AF, segundo a técnica de solubilidade diferencial estabelecida pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (Swift, 1996), com adaptações (Benites et al., 2003). Foram calculadas as relações entre os respectivos valores das SHs: AH/AF e EA/HM, sendo EA: carbono ácido fúlvico + carbono ácido húmico.

A análise elementar foi realizada via combustão seca em analisador elementar CHNS Thermo Finnigan, modelo Flash 1112 Series EA da Universidade da Coruña, determinando os teores C, H e N, e as razões atômicas de interesse.

Para essas análises foram pesados aproximadamente 30 mg de solo moído, passados em peneira de 0,149 mm. As análises foram realizadas em duplicata e analisou-se simultaneamente o carbono, hidrogênio e nitrogênio mediante curva de calibração feita com padrões de alto grau de pureza com tempo de queima de 600 segundos sob temperaturas de 926 a 1020 °C empregando-se gás hélio. As análises foram feitas em triplicata. Antes de iniciar a determinação, o analisador é varrido com gás He para remover traços de O₂, H₂O e CO₂. Ao iniciar a análise, um excesso de O₂ é adicionado ao fluxo de gás He.

As amostras foram colocadas em cápsulas de estanho e a digestão do material foi feita em câmara de combustão. A amostra é então colocada em um cadinho de porcelana pré-aquecido onde a cápsula funde e a amostra é oxidada. O Sn das cápsulas atua como um catalisador de oxidação, pois ao se fundir (235 °C) é oxidado instantaneamente a SnO₂ liberando energia suficiente para evaporar e decompor a amostra, garantindo que a oxidação da amostra ocorra em fase gasosa (Harris, 2005). Os gases foram detectados por um sensor de termocondutividade e convertidos em porcentagem, em um analisador automático modelo PE 2400 Series II CHNS/O (Perkin Elmer, Norwalk, CT, USA).

Tabela 23. Coordenadas geográficas, altitude, município, tipo climático, uso do solo e classificação dos perfis de solo coletados nas regiões produtoras de vinhos de altitude.

P	Coordenadas UTM Datum SAD 69		Município	Uso do solo	Classificação do solo - SiBCS
	X	Y			
1	648336	6929661	Bom Retiro	Pastagem	CAMBISSOLO HÁPLICO Alítico típico
2	634183	6928696	Bom Retiro	Pastagem	CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico léptico
3	640564	6909346	Urubici	Floresta	CAMBISSOLO HÚMICO Alítico típico
4	692137	6933879	Urubici	Floresta	CAMBISSOLO HÚMICO Alítico típico
5	614882	6887112	São Joaquim	Pastagem	NITOSSOLO BRUNO Distrófico húmico
6	614804	6886861	São Joaquim	Pastagem	NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico típico
7	614952	6887292	São Joaquim	Pastagem	NITOSSOLO BRUNO Alumínico típico
8	617122	6886388	São Joaquim	Pastagem	CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico
9	616935	6888630	São Joaquim	Pastagem	CAMBISSOLO HÁPLICO Alítico típico
10	601323	6872431	São Joaquim	Pastagem	CAMBISSOLO HÚMICO Alítico típico
11	602781	6874099	São Joaquim	Pastagem	CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico léptico
12	601649	6874949	São Joaquim	Pastagem	CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico
13	602748	6876005	São Joaquim	Pastagem	CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico
14	598834	6876373	São Joaquim	Pastagem	CAMBISSOLO HÁPLICO Alítico típico
15	599164	6876935	São Joaquim	Refl. <i>Pinus sp.</i>	CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico
16	598479	6880683	São Joaquim	Pastagem	CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico
17	600111	6874767	São Joaquim	Pastagem	CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico
18	591146	6876251	São Joaquim	Fl. Est. Inicial	NITOSSOLO HÁPLICO Distrófico típico
19	587203	6878623	São Joaquim	Pastagem	CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico
20	595322	6892674	Urupema	Refl. <i>Pinus sp.</i>	CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico
21	593195	6856252	São Joaquim	Pastagem	CAMBISSOLO HÁPLICO Alítico típico
22	525172	6939550	C. Belo Sul	Fl. Est. Inicial	NITOSSOLO VERMELHO Distrófico típico
23	507146	6925654	Cerro Negro	Pastagem	CAMBISSOLO HÁPLICO Alítico típico
24	484770	6953453	C. Novos	Cultura anual	NITOSSOLO VERMELHO Alítico típico
25	483745	6975319	C. Novos	Cultura anual	NITOSSOLO HÁPLICO Distrófico típico
26	472186	6955375	C. Novos	Cultura anual	NITOSSOLO HÁPLICO Alumínico típico
27	470390	6961938	C. Novos	Cultura anual	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico
28	477522	6971137	C. Novos	Fl. Est. Inicial	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico
29	494783	6969905	C. Novos	Cultura anual	CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico
30	482296	6992408	Tangará	Floresta	NITOSSOLO HÁPLICO Distrófico típico
31	488274	6989440	Tangará	Floresta	NITOSSOLO VERMELHO Alumínico típico
32	487706	6988949	Tangará	Floresta	CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico típico
33	485194	7006662	Videira	Cultura anual	NITOSSOLO HÁPLICO Eutrófico típico
34	488210	7009152	Videira	Floresta	NITOSSOLO HÁPLICO Distrófico típico
35	419723	7015409	Varg. Bonita	Floresta	CAMBISSOLO HÚMICO Alítico típico
36	448263	7030119	Água Doce	Floresta	CAMBISSOLO HÚMICO Alítico típico
37	450148	7045289	Água Doce	Pastagem	CAMBISSOLO HÁPLICO Alítico típico
38	456577	7045197	Água Doce	Fl. Est. Inicial	CAMBISSOLO HÁPLICO Alítico típico

A partir da análise da composição elementar, foi desenvolvido o Diagrama de Van Krevelen (1961), um método gráfico para estudar o processo de formação do carvão, que pode também ser utilizado para inferir sobre as mudanças na estrutura química de materiais carbonáceos (Canellas & Santos, 2005). Nele, a razão atômica H/C (obtida através da razão entre a concentração do átomo pela sua massa atômica e.g. $H/1 \div C/12$) é descrita como uma função da razão atômica H/C.

5.4.1.2. Análise dos dados

Para a análise dos dados foi realizada a matriz de correlação linear entre os teores de argila, pH, alumínio (Al), CTC, C, H, N, COT, C-HM, C-AF e C-AH nos horizontes diagnósticos superficiais e subsuperficiais A e B, respectivamente.

A partir da matriz de correlação entre os atributos, foi realizada a análise discriminante, no intuito de separar conjuntos distintos das observações (COT e SHs) e fixar novos grupos previamente definidos (uso do solo e classes de solo), permitindo a visualização dos grupos em um espaço multidimensional, e indicando a contribuição das variáveis originais para cada função discriminante. A análise discriminante foi realizada com base nos três grupos de uso do solo: i) F e Fi; ii) CA e RF; iii) P.

Foi realizada também a análise de similaridade entre os perfis de solos avaliados, através de dados quantitativos utilizados para estimar a distância euclidiana, gerando a matriz de dissimilaridade, onde se aplicou o método de agrupamento hierárquico do vizinho mais próximo (Cruz & Carneiro, 2003), a partir da apresentação de um dendrograma, de tal forma que exista homogeneidade dentro do grupo e heterogeneidade entre grupos. As análises estatísticas foram realizadas usando-se os programas SPSS 20.0 (Statistical package for social sciences) e Microsoft Excel.

5.4.2. Abundância Natural ^{13}C

5.4.2.1. Coleta de amostras e análises laboratoriais

O estudo foi realizado em 24 perfis modais de Cambissolos (Tabela 32), descritos morfologicamente segundo Santos et al. (2013b) e as amostras coletadas foram analisadas em laboratório, para posterior classificação dos solos segundo o SiBCS (Santos et al., 2013a).

Foram coletadas amostras nos horizontes superficiais (inclusive AB) para determinação de atributos físicos e químicos e nas camadas de 0-10; 10-20; 20-30; 30-40; 40-50; 50-60; 60-80 e 80-100 cm, para a determinação de $\delta^{13}\text{C}$, formadas a partir de três amostras simples. Após a coleta, as amostras foram secas ao ar, destorroadas e passadas por peneira de 2 mm de malha, obtendo-se a terra fina seca ao ar, material o qual foi utilizado para realização das análises.

Foram avaliados os atributos químicos e físicos (Embrapa, 1997): pH em água, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+ , Al^{3+} , COT, granulometria (areia, silte e argila) e calculada a CTC (pH 7,0). As análises foram realizadas no laboratório de solos da Epagri/Chapecó (SC).

O fracionamento das SHs foi realizado em triplicata, nas 52 amostras dos horizontes A diagnósticos. Foram determinados os teores de COT das frações C-HM, C-AH, C-AF, segundo a técnica de solubilidade diferencial estabelecida por Benites et al (2003).

A abundância natural de $\delta^{13}\text{C}$ foi avaliada por meio um espectrômetro de massa isotópica de fluxo contínuo (espectrômetro de massa Finnigan Delta Plus acoplado em um auto-analisador de C total Carlo Erba EA 1108 – internacional PDB), onde, aproximadamente 300 mg de cada amostra de TFSA, foram finamente moídas e passada por malha de 100 mesh, com precisão de 4 casas decimais. A análise de abundância isotópica $\delta^{13}\text{C}$ foi realizada no Laboratório de Isótopos Estáveis do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP).

Os resultados foram expressos pela unidade relativa “ δ ”, determinada em relação ao padrão internacional PDB (rocha calcária da formação Pee Dee) de acordo com a seguinte equação:

$$\delta^{13}\text{C}\text{‰} = 103 \times (\text{Ramostra} - \text{Rpadr\~{a}o}) \setminus \text{Rpadr\~{a}o}$$

onde:

Ramostra é a razão isotópica $^{13}\text{C}\setminus^{12}\text{C}$ da amostra

Rpadrão a razão isotópica $^{13}\text{C}\setminus^{12}\text{C}$ do padrão.

Tabela 24. Altitude, município, geologia, clima, relevo regional, uso do solo e horizonte diagnóstico superficial de Cambissolos localizados nas regiões de altitude de SC.

Perfil	Altitude (m)	Geologia	Declividade (%)	Uso do solo	Tipo de horizonte A
Cambissolo Húmico alítico típico					
1	1.141	Arenito, pelito e folhelho	11	Floresta	Húmico
2	1.325	Riolito, andes. e riodacito	5	Floresta	Húmico
3	1.330	Rochas vulcânicas ácidas	12	Floresta	Húmico
4	1.022	Arenito, pelito e folhelho	11	Floresta	Húmico
5	1.294	Riodacito	15	Pastagem	Húmico
Cambissolo Háptico alítico típico					
6	902	Sedimentos siltico-argilos	20	Pastagem	Moderado
7	1.281	Riodacito	25	Pastagem	Proeminente
8	1.294	Riodacito	21	Pastagem	Moderado
9	1.217	Riodacito	6	Pastagem	Proeminente
10	989	Basalto básico vesiculado	6	Pastagem	Proeminente
11	1.252	Rochas vulcânicas ácidas	6	Pastagem	Moderado
12	1.277	Rochas vulcânicas ácidas	12	Floresta	Moderado
Cambissolo Háptico Ta distrófico					
13	865	Sedimentos siltico-argilos	12	Pastagem	Proeminente
14	1.279	Riodacito	12	Pastagem	Proeminente
15	1.128	Basalto e diabásio	13	Floresta	Moderado
Cambissolo Háptico Tb distrófico					
16	1.279	Riodacito	25	Pastagem	Moderado
17	1.239	Riodacito	13	Pastagem	Moderado
18	1.229	Riodacito	22	Pastagem	Moderado
19	1.306	Riodacito	5	Reflorestamento	Moderado
20	1.122	Riodacito	8	Pastagem	Moderado
21	1.325	Riodacito e andesito	18	Pastagem	Moderado
22	1.142	Riodacito	25	Pastagem	Moderado
23	1.112	Riodacito	6	Reflorestamento	Moderado
24	918	Basalto e diabásio	12	Cultura anual	Moderado

5.4.2.2. Análise dos dados

A partir da matriz de correlação entre os atributos, foi realizada a análise de similaridade entre os perfis de solos avaliada por meio da análise multivariada, apresentada em um dendrograma. Foram utilizados dados físicos e químicos para primeira análise multivariada e posteriormente foram empregados apenas os atributos utilizados para a classificação do horizonte A húmico, como cor, espessura, teor de argila e teor de COT.

As análises estatísticas foram realizadas usando-se os programas SPSS 20.0 (Statistical package for social sciences) e Microsoft Excel. Os dados foram ajustados por regressões lineares a 1 % de probabilidade com base no coeficiente de determinação (R^2).

5.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.5.1. Substancias Húmicas

Os 38 perfis de solo, distribuídos em quatro ordens (Santos et al., 2013a), foram analisados com base em 12 variáveis que se expressam quantitativamente, sendo elas a altitude dos pontos, valores dos atributos químicos (pH, CTC, H, N e Al) e físicos (teor de argila) e atributos associados a MO (C, COT, C-HM, C-AF e C-AH).

Os resultados relacionados às áreas de ocorrência de Cambissolos Háplicos Alíticos típicos (Santos et al., 2013a), de perfis coletados em área de P e Fi, são apresentados na Tabela 24. São solos jovens, com textura variando de média a muito argilosa, baixos valores de pH, não ultrapassando na maioria dos casos a 5,0; teores de Al⁺³ acima de 5 cmol_c kg⁻¹ no horizonte B e Valor T, variando de 11 a 30 cmol_c kg⁻¹ de solo.

A análise elementar indicou percentual elevado de C, entretanto o COT apresentou uma contribuição muito baixa neste total, que em alguns casos foi inferior a 50 %. Este fato pode estar relacionado a queimadas, que são frequentes nas áreas de pastagem, que podem ter contribuído para a formação de carvão, elevando os valores de C do solo.

Entre os teores de COT na camada superficial, o P9 apresentou valores de 9 g kg⁻¹, inferior aos demais perfis, cujos valores variaram entre 21 a 28 g kg⁻¹. O compartimento constituído pelas SH representou mais de 85 % do COT contido na MO, refletindo, desta forma, características de húmus bastante evoluído.

O conteúdo relativo de cada fração da MO humificada pode ser considerado como indicativo da qualidade do húmus do solo (MacCallister & Chien, 2000). A fração C-HM representa a maior porção do COT, correspondendo entre 40 a 58 %, dentre os perfis avaliados, corroborando com Barreto et al. (2008), que também encontraram os maiores teores de carbono nessa fração, considerada mais estável na camada superficial do solo.

Tabela 25. Teores de argila, pH, Alumínio, CTC, C, N, H, C/N, H/C, COT, C-HM, C-AF, C-AH, relação AH/AF e AE/HM em horizontes A e B de Cambissolos Háplicos Alíticos típicos.

P	H	Ag	pH	Al	T	C	H	N	O	C/N	COT	C-	C-	C-	AH/AF	EA/HM
		gkg ⁻¹		cmol _c kg ⁻¹	—%—	—gkg ⁻¹ —										
P1	A	360	4,7	3,2	18	4,35	2,02	0,28	3,92	15,5	21,4	9,17	5,19	4,95	0,95	1,11
	B	470	4,6	5,3	29	1,92	1,16	0,13	3,45	14,8	7,3	3,81	1,52	1,18	0,78	0,71
P9	A	453	5,1	1,6	15	2,36	1,78	0,16	4,25	14,8	9,2	3,52	2,30	2,48	1,08	1,36
	B	494	5,0	5,3	21	1,90	1,54	0,12	3,58	15,8	7,4	3,84	1,38	1,44	1,04	0,73
P21	A	330	4,5	2,5	18	4,19	1,41	0,30	4,36	13,9	20,9	10,06	4,15	4,63	1,12	0,87
	B	520	4,6	5,3	19	2,27	1,35	0,13	3,12	17,5	6,4	2,58	1,85	1,41	0,76	1,26
P23	A	320	6,8	0,0	18	3,60	1,61	0,24	4,39	15,0	25,8	9,35	6,46	7,27	1,13	1,47
	B	450	4,9	5,3	30	2,36	1,34	0,13	3,45	18,2	15,1	7,35	2,62	3,39	1,29	0,82
P37	A	556	4,6	2,8	18	4,70	2,15	0,34	4,43	13,8	27,6	13,62	5,82	5,51	0,95	0,83
	B	613	5,2	4,1	11	1,14	1,56	0,09	4,02	12,7	10,4	4,17	2,05	3,09	1,51	1,23
F38	A	316	4,3	5,5	19	4,79	2,18	0,43	3,78	11,1	26,0	10,33	7,02	6,05	0,86	1,27
	B	520	5,0	7,6	22	0,99	1,89	0,06	3,35	13,2	9,3	4,27	1,78	2,29	1,29	0,95

Os C-AH e C-AF mantiveram padrão similar na maioria dos perfis, tanto no horizonte A quanto no B, variando entre 20 e 30 % do total das SH. Os maiores valores de C-AF foram observados no perfil F38, indicando que o uso sob floresta favorece a acumulação desta fração. Em solos florestais, ocorre a predominância de C-AF, em relação aos C-AH (Loss et al., 2006) e de forma geral, essa fração é favorecida em solos distróficos (Canellas & Santos, 2005).

O padrão da relação AH/AF foi variável e os perfis P9 e P23 apresentaram valores acima de um (1,0) nos dois horizontes, indicando que existe nestes perfis uma situação de transformação da MO do solo pelo processo de humificação. Este fato também foi observado nos horizontes B dos perfis P37 e F38, caracterizando estágio de maior estabilização da MO do solo.

O decréscimo da relação AH/AF do horizonte A para o B foi observado nos perfis P1 e P23, e deve-se a maior mobilidade do C-AF em relação ao C-AH, permitindo que o C-AF esteja presente em maior proporção nos horizontes subsuperficiais.

A maioria dos solos agrícolas do Brasil, devido às condições de manejo, umidade, atividade de O₂, temperatura e o teor de nutrientes, ocorre maior ação de microrganismos decompositores, o que favorece a formação de C-AF, incidindo em solos com valores para a relação AH/AF inferiores a um (1,0) (Canellas et al., 2002; Silva & Mendonça, 2007), como foi observado em alguns horizontes avaliados (Tabela 24).

Os valores da relação EA/HM variaram entre 0,71 e 1,47 nos horizontes A e B. Os valores menores do que um (1,0) observados em vários horizontes evidenciam predomínio da fração insolúvel e mais recalcitrante da MO (C-HM) nos diferentes horizontes dos perfis, em comparação com a fração alcalino-ácida solúvel (Canellas & Santos, 2005; Silva et al., 2009b).

Estes índices são utilizados para avaliar o processo de humificação e indicam o nível de evolução da MO do solo. Geralmente, o processo de humificação segue a seguinte ordem na formação de seus produtos: C-HM => C-AH => C-AF (Canellas & Santos, 2005).

Os valores referentes aos perfis de Cambissolos Háplicos Distróficos de alta e baixa atividade da argila são apresentados na Tabela 25. Os teores de argila no horizonte B, na maioria dos perfis são elevados, variando de 350 g kg⁻¹ no perfil RF15 até 687 g kg⁻¹ no CA29.

O pH variou de 4,1 a 6,5 com o maior valor encontrado no perfil RF15, em área de reflorestamento, indicando que estes elevados valores, provavelmente, são referentes à calagem feita antes da implantação da cultura; o que também justifica a diferença nos valores de Al que variaram de 0,0 a 3,8 cmol_c kg⁻¹. O valor T também apresentou grande variação de 7 a 44 cmol_c kg⁻¹.

Os valores de C variaram de 8,7 a 61,1 g kg⁻¹. Apesar dos elevados teores de carbono, o horizonte superficial não foi identificado como A húmico.

Observou-se a grande diferença entre os valores de C e do COT. Nas áreas estudadas a queima das pastagens para estimular o seu rebrote após o inverno ou para controle da invasão de plantas arbustivas indesejadas é uma prática comum (Behling & Pillar, 2007). Entretanto, com esta prática, elimina-se parte dos resíduos superficiais, permanecendo apenas cinzas e carvão como subprodutos da combustão. Tratam-se de materiais com grande resistência à decomposição, permanecendo no solo como uma substância inerte não contribuindo à atividade biológica ou formação de MO do solo (Albrecht et al., 1995).

Fragmentos de carvão são de ocorrência comum em muitos solos tropicais (Gouveia, 2001). Na Austrália, por exemplo, o carvão pode representar acima de 30 % do conteúdo de carbono orgânico do solo (Skjemstad et al., 1996); nos EUA os valores alcançam a 35 % na média de cinco diferentes solos (Skjemstad et al., 2002).

Foi observada a tendência de diminuição nos teores de N em profundidade e, conseqüentemente, com a evolução do estágio de decomposição da MO. Os valores de N variaram de 0,6 a 5,6 g kg⁻¹, enquanto a relação C/N variou de 9 a 30, sendo verificado que ha maior relação C/N indicando a menor disponibilidade de N nos solos. Essa relação é um indicador importante da decomposição da MO do solo, informando sobre o estado de humificação (Luchese et al., 2002).

A relação C/N, exceto no RF15 e P16, aumentou em profundidade, diferindo do estudo realizado por Mello et al. (1983), onde foi observada tendência de decréscimo na relação C/N no perfil de solo em profundidade. Dependendo dos atributos do solo, o decréscimo na relação C/N em profundidade no perfil pode apresentar variação diferenciada (Costa, 2004). Os valores para a relação C/N da MO em solos agrícolas normalmente variam entre 9 e 14, valores estes encontrados nos tecidos dos microorganismos e no húmus (Kiehl, 1979), podendo variar com o estado de decomposição destes componentes.

Este padrão também foi observado nos horizontes superficiais dos horizontes deste estudo. Os valores da relação C/N do solo nas áreas estudadas variaram de 7,6 a 10,2, mostrando a presença de MO estável (Canellas et al., 2003). Maiores valores foram observados no horizonte B dos perfis P11, P12, P13, P17, P19, RF20, CA29. Em áreas de zonas úmidas, quando as condições de temperatura são semelhantes, podem ser verificados valores superiores desta relação (Luchese et al., 2002).

Excetuando o horizonte B dos perfis P16, P19 e F32, há similaridades entre os valores das razões molares H/C, as quais apresentam valores inferiores a um (1,0), sendo que quanto menor a razão H/C, maior a aromaticidade. Desta forma, valores elevados da razão atômica H/C sugerem estruturas mais alifáticas, enquanto menores valores podem ser devidos a estruturas mais aromáticas (Botero et al., 2014).

Entre as SH a C-HM também foi a fração mais representativa, alcançado valores acima de 60 % do total no perfil P11 e os menores valores no RF15, mesmo assim representando 39 % do total. Este padrão se deve ao fato da C-HM apresentar baixa solubilidade em água, tendendo a se acumular no sistema, fato que explica os maiores teores de C-HM em comparação a outras SH nos perfis avaliados. A C-HM é considerada a fração mais importante como reserva de COT no solo.

Os C-AF apresentaram valores baixos no P11, assim como os C-AH apresentaram valores elevados acima de 30 % no P13 (Tabela 25). As relações AH/AF ficaram em torno de um (1,0), sendo que essa relação está diretamente relacionada com a fertilidade dos solos, apresentando normalmente valores maiores que 1,5 naqueles naturalmente mais férteis e menores nos mais intemperizados (Kononova, 1982).

A relação EA/HM apresentou valor superior a 2,0 no P13 indicando a movimentação das frações alcalino-solúveis dentro do perfil de solo e de zonas de acúmulo de COT, podendo assim ser analisado como indicador da capacidade iluvial dos solos (Benites et al., 2001, 2003). Os índices AH/AF e EA/HM podem ser úteis como parâmetros para a caracterização das classes de solos no SiBCS (Valladares et al., 2008; Fontana et al., 2008; Ebeling et al., 2011).

Na Tabela 26 são apresentados os valores dos atributos referentes aos Cambissolos Húmicos que, além dos elevados teores de COT, são caracterizados pelos baixos valores de pH, elevados teores de Al⁺³ e valor T variável de 9 a 28 cmol_c kg⁻¹. Os valores de H são bem elevados em alguns perfis. Os elevados teores de C estão associados aos teores de N. Os teores de COT no horizonte A variam de 19 a 69 g kg⁻¹. Os valores das frações de C-HM situam-se entre 38 a 57 % do total das SHs e os C-AF e C-AH mantém padrão similar na maioria dos perfis, tanto nos horizontes A quanto nos B. Apenas no P4 os C-AH predominaram sobre os C-AF. Em função deste padrão, no P4 foram observados valores da relação AH/AF inferiores a um (1,0), que podem indicar avanço lento da humificação da MO

do solo devido a razões edáficas ou de manejo, além de aportes recentes de MO (Canellas & Santos, 2005).

Tabela 26. Teores de argila, pH, alumínio, CTC, C, N, H, C/N, H/C, COT, C-HM, C-AF, C-AH, relação AH/AF e AE/HM em horizontes A e B de Cambissolos Háplicos Ta e Tb Distróficos.

P	H	Ag	pH	Al	T	C	H	N	O	C/N	COT	C-HM	C-AF	C-AH	AH/AF	EA/HM
		gkg ⁻¹		cmol _c kg ⁻¹	-----%-----				-----g kg ⁻¹ -----							
P2	A	310	4,1	1,4	34	4,2	1,2	0,4	3,8	10,8	21,4	9,1	4,8	5,4	1,1	1,1
	B	490	4,6	2,0	44	1,3	1,0	0,1	3,1	12,7	8,6	4,2	1,6	1,7	1,1	0,8
P8	A	470	5,4	0,9	23	4,5	1,9	0,3	4,4	13,1	30,8	12,5	8,0	7,3	0,9	1,2
	B	530	5,1	1,5	13	2,4	1,8	0,2	3,8	14,0	12,1	6,4	2,3	2,2	1,0	0,7
P11	A	323	5,3	2,6	19	3,1	1,8	0,4	4,6	8,9	16,5	9,3	2,4	3,1	1,3	0,6
	B	452	5,3	3,2	12	2,1	1,7	0,1	3,5	17,7	17,9	10,2	2,3	3,5	1,5	0,6
P12	A	303	5,1	0,6	15	4,1	1,9	0,3	4,1	12,6	25,6	10,2	6,5	5,9	0,9	1,2
	B	500	5,0	3,8	8	1,9	1,7	0,1	3,1	17,2	15,7	8,1	2,2	3,9	1,8	0,8
P13	A	400	5,5	0,0	10	4,1	1,8	0,3	3,5	11,9	28,6	8,4	8,9	8,2	0,9	2,0
	B	570	5,2	3,1	7	2,2	1,6	0,1	3,2	21,5	19,0	8,1	3,8	5,1	1,3	1,1
P14	A	318	5,5	0,9	20	6,1	1,9	0,6	3,8	10,9	30,6	14,2	7,2	6,5	0,9	1,0
	B	428	5,6	2,4	11	2,7	1,6	0,1	3,5	14,3	21,0	9,3	4,8	4,9	1,0	1,1
RF15	A	230	6,5	0,0	10	5,2	1,7	0,4	4,4	14,7	26,3	9,5	7,3	6,9	1,0	1,5
	B	350	5,8	2,3	9	1,6	1,6	0,1	3,7	11,1	7,3	2,6	2,0	2,1	1,1	1,6
P16	A	457	5,2	0,5	22	4,5	1,9	0,4	3,5	12,6	29,4	14,0	6,3	4,8	0,8	0,8
	B	536	4,9	2,3	13	1,1	1,8	0,1	3,1	10,9	8,5	4,1	1,7	2,0	1,2	0,9
P17	A	417	5,1	1,2	17	2,7	1,8	0,3	3,6	10,9	20,8	9,0	4,9	4,7	1,0	1,1
	B	560	5,0	3,5	12	1,7	1,5	0,1	2,8	21,4	11,2	5,3	2,6	1,5	0,6	0,8
P19	A	451	5,5	0,6	14	4,3	2,0	0,4	3,7	12,3	31,7	9,4	9,3	8,7	0,9	1,9
	B	565	6,1	1,1	9	1,5	1,9	0,1	3,2	25,5	9,1	5,4	1,0	1,3	1,3	0,4
RF20	A	543	5,5	1,7	19	4,7	2,1	0,4	4,2	13,5	34,9	15,3	8,2	7,6	0,9	1,0
	B	570	5,7	3,7	11	2,7	1,6	0,1	3,5	30,4	22,4	9,1	4,1	4,9	1,2	1,0
CA29	A	472	5,8	0,5	20	3,1	1,8	0,3	4,3	11,5	19,9	8,5	5,0	4,7	0,9	1,1
	B	687	5,0	2,7	11	1,8	1,7	0,1	2,9	18,4	15,9	5,7	4,4	4,1	0,9	1,5
F32	A	427	5,0	0,6	17	3,1	1,8	0,3	3,5	10,8	22,2	8,8	4,3	6,8	1,6	1,3
	B	562	5,5	0,4	13	0,9	1,7	0,1	3,1	10,9	7,6	3,1	1,4	2,4	1,7	1,2

Tabela 27. Teores de argila, pH, alumínio, CTC, C, N, H, C/N, COT, C-HM, C-AF, C-AH, relação AH/AF e AE/HM em horizontes A e B de Cambissolos Húmicos Alíticos típicos.

P	H	Ag	pH	Al	T	C	H	N	O	C/N	COT	C-HM	C-AF	C-AH	AH/AF	EA/HM
		gkg ⁻¹		cmol _c kg ⁻¹	-----%-----				-----g kg ⁻¹ -----							
F3	A	296	4,2	7,0	28	4,8	2,3	0,4	4,1	13,8	19,0	7,5	5,1	4,6	0,9	1,3
	B	360	4,7	5,7	15	0,7	0,8	0,1	3,2	8,1	5,5	1,9	1,8	1,3	0,7	1,7
P4	A	200	4,4	2,2	12	4,9	1,1	0,4	4,3	11,9	20,3	7,8	4,0	6,5	1,6	1,4
	B	200	4,7	5,2	15	3,0	0,9	0,2	3,6	13,6	16,1	7,3	2,1	5,1	2,4	1,0
P10	A	439	5,0	1,8	9	5,1	2,0	0,4	3,8	12,2	36,3	18,0	7,4	7,2	1,0	0,8
	B	450	5,2	5,3	20	2,4	1,5	0,2	2,9	12,7	19,2	7,2	5,4	4,7	0,9	1,4
F35	A	468	4,8	3,7	21	7,9	2,5	0,6	3,2	12,7	69,2	33,3	12,5	12,2	1,0	0,7
	B	515	4,8	4,5	13	4,0	1,7	0,2	2,7	26,3	34,5	16,3	7,6	7,2	1,0	0,9
F36	A	484	4,9	5,1	15	6,7	2,1	0,5	4,3	13,1	36,5	13,8	7,8	7,5	1,0	1,1
	B	489	4,5	5,5	19	3,8	1,2	0,3	2,8	11,2	18,3	9,1	4,2	3,5	0,8	0,9

Baixos valores desta relação indicam elevada movimentação de C (Benites et al., 2001). Além disto, estes valores indicam a estabilidade estrutural da MO e a relação constitui-se um índice melhor que os valores absolutos para avaliação da humificação da MO do solo. O baixo conteúdo de bases trocáveis no solo pode também diminuir a intensidade do processo de humificação, condensação e síntese das SH (Canellas et al., 2002).

As relações entre as substâncias solúveis e a C-HM em alguns casos foram maiores que um (1,0) (Tabela 26). Observa-se que mesmo com a fração humificada mais estável e estando em maiores teores do que as formas mais lábeis individualmente, essa ainda não supera a soma das frações solúveis.

Os Latossolos apresentam textura muito argilosa no horizonte B, pH superior a 5,5 na área de cultura anual e inferiores a 5,0 na de floresta. Nestes solos, os teores de COT são inferiores aos observados na maioria dos Cambissolos (Tabela 27).

Tabela 28. Teores de argila, pH, alumínio, CTC, C, N, H, C/N, H/C, COT, C-HM, C-AF, C-AH, relação AH/AF e AE/HM em horizontes A e B de Latossolos.

P	H	Ag	pH	Al	T	C	H	N	O	C/N	COT	C-HM	C-AF	AH	AH/AF	EA/HM
		g kg ⁻¹		cmol _c kg ⁻¹	%	%	%	%	%	%	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹
CA	A	671	5,5	1,6	13	2,2	1,6	0,2	3,5	11,5	15,94	6,9	3,9	3,6	0,9	1,1
27	B	743	5,6	0,6	6	1,3	1,7	0,1	2,8	12,6	11,04	3,9	3,2	2,6	0,9	1,5
F2	A	422	4,5	0,6	17	3,0	1,8	0,2	3,3	14,3	25,81	11,1	6,3	6	0,9	1,1
8	B	631	4,7	2,2	10	1,1	2,1	0,1	2,5	13,9	7,36	2,7	2	2	1,0	1,5

A relação AH/AF está muito próxima a um (1,0) tanto no horizonte A como no B, indicando pouca perda seletiva da fração mais solúvel (C-AF), devido provavelmente aos elevados teores de argila dos Latossolos. A relação EA/HM apresenta valores de 1,1 na camada superficial, aumentando em profundidade, passando para 1,5 no horizonte B, indicando iluviação de MO. Resultados semelhantes foram reportados por Benites et al. (2003).

Os Nitossolos têm grande representatividade na área de estudo, ocorrendo muitas vezes associados aos Cambissolos e Latossolos. Estes solos possuem, assim como os Latossolos, elevados teores de argila, sendo superiores a 450 g kg⁻¹ no horizonte B dos perfis avaliados (Tabela 28).

Os valores de pH apresentaram variações que podem ser devidas as coletas em áreas com diferentes usos; porém, os valores na sua maioria são baixos, sendo inferiores a 5,5. Nos perfis nas áreas de floresta consolidada (F30, F31, F34), verificou-se a presença do caráter alítico com valores de Al³⁺ superiores a 4 cmol_c kg⁻¹.

A razão C/N variou entre 7 e 29, indicando diferentes graus de decomposição da MO nestes solos. Nos horizontes com valores elevados, próximos a 30 (CA24 e CA25), conclui-se que pode haver baixa reserva de N mineral, e este padrão pode ser atribuído aos processos de imobilização por microrganismos. Valores da relação C/N menores que 20, que representam a maior parte dos valores observados, podem indicar aumento no teor de N mineral, sugerindo portanto, predominância do processo de mineralização.

Verificou-se aumento da relação C/N em profundidade (exceto CA23 e CA33), indicando maior grau de decomposição da MO em profundidade nos perfis. Desta forma, a MO encontrada nas camadas mais profundas dos perfis estudados está em estágio mais avançado de decomposição.

Assim como nas demais classes de solos avaliadas, nos Nitossolos a maior parte do COT é composta pela fração C-HM. Este padrão também foi observado por Dabin (1981) em solos tropicais brasileiros e africanos, que atribuiu à rápida insolubilização dos resíduos vegetais que chegam ao solo. Uma série de fatores, tais como: a interação com a fração mineral de natureza oxídica e as reações de desidratação favorecidas pela alternância de períodos secos e úmidos, favorecem a formação de C-HM.

Tabela 29. Teores de argila, pH, alumínio trocáveis, CTC, C, N, H, C/N, H/C, COT, C-HM, C-AF, C-AH, relação AH/AF e AE/HM em horizontes A e B de Nitossolos Brunos, Háplicos em Vermelhos.

P	H	Ag gkg ⁻¹	pH	Al cmol _c kg ⁻¹	T	C H N O				C/N	COT	C-HM C-AF C-AH			AH/AF	EA/HM
						-----%-----						-----g kg ⁻¹ -----				
P5	A	350	4,9	0,8	20	3,1	1,8	0,3	3,8	9,8	25,6	11,2	6,2	5,6	0,9	1,1
	B	540	5,2	3,0	12	1,3	1,7	0,1	3,2	10,4	11,2	7,1	1,1	2,4	1,9	0,4
P7	A	496	5,0	0,8	17	4,8	2,0	0,4	3,5	12,4	26,5	16,0	3,1	4,7	1,5	0,5
	B	565	5,2	2,1	12	1,9	1,4	0,1	3,0	20,7	17,3	12,6	1,6	1,3	0,8	0,2
Fi18	A	462	5,2	0,5	23	5,2	2,0	0,4	3,6	13,9	34,5	12,1	9,7	9,0	0,9	1,5
	B	527	5,6	1,2	12	1,6	1,7	0,1	2,7	18,2	14,4	7,6	2,2	3,1	1,4	0,7
Fi22	A	543	5,2	0,2	19	4,0	1,8	0,3	3,2	11,7	29,1	10,8	6,8	6,5	0,9	1,2
	B	690	5,0	2,0	10	1,3	1,8	0,1	2,5	14,9	12,2	6,6	2,1	2,3	1,1	0,7
CA24	A	455	6,1	0,3	16	3,9	1,6	0,2	3,8	16,3	36,5	17,5	7,8	7,5	0,9	0,9
	B	602	5,1	3,1	9	1,8	1,7	0,1	3,1	29,2	16,3	6,8	3,9	3,6	0,9	1,1
CA25	A	449	5,2	0,5	17	6,6	2,0	0,4	4,2	18,8	62,6	31,4	11,	11,3	0,9	1,1
	B	657	5,0	4,0	11	2,9	1,9	0,1	3,2	29,3	27,2	11,8	6,5	6,2	0,9	1,1
CA26	A	663	5,3	0,6	18	3,5	1,8	0,2	2,9	14,5	25,9	12,9	4,1	6,0	1,5	0,8
	B	677	5,4	1,7	7	1,1	1,7	0,1	2,7	13,4	10,2	5,6	1,6	1,9	1,2	0,6
F30	A	415	5,0	0,3	20	2,3	1,5	0,2	3,3	10,9	12,7	7,1	2,1	3,0	1,4	0,7
	B	592	4,8	4,1	16	1,0	1,5	0,1	2,5	11,2	10,3	3,2	2,3	2,9	1,3	1,6
F31	A	436	4,2	5,7	26	5,3	1,9	0,5	3,2	10,9	21,6	9,2	5,2	5,0	0,9	1,1
	B	456	5,0	3,0	14	2,5	2,0	0,2	2,8	11,7	12,9	6,3	2,2	3,1	1,4	0,8
CA33	A	568	5,3	0,4	17	1,5	1,6	0,2	3,1	8,9	14,1	5,7	2,9	3,3	1,1	1,1
	B	635	4,8	2,4	11	0,6	1,5	0,1	2,4	7,1	6,4	2,6	1,2	2,0	1,8	1,2
F34	A	539	4,8	2,9	17	2,9	1,7	0,2	2,9	13,2	17,1	7,1	4,3	4,0	0,9	1,2
	B	620	4,7	6,5	19	1,8	1,8	0,1	2,4	14,8	10,3	3,2	2,3	2,9	1,3	1,6

A relação HM/AF aumentou do horizonte A para o horizonte B em alguns perfis, devido provavelmente à rápida mineralização dos resíduos vegetais e à formação de materiais pré-húmicos solúveis. Estas SHs mais móveis podem migrar para o horizonte B e sua acumulação pode explicar o aparecimento de características estruturais particulares nos perfis, tais como consistência mais forte, que está ligada à desorganização estrutural do horizonte B (Volkoff et al., 1978).

A razão AH/AF nestes solos, inferior a 1,0, indica a predominância de frações menos evoluídas, estando estas relacionadas à reação ácida dos solos. De uma forma geral, o baixo conteúdo de bases trocáveis nos solos mais intemperizados diminui a intensidade dos processos de humificação (Dobbss, 2006).

Os diagramas de Van Krevelen (Figura 8) evidenciam dois grupos separados espacialmente, que evidenciam o decréscimo dos teores de C e H no horizonte A em relação ao horizonte B, em todas as classes de solo avaliadas. Isto confere baixas razões H/C, evidenciando a formação de uma estrutura aromática funcionalizada com propriedade de recalcitrância, ou seja, resistência do material a transformações ou decomposição (Angelo et al., 2014).

As menores relações O/C e H/C no horizonte A sugere que o material orgânico é mais aromático, provavelmente devido à sua desidratação. O aumento nas relações O/C e H/C no

horizonte B pode indicar efeito da oxidação sobre a superfície carbonácea, mas também uma possível metilação, que seria precursora para formação de grupos carboxílicos na estrutura aromática (Paiva, 2014).

As correlações lineares entre as variáveis do solo estudadas são apresentadas na Tabela 29, verificando-se que para as variáveis argila, Al³⁺ e CTC do solo, os coeficientes de correlação foram baixos (< 0,5).

No horizonte diagnóstico superficial (A) observam-se correlações significativas e positivas entre o C, N, H, COT e as SHs (C-HM, C-AF e C-AH), que se explicam pelo fato das SHs constituem 85 a 90 % da reserva total do COT (Andreux, 1996).

Os valores de pH apresentaram correlações negativas e significativas com os teores de Al e o valor T do solo. É comum em solos tropicais, bastante intemperizados, haver baixa correlação entre os valores T do solo e os teores de argila e MO (Santos et al., 2009).

As altas precipitações pluviométricas aliadas à boa distribuição de chuvas durante o ano nas regiões de estudo favorecem a lixiviação de elementos básicos, conduzindo à redução dos valores de do pH do solo. A mineralização da MO, que apresenta elevados teores nos solos destas regiões de altitude no estado de Santa Catarina, resultando na liberação de nitrato e hidrogênio também ocasiona a diminuição do pH (Bohnen, 1995). A variável teor de Al apresentou correlação significativa com C, H e N.

Tabela 30. Matriz de correlação linear entre valores de argila, pH, Alumínio (Al), CTC, C, H, N, Carbono Orgânico Total (COT), Humina (C-HM), Ácidos Fúlvicos (C-AF) e Ácidos Húmicos (C-AH) nos Horizontes A e B diagnósticos.

Variáveis	Ag	pH	Al	T	C	H	N	COT	C-HM	C-AF	C-AH
Horizonte A											
Ag	1,00	0,10	-0,14	-0,07	-0,22	0,23	-0,28	0,10	0,14	-0,01	-0,03
pH		1,00	-0,63*	-0,42*	-0,14	-0,11	-0,26	0,10	0,03	0,19	0,19
Al			1,00	0,31	0,37*	0,42*	0,42*	-0,01	0,01	-0,03	-0,10
T				1,00	0,10	0,05	0,20	-0,03	0,01	-0,05	-0,11
C					1,00	0,51*	0,88*	0,78*	0,72*	0,72*	0,73*
H						1,00	0,44*	0,52*	0,49*	0,51*	0,39*
N							1,00	0,58*	0,53*	0,53*	0,54*
COT								1,00	0,95*	0,89*	0,91*
HM									1,00	0,72*	0,76*
C-AF										1,00	0,93*
C-AH											1,00
Horizonte B											
Ag	1,00	0,13	-0,37*	-0,33*	-0,32	0,57*	-0,47*	-0,02	-0,06	0,08	-0,08
pH		1,00	-0,57*	-0,51*	-0,12	0,41*	-0,33*	0,08	0,11	-0,01	0,04
Al			1,00	0,42*	0,30	-0,36*	0,30	0,09	0,00	0,17	0,16
T				1,00	0,06	-0,51*	0,20	-0,19	-0,17	-0,14	-0,21
C					1,00	-0,10	0,68*	0,78*	0,73*	0,70*	0,69*
H						1,00	-0,29	0,10	0,09	0,10	0,10
N							1,00	0,26	0,25	0,26	0,28
COT								1,00	0,92*	0,87*	0,89*
C-HM									1,00	0,67*	0,69*
C-AF										1,00	0,86*
C-AH											1,00

No horizonte diagnóstico subsuperficial B (Tabela 29) observou-se alta correlação positiva entre as SHs. A CTC do solo apresentou correlação positiva com o Al trocável e negativa com pH e argila. Os teores de argila também se correlacionaram negativamente com o C e os teores de alumínio. O H apenas não se correlacionou significativamente com o C.

A análise discriminante indicou no horizonte A que os dois primeiros eixos canônicos no diagrama (Figura 9) explicaram 100 % da variância total, sendo que a CAN1 explica 66,9 % e a CAN2 33,1 % da variância.

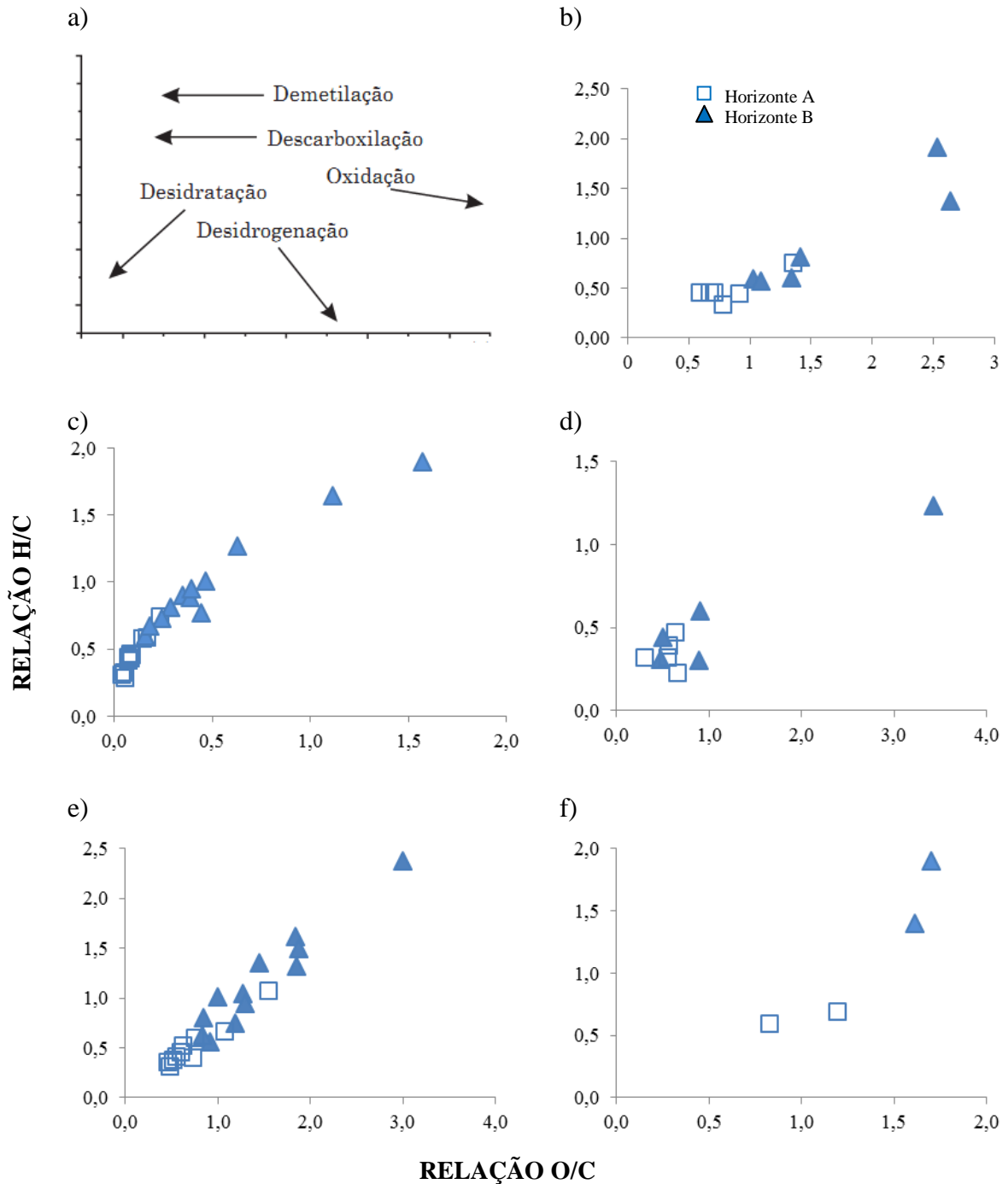


Figura 8. Diagrama de Van Krevelen obtido a partir da composição elementar dos horizontes A e B dos perfis de diferentes classes de solo. A) Principais reações envolvidas nos processos de humificação (adaptado de Rice & MacCarthy, 1991); B) Cambissolo Háplico Alítico; C) Cambissolo Háplico Distrófico; D) Cambissolo Húmico; E) Nitossolos; F) Latossolo Vermelho.

No horizonte B os 100 % da variância dos dados também é explicada nos dois primeiros eixos canônicos (Figura 10), sendo que a CAN 1 explica 73,8 % e a CAN 2 explica 26,2 %.

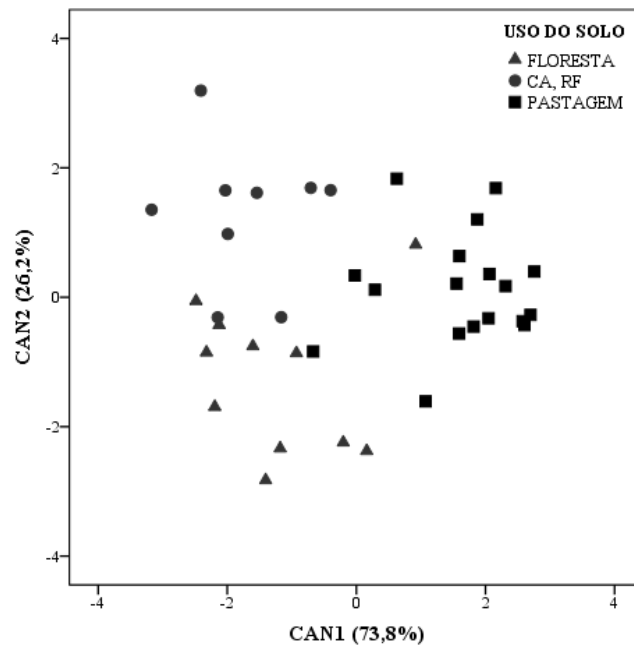


Figura 9. Dispersão dos coeficientes canônicos das variáveis em relação ao uso do solo na camada superficial (a).

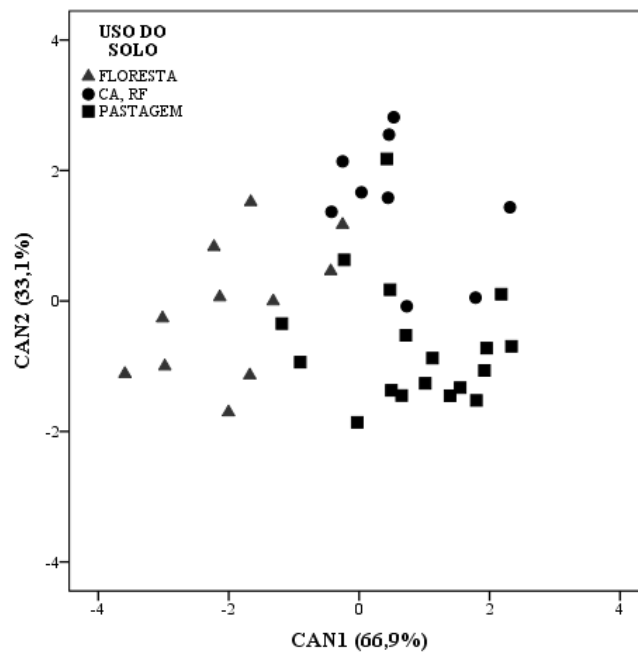


Figura 10. Dispersão dos coeficientes canônicos das variáveis em relação ao uso do solo no horizonte diagnóstico subsuperficial (b).

Os resultados indicam que 84,2 % no horizonte A e 86,8 % no horizonte B dos grupos originais foram corretamente classificados pelo modelo (Tabela 30), permitindo, desta forma, distinguir as classes de uso do solo e confirmando a relação das variáveis com o uso do solo.

O horizonte subsuperficial apresentou os melhores resultados na classificação, provavelmente devido às menores interferências do meio sobre o perfil, os horizontes superficiais estão mais sujeitos a modificações sejam essas naturais como os processos erosivos ou pelas ações antrópicas. O grupo das pastagens foi mais bem discriminado que os demais, enquanto o grupo CA e RF apresentou o menor percentual de classificação correta de acordo com o modelo, devido principalmente às diferenças entre os materiais orgânicos adicionados ao solo, que vão refletir com os resultados de COT e SH.

Tabela 31. Resultados da classificação das amostras nos três grupos de uso do solo determinados (F, CA e RF, P), utilizando-se as duas funções discriminantes nos horizontes A e B diagnósticos.

Grupo Original (uso do solo)	Nº de observações	Grupos estimados (modelo)		
		Floresta	CA, RF	Pastagem
Horizonte A (84,2 %)				
Floresta	11	9 81,8%	1 9,1%	1 9,1%
CA, RF	9	2 22,2%	7 77,8%	0 0
Pastagem	18	1 5,6%	1 5,6%	16 88,9%
Horizonte B (86,8 %)				
Floresta	11	9 81,8%	1 9,1%	1 9,1%
CA, RF	9	2 22,2%	7 77,8%	0 0
Pastagem	18	1 5,6%	0 0	17 94,4%

Em trabalho avaliando o efeito de diferentes coberturas vegetais (pastagem, cana-de-açúcar e floresta secundária) na distribuição das SH e nas características dos C-AH de solos do ambiente de Tabuleiros Costeiros, Fontana et al. (2010), avaliando as classes de Latossolo Amarelo e Argissolo Amarelo, observaram na distribuição das SH, baixa variação entre as coberturas em cada profundidade e o predomínio da C-HM.

Da mesma forma que para o uso do solo, nas classes taxonômicas as variáveis apresentaram 94 % no horizonte A (Figura 11) e 100 % da variância total é representada pelos dois primeiros eixos canônicos no horizonte B (Figura 12). Assim, pode-se distinguir as quatro classes de solo, mostrando a relação da COT e SHs com a taxonomia dos solos das regiões avaliadas. Alguns autores também conduziram estudos da MOS quantificando o carbono das frações húmicas e aplicando no entendimento da pedogênese (Valladares et al., 2008; Fontana et al., 2008; Ebeling et al., 2011, Fontana et al., 2011a).

Assim como na análise discriminante do uso do solo, a CAN1 no horizonte B diagnóstico melhor explicou a variância dos dados (82,2 %), sendo que a CP2 explicou 12,8 %. Já no horizonte A, a CAN1 e a CAN2 explicaram respectivamente 74,1 e 14,1 % (Tabela 31). Estes valores estão coerentes, visto que, no SiBCS o horizonte B diagnóstico é o

principal critério diagnóstico na classificação dos solos, através de seus atributos diagnósticos, o que evidencia a influência da gênese do solo na dinâmica destes atributos diagnósticos.

Considerando ambiente similar em relação à vegetação original e uso agrícola, as mudanças no carbono do solo e nas frações húmicas podem refletir as interações com os componentes minerais e os processos pedogenéticos, que são influenciados pelo material de origem e pelo relevo (Fontana et al., 2014).

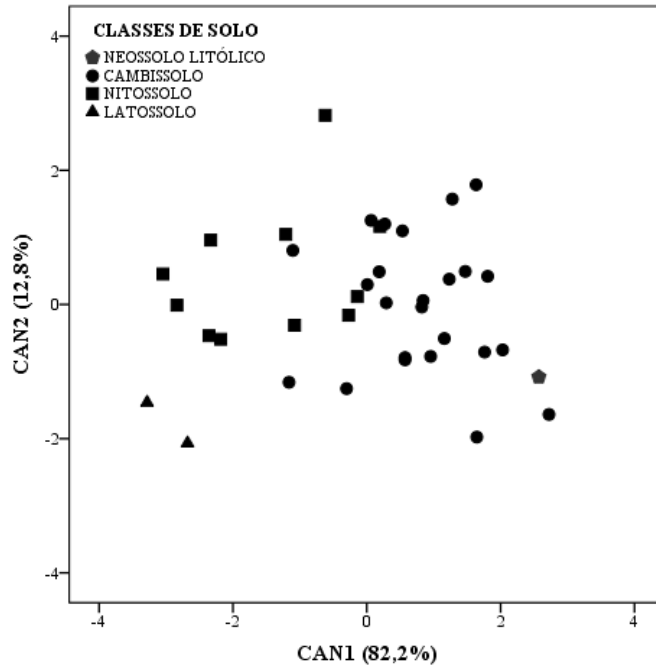


Figura 11. Dispersão dos coeficientes canônicos das variáveis em relação às classes de solo na camada superficial.

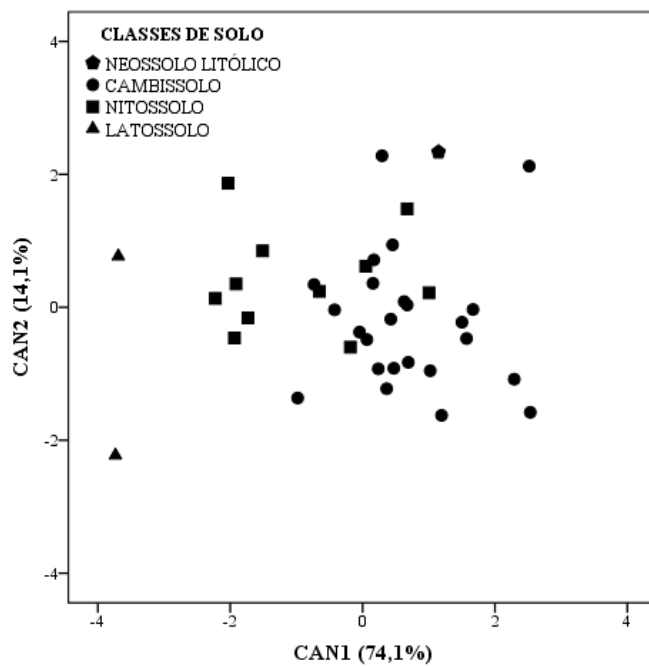


Figura 12. Dispersão dos coeficientes canônicos das variáveis em relação às classes de solo no Horizonte B diagnóstico.

Tabela 32. Classificação das amostras nas quatro classes de solos determinadas (Neossolo, Cambissolo, Nitossolo e Latossolo), utilizando-se as duas funções discriminantes no Horizonte A e B diagnósticos.

Grupo Original	Nº de perfis	Grupos estimados (modelo)			
		Neossolo Litólico	Cambissolo	Nitossolo	Latossolo
Horizonte A (81,6%)					
Neossolo Litólico	1	0	1	0	0
		0	100%	0	0
Cambissolo	24	0	22	2	0
		0	91,7%	8,3%	0
Nitossolo	11	0	4	7	0
		0	36,4%	63,8%	0
Latossolo	2	0	0	0	2
		0	0	0	100%
Horizonte B (84,2%)					
Cambissolo	24	0	22	2	0
		0	91,7%	8,3%	0
Nitossolo	11	0	3	8	0
		0	27,3%	72,7%	0
Latossolo	2	0	0	0	2
		0	0	0	100%

5.5.2. Avaliação de Horizontes Superficiais de Cambissolos

Os horizontes superficiais dos Cambissolos avaliados apresentaram espessura entre 17 e 60 cm; o menor valor observado em área com reflorestamento de pinus e o maior em área de floresta (Tabela 33). Os teores de argila variaram de 200 (P4) a 556 g kg⁻¹ (P11), com menores valores nos perfis desenvolvidos a partir de rochas sedimentares, que, de maneira geral, condicionaram granulometria mais grosseira.

Os maiores teores de argila ocorreram nos solos formados por rochas ígneas extrusivas (basalto), que correspondem à sequência inferior dos derrames no estado de SC, caracterizadas por conteúdo mais baixo de sílica e, conseqüentemente, menor resistência ao intemperismo. Essa característica se refletiu em elevada correlação ($R^2 = 0,90$) entre as variáveis altitude e teores de argila (Figura 13a).

Os teores de argila correlacionaram-se significativamente com os de COT ($R^2 = 0,82$), como observado na Figura 13b. O conteúdo de argila exerce controle importante sobre a quantidade de carbono de ciclagem lenta e, portanto, influencia o estoque e a dinâmica do carbono do solo. Na Figura 13c observa-se que a variável COT explicou 76 % da variação da CTC do solo.

Observou-se, ainda, correlação entre a altitude e os teores de COT ($R^2 = 0,85$). Em estudo com amostras da camada superficial de oito solos da mesma região deste estudo mas sob campo nativo, Silva et al. (2008) constataram que o teor de COT apresentava relação direta com a altitude (900 a 1.200 m) e com o teor de Al⁺³ trocável.

Os teores de COT na camada superficial variaram de 8 a 72 g kg⁻¹ (incluindo A2 e AB), com maior frequência de observações no intervalo de 20 a 30 g kg⁻¹. Mesmo com estes elevados teores de COT, aliados às condições climáticas da região que favorecem o acúmulo de C, foram observados apenas cinco perfis com o horizonte diagnóstico A húmico, entre os perfis analisados. Além destes, foram constatados ainda cinco perfis com A proeminente e dez com A moderado.

Estes resultados contrastam com os presentes na publicação: Solos do estado de Santa Catarina (Embrapa, 2004), onde foram descritos 73 perfis de solos minerais em todo o estado, tendo-se verificado que 32 % apresentavam horizonte A húmico. Nessa publicação, foram descritos 19 perfis classificados como Cambissolos, avaliados em diferentes regiões do estado de SC, entre os quais seis apresentaram A húmico, quatro A proeminente, dois A chernozêmico e sete A moderado. Porém, entre estes Cambissolos, nove perfis encontravam-se abaixo de 500 m, em que há pouca possibilidade de formação do A húmico, e apenas oito perfis acima de 900 m, em condições climáticas mais similares à deste estudo. Assim, embora o trabalho citado (Embrapa, 2004) indique grande número de perfis de solos com horizonte A húmico no estado de SC em altitudes acima de 900 m, tal não foi observado no presente trabalho.

Essas diferenças podem estar relacionadas tanto à mudança nos critérios de classificação dos solos no SiBCS, no que se refere aos valores de COT e a espessura de horizontes para classificação do horizonte A húmico; como às alterações no uso dos solos, que podem ter refletido nos teores de COT e na espessura do horizonte A atuais.

Tabela 33. Dados de cor, profundidade, teor de argila, COT, pH, Al, CTC e SHs.

P	H	Cor	Prof.* (cm)	Arg. -----g kg ⁻¹ -----	COT	pH	Al cmol _c dm ⁻³	CTC	SHs (g kg ⁻¹)		
									HM	AH	AF
1	A1	10YR 3/2	26/120+	296	20	4,2	7,0	28	9,91	7,61	6,96
	A2	10YR 3/2	19/120+	306	15	4,4	6,2	20	6,92	3,79	3,35
	AB	10YR 3/2	15/120+	385	11	4,6	5,1	17	6,26	1,76	2,34
2	A1	10YR 2/2	10/98+	468	72	4,8	3,7	21	33,25	12,53	12,21
	A2	10YR 2/2	25/98+	428	55	4,5	4,5	24	26,94	9,98	9,66
	AB	10YR 3/2	14/98+	436	48	4,7	4,1	16	25,44	9,28	8,96
3	A	10YR 3/3	19/100+	484	38	4,9	5,1	15	13,78	7,83	7,50
	AB	10YR 3/3	20/100+	439	28	4,7	5,3	17	12,55	6,60	5,90
4	A	7,5YR 3/2	18/64	200	22	4,4	2,2	12	8,79	4,12	7,12
	AB	10YR 3/3	30/64	250	17	4,7	5,6	22	7,25	3,11	5,58
5	A	7,5YR 3/3	20/101+	439	39	5,0	1,8	9	18,95	7,78	7,45
	AB	7,5YR 4/4	11/101+	473	35	5,0	4,3	7	16,72	7,66	7,00
6	A	10YR 3/4	20/117+	360	24	4,7	3,2	18	11,87	6,79	6,65
	AB	10YR 4/3	15/117+	450	14	4,5	4,1	33	7,11	3,78	3,31
7	A1	7,5YR 3/4	17/126+	453	11	5,1	1,6	15	4,02	2,55	2,72
	A2	7,5YR 3/4	17/126+	452	8	5,3	4,0	12	4,02	1,55	2,22
	AB	7,5YR 3/4	13/126+	475	10	5,2	4,3	22	5,23	1,52	2,32
8	A	10YR 2/2	7/76+	318	39	5,5	0,9	20	19,82	5,15	5,36
	AB	10YR 3/3	11/76+	401	24	5,0	1,3	15	14,02	5,95	5,71
9	A	10YR 2/2	19/117+	330	24	4,5	2,5	18	13,46	5,90	7,21
	AB	10YR 3/3	15/117+	360	28	4,7	2,9	16	13,08	6,15	5,71
10	A	10YR 2/2	17/115+	320	24	6,8	0,0	17	9,35	6,46	7,87
	AB	10YR 3/2	21/115+	390	23	4,8	4,1	14	9,35	4,12	4,89
11	A	10YR 3/4	13/112+	556	29	4,6	2,8	18	15,62	6,60	5,90
	AB	10YR 3/6	20/112+	543	25	4,9	3,6	10	11,41	5,88	5,18
12	A	10YR 3/4	10/130+	316	27	4,3	5,5	19	12,43	8,50	7,85
	AB	10YR 3/6	10/130+	414	23	4,5	6,3	13	14,02	5,27	5,00
13	A	10YR 2/2	12/65	310	22	4,1	1,4	34	11,59	6,77	7,28
	AB	10YR 3/2	10/65	380	16	4,5	1,8	40	8,23	4,58	3,72
14	A	7,5YR 3/4	12/51	323	33	5,3	2,6	19	17,20	5,36	5,15
	AB	7,5YR 3/4	8/51	378	28	5,4	3,3	13	20,19	5,15	4,89
15	A	7,5YR 3/4	10/107+	427	24	5,0	0,6	17	10,35	5,70	5,38
	AB	7,5YR 4/4	13/107+	480	20	5,1	0,5	19	9,74	5,78	5,45
16	A	10YR 3/4	11/77	470	27	5,4	0,9	23	14,96	9,20	8,55
	AB	7,5YR 3/4	9/77	538	27	5,3	1,3	17	10,47	8,57	7,94
17	A1	10YR 3/2	10/90	303	30	5,1	0,6	15	13,18	8,50	7,85

P	H	Cor	Prof.* (cm)	Arg. -----g kg ⁻¹ -----	COT	pH	Al cmol _c dm ⁻³	CTC	SHs (g kg ⁻¹)		
									HM	AH	AF
18	A2	7,5YR 4/3	21/90	390	20	5,0	2,5	10	10,35	3,78	5,89
	AB	7,5YR 3/2	11/90	480	22	4,8	3,0	10	9,43	6,15	7,12
19	A	7,5YR 3/2	10/90+	400	28	5,5	0,0	10	8,41	8,90	8,24
	AB	7,5YR 3/3	11/90+	400	29	5,1	1,6	9	10,63	5,82	7,93
20	A	10YR 2/2	12/118+	230	25	6,5	0,0	10	10,47	8,57	7,94
	AB	10YR 3/4	22/118+	320	19	5,1	0,5	11	8,08	5,55	5,65
21	A	10YR 3/3	10/103+	457	21	5,2	0,3	22	14,02	5,27	7,62
	AB	10YR 3/4	21/103+	475	22	5,0	1,6	16	8,79	4,12	7,12
22	A	10YR 3/3	13/110+	417	24	5,1	1,2	17	11,22	6,46	6,23
	AB	10YR 3/4	16/110+	458	23	5,1	2,1	13	10,00	5,53	7,14
23	A1	10YR 2/2	14/90+	451	35	5,5	0,6	14	18,97	5,93	7,49
	A2	10YR 3/4	18/90+	498	29	5,9	0,4	15	9,35	9,32	8,67
24	A1	10YR 3/2	7/97+	543	31	5,5	1,7	19	23,09	5,13	4,12
	A2	10YR 3/3	10/97+	514	27	5,4	1,9	14	18,32	6,46	6,74
	A	5YR 4/4	12/75+	422	27	4,5	0,6	17	11,06	6,30	5,98
	AB	5YR 4/6	13/75+	528	14	4,4	0,3	13	5,79	4,35	4,03

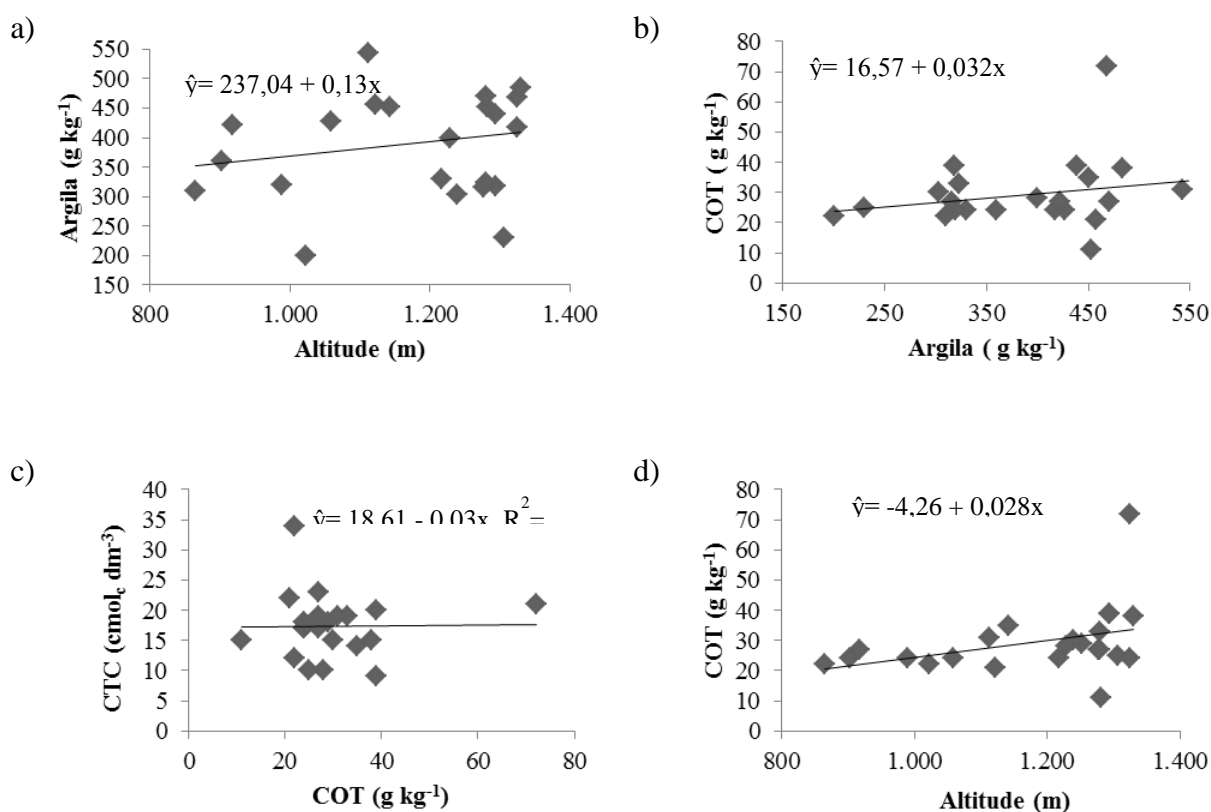


Figura 13. Relações entre: a) altitude e teor de argila do solo; b) COT e teor de argila; c) COT e CTC; e d) altitude e COT, em horizontes superficiais de 24 Cambissolos de regiões altomontanas do estado de Santa Catarina.

O estudo original realizado por Embrapa (2004) considerou como horizonte A húmico segmentos do perfil mais espessos e com maiores teores de MO, correspondentes ao “umbric epipedon” estabelecido pela Soil Taxonomy (USDA, 2014). Já no SiBCS (Santos et al.,

2013a), se considera as variáveis cor, espessura e teores de argila – além dos teores de COT – na determinação do horizonte diagnóstico superficial A húmico, conforme as alterações e critérios propostos por Carvalho et al. (2003b). Essa maior exigência, em termos de critérios, pode ter levado a não identificação do A húmico em alguns dos perfis estudados.

Além disto, a substituição de ambientes de floresta por ambientes com outros usos, aliada às elevadas declividades e taxas de pluviosidade observadas nas áreas de estudo, remetem à possibilidade de a redução na espessura do horizonte superficial ter sido decorrente do processo erosivo.

Segundo Roose et al. (2006), as perdas de COT aumentam com o aumento da declividade. Os autores reportaram valores máximos de perda de 360, 2.000, 2.300 e 3.000 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de C, para as declividades 0–5, 5–15, 15–30 e 30–65 %, respectivamente. Desta forma, entre os perfis avaliados, seis (perfis 8, 12, 15, 16, 18, 23) não atenderam à condição de espessura do horizonte superficial, estabelecida pelo SiBCS, para seu enquadramento como A húmico, por suas espessuras inferiores a 25 cm em perfis com profundidade do *solum* superior a 75 cm.

No estado de SC, as formas acidentadas de relevo prevalecem sobre as demais, e desempenham, portanto, papel decisivo na formação dos solos, com grande ocorrência de solos rasos a medianamente profundos. Assim, o horizonte superficial normalmente não possui espessura suficiente para ser classificado como A húmico. Desta forma, constata-se que as alterações antrópicas muitas vezes podem influenciar a classificação dos horizontes superficiais.

Hartemink et al. (2014) afirmam que a diminuição nos teores de COT em solos agrícolas degradados muitas vezes dificultam a classificação dos horizontes diagnósticos superficiais. Segundo os autores, muitos solos com horizonte diagnóstico “mollic”, após redução nos teores de COT, satisfariam apenas aos critérios para “epipedon ochric”. Os autores reforçam, ainda, a necessidade de critérios mais rígidos para a classificação dos horizontes “mollic”, como a inclusão do horizonte transicional, para solos agrícolas. Essas alterações podem fornecer informações mais úteis para levantamentos regionais e global de estoques ou níveis de carbono orgânico com base na classificação dos solos.

Quando os atributos do solo foram submetidos à estatística multivariada de similaridade (Figura 14), e avaliados para a distância euclidiana 5, verificou-se a formação de cinco grupos. Os perfis 2, 3 e 5, com A húmico, foram similares entre si, mas apresentaram menor grau de similaridade com o perfil 1 e uma grande distância do perfil 4, que também possuem A húmico. O perfil 1 apresentou maior similaridade com os perfis 19, 18, 17, 9, 8, 14, 12, nessa ordem, e formou, juntamente com eles, o primeiro grupo. Os perfis 2, 3 e 5, juntamente com os perfis 7, 16, 21 e 11, formaram o segundo grupo. O perfil 4 ficou individualizado, tendo-se distinguido dos demais na distância euclidiana 5. Este resultado se deveu, principalmente, aos seus baixos teores de argila do perfil 4.

Conforme os resultados da análise multivariada, muitos solos classificados com A moderado apresentaram similaridade de atributos com solos com A húmico, e vice-versa. Em estudo com horizontes diagnósticos superficiais e subsuperficiais, Fontana et al. (2010) observaram predomínio da C-HM nos horizontes A húmico. No presente estudo, a C-HM também teve a maior proporção entre as SHs (Tabela 33), o que reforça a possibilidade de que, nestes solos, muitos horizontes classificados como A moderado possuam características de A húmico e não foram assim classificados apenas pela redução na espessura.

Quando apenas os atributos utilizados para a classificação de A húmico foram considerados, tais como cor, espessura, teor de argila e teor de COT, as similaridades entre os horizontes classificados como A húmico foram muito pequenas. Foram formados quatro grupos na distância 5. No grupo 1, encontraram-se os perfis 1 e 4, que apresentaram, porém, pouca similaridade. O perfil 1 apresentou maior similaridade com os perfis 10 e 9 e o perfil 4

com o 18 e 17, nessa ordem. No grupo 2, encontrou-se o perfil 5, que apresentou similaridade com perfil 19. No terceiro grupo, foi encontrado o perfil 3, similar aos perfis 7 e 22, e, por último, o perfil 2, que se apresentou muito diferente dos demais, tendo apresentado similaridades somente na distância 25.

A análise multivariada revelou que os perfis cujo horizonte diagnóstico superficial foi classificado como A húmico, em muitos casos, são similares, no conjunto de atributos físicos e químicos, a perfis com A proeminente e A moderado. Este padrão também foi verificado para perfis classificados como A húmico que algumas vezes não apresentaram similaridade entre si.

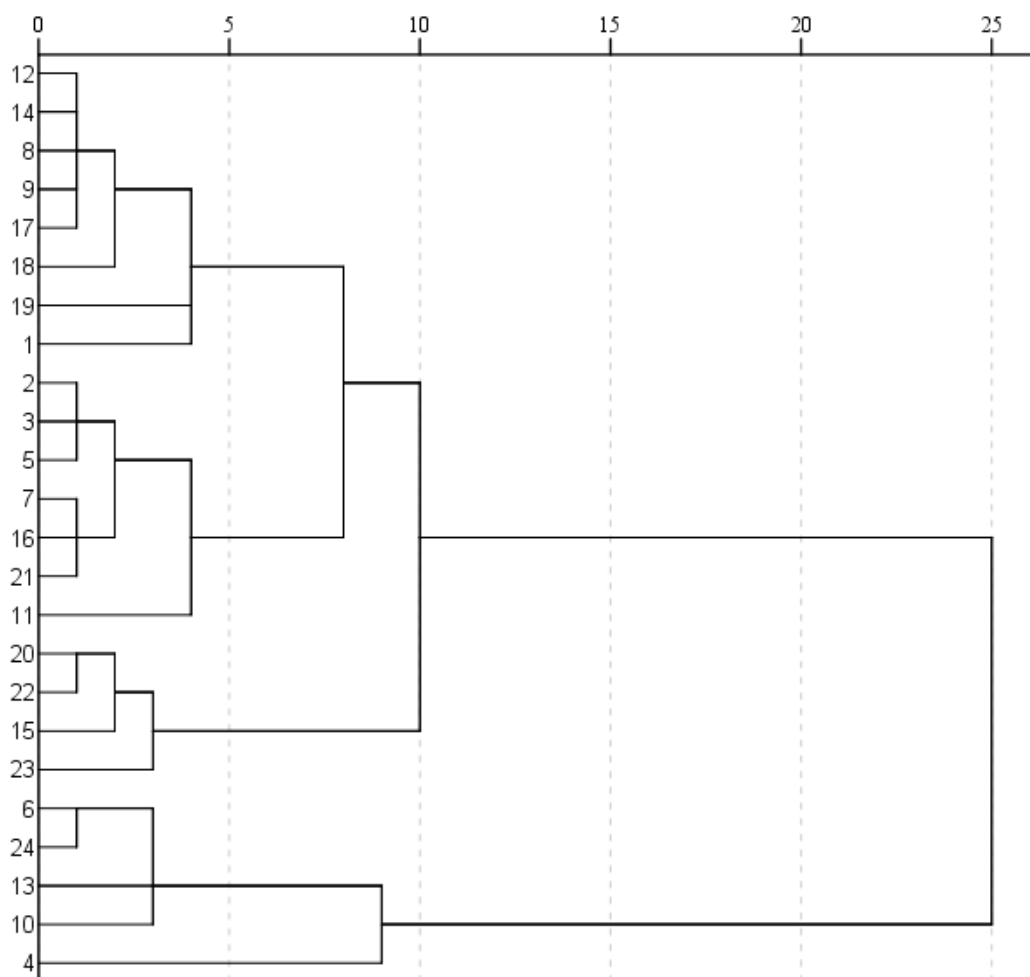


Figura 14. Dendrograma baseado na altitude, profundidade, cor, teor de argila, COT, pH, Al^{+3} , CTC, SHs dos horizontes diagnósticos superficiais de Cambissolos das regiões de altitude de SC.

5.5.3. Uso do $\delta^{13}C$ como Atributo na Classificação de Solos

A utilização de traçadores isotópicos de carbono é comum no Brasil nos estudos de ciclagem da MO do solo em médio prazo, quando florestas (ciclo fotossintético C_3) têm sido substituídas por culturas com ciclo fotossintético C_4 (Jantalia et al., 2007; Pinheiro et al., 2010; Costa Junior et al., 2011). O uso desta técnica permite verificar se determinado solo foi submetido à alteração antrópica pela mudança no uso agrícola, além de dar uma noção temporal desta interferência (Trumbore & Camargo, 2009).

Na análise isotópica de $\delta^{13}\text{C}$ dos Cambissolos Húmicos (perfis 1, 2, 3, 4 e 5), apresentada na Figura 15, verifica-se pequena variação na assinatura isotópica. Estes resultado indica pequena interferência de ações antrópicas nos solos estudados, o que pode ter propiciado o acúmulo de COT e, conseqüentemente, a maior espessura destes horizontes superficiais. Nos perfis 1 a 4, observou-se o predomínio de carbono proveniente de plantas C_3 , enquanto que no perfil 5 houve enriquecimento de carbono oriundo de gramíneas, inclusive em profundidade, o que mostra que o uso contínuo pode ter favorecido a estabilidade da MO.

Já nos perfis 8, 12, 15, 16, 18, 23, classificados como de A moderado e com menor espessura, observou-se padrão diferente do observado nos perfis com A húmico (Figura 16). Nos perfis 12, 15 e 23, verificou-se enriquecimento de carbono oriundo de plantas C_3 em superfície, o que está de acordo com uso atual sob floresta; entretanto, em profundidade, observou-se mistura de carbono de plantas C_3 e C_4 , com predomínio de C_3 , indício de que as mudanças de cobertura ocorreram em mais de um momento. Os perfis 8, 16 e 18, apresentaram mistura de carbono oriundo de plantas C_3 e C_4 já na camada superficial, com predomínio do C proveniente de gramíneas, o que foi intensificado na profundidade de 50 cm, onde a quase totalidade do C foi proveniente de C_4 . Nas camadas mais profundas, observou-se, novamente, a origem diferenciada do carbono (C_3 e C_4), com prevalência do C proveniente de gramíneas.

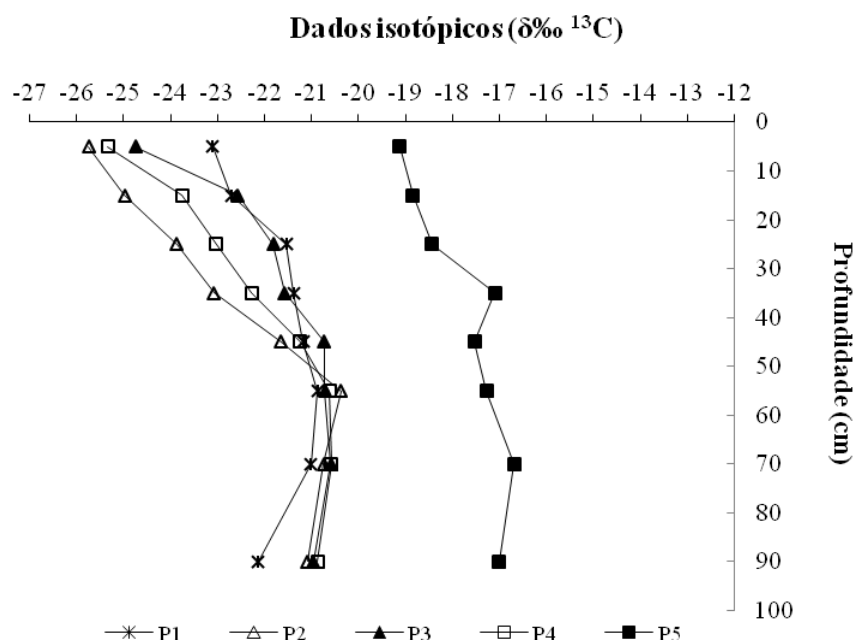


Figura 15. Abundância natural de ^{13}C no solo em perfis de Cambissolo com A húmico (perfis 1, 2, 3, 4 e 5) em regiões altomontanas do estado de Santa Catarina.

Para os perfis com A Proeminente (9, 10, 17, 19 e 22), a distância para classificá-los como A húmico foi pequena. Por exemplo: para o perfil 17, o aumento em apenas um (1,0) cm de espessura do horizonte A já o incluiria como húmico. Neste grupo de perfis, também foram observadas alterações de uso do solo em função do tempo, e a composição isotópica constituiu-se de uma mistura de carbono de plantas C_3 e C_4 , em que as C_4 prevaleceram (Figura 17).

Os sistemas de classificação taxonômica de solos não são estáticos, mudanças são feitas à medida que o conhecimento se expande e surjam novos fatos, tecnologias, métodos e equipamentos. Desta forma, as informações obtidas através do método de abundância

isotópica de ^{13}C podem ser utilizadas em estudos pedológicos como atributo complementar, no sentido de contribuir para a evolução do SiBCS, em especial no caso de solos intensamente afetados por atividades antrópicas relacionadas ao uso agrícola.

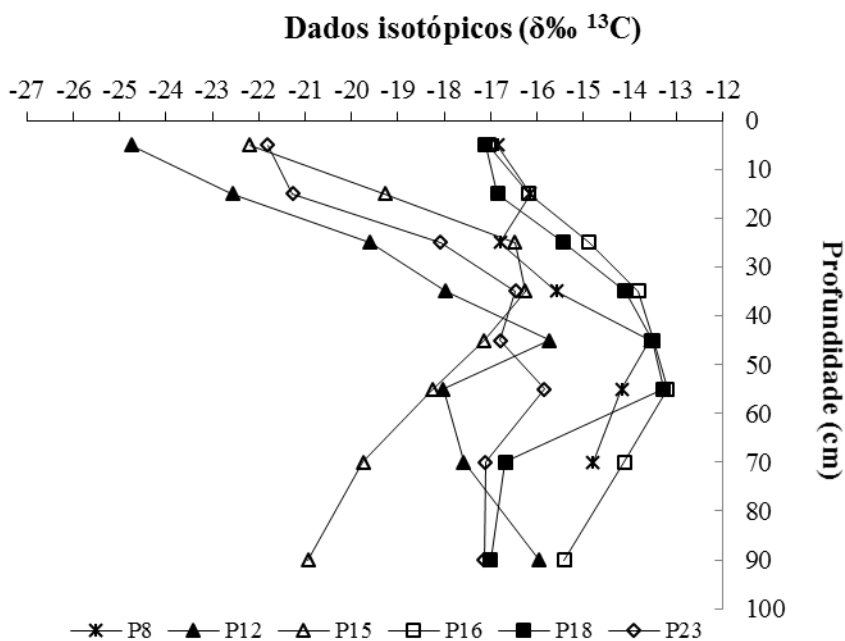


Figura 16. Abundância natural de ^{13}C no solo em perfis de Cambissolo com A moderado (perfis 8, 12, 15, 16, 18 e 23) em regiões altomontanas do estado de Santa Catarina.

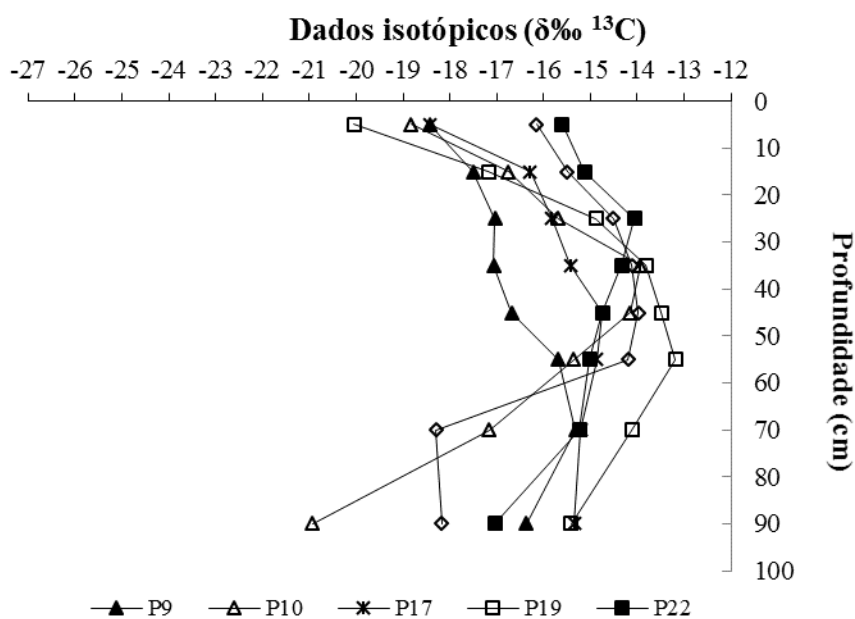


Figura 17. Abundância natural de ^{13}C no solo em Cambissolos (perfis 9, 10, 17, 19 e 22) em regiões altomontanas do estado de Santa Catarina.

Os resultados do presente trabalho destacam as limitações da classificação dos horizontes superficiais destes solos com os critérios atualmente utilizados pelo SiBCS, o que é evidenciado nos perfis que foram submetidos a alterações antrópicas com mudança na cobertura do solo identificada pela análise de $\delta^{13}\text{C}$. Assim, com a constatação de ação antrópica, evidenciada por essa técnica, recomenda-se flexibilização do critério de espessura do solo, quando todos os demais atributos estejam presentes e em função da intensidade de uso.

Quando há alteração no uso do solo, como foi detectada por meio da técnica de $\delta^{13}\text{C}$, sugere-se que o atributo profundidade seja desconsiderado para fins de classificação de solos que apresentem: textura argilosa a muito argilosa, declividade superior a 8 % – em que o relevo promove grande remoção de material, com intenso rejuvenescimento, o que resulta em solos rasos e pouco profundos – e com tores de COT superiores a 3 %, definidos como altos pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo (CQFS) RS/SC (2004).

Este procedimento poderia minimizar interpretações errôneas em função da classe de solo, especialmente no caso de solos com teores de COT superiores a 3 %. Por exemplo, os perfis 8, 14, 17, 22 e 23 foram classificados como Cambissolos Háplicos; entretanto, essa classificação não fornece informações essenciais para o seu manejo e uso agrícola, assim como não reflete características de acúmulo de matéria orgânica que melhor expressam a sua gênese em ambiente altomontano e de relevo movimentado.

5.6. CONCLUSÕES

A fração C-HM representa a maior porção do COT nos solos com elevados teores de MO e localizados acima de 840 m de altitude. As frações C-AF e C-AH encontram-se em quantidades similares na maioria dos perfis, sendo que no horizonte B prevalecem maiores valores de C-AH em relação aos C-AF.

A análise discriminante distinguiu as classes de uso do solo e as ordens taxonômicas de solos das regiões do estudo, mostrando a influência da gênese na formação destas substâncias.

Os elevados teores COT do solo não foram suficientes para enquadrar os horizontes superficiais como A húmico, principalmente em razão da pequena espessura apresentada por estes horizontes. A análise de agrupamentos por similaridade não distingue os horizontes A húmico dos demais.

Solos classificados como tendo A húmico mostram pouca alteração na assinatura isotópica, o que indica manutenção da vegetação; enquanto que solos classificados como de A moderado revelam alternância entre cultivos de plantas C₃ e C₄.

A abundância natural de ¹³C, por ser pertinente para avaliação das alterações de uso ocorridas no solo, pode contribuir como atributo complementar na classificação de Cambissolos localizados em ambientes altomontanos de Santa Catarina.

6. CAPÍTULO IV

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DOS SOLOS DOS VINHEDOS DAS REGIÕES DE ALTITUDE DE SANTA CATARINA

6.1. RESUMO

O objetivo deste capítulo foi o de avaliar os atributos químicos e físicos do solo em diferentes profundidades em propriedades vitícolas localizadas nas quatro regiões produtoras de vinhos finos de altitude de SC, distinguindo as que apresentem similaridades nestes atributos do solo entre os vinhedos. Entre as metodologias utilizadas, para a análise química do solo foi coletada uma amostra composta, formada a partir de três amostras simples, realizada em quatro vinhedos (repetições), para cada uma das 45 propriedades vitícolas avaliadas, e em áreas de floresta relacionadas a eles. Foram avaliados o pH em água, os teores de P, K, MO, Al, CTC, Zn e Cu, nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 e 20 a 40 cm. Os atributos físicos avaliados foram a granulometria (areia fina, areia grossa, silte e argila), densidade do solo (Ds), resistência à penetração (Rp), porosidade total (Pt), macroporosidade (Mp) e microporosidade (mp) nas profundidades de 0 a 20 e 20 a 40 cm. A viticultura gera grande variação dos atributos químicos entre vinhedos e entre unidades produtoras. Os vinhedos apresentam solos com excesso de adubações verificado pela análise dos atributos químicos. Os vinhedos das quatro regiões vitivinícolas apresentam características similares quando realizada a avaliação conjunta de todos os atributos químicos, que podem imprimir tipicidade nas uvas e vinhos produzidos. Existem propriedades vitícolas com determinada homogeneidade dos atributos dos solos, podendo conferir tipicidade a uva produzida da região. Os atributos físicos não possibilitaram a verificação de similaridade entre os vinhedos, e assim não contribuíram para a diferenciação ou homogeneização das propriedades para implantação de IG.

Palavras-chave: Matéria orgânica. Adubação. Análise multivariada.

6.2. ABSTRACT

The aim of this chapter is to evaluate the chemical and physical properties of the soil at different depths in wine-producing properties located in four regions producing fine wines SC altitude, distinguishing those that have similarities in these soil properties among the vineyards. Among the methodologies used for the chemical analysis of soil was collected a composite sample formed from three single samples, carried out in four vineyards (repetitions) for each of the 45 evaluated wine properties, and in forest areas related to them . We evaluated the pH of P, K, OM, Al, CTC, Zn and Cu in the depths 0-5, 5-10, 10-20 and 20-40 cm. The assessed physical attributes were the grain size (fine sand, coarse sand, silt and clay), bulk density (Ds), penetration resistance (Rp), total porosity (Pt), macroporosity (Mp) and micropores (mp) in the depths from 0 to 20 and 20 to 40 cm. Viticulture generates large variation in chemical properties between vineyards and between production units. The vineyards have soils with excess fertilizers verified by analysis of the chemical attributes. The vineyards of the four wine regions have similar characteristics when carried out joint assessment of all chemical attributes, which can print the typicality produced grapes and wines. There are wine-growing properties with certain homogeneity of soil attributes, and may confer typicality grapes produced in the region. The physical attributes not allowed to check similarity between the vineyards, and thus did not contribute to the differentiation or homogenization of the properties for deployment IG.

Keywords: Organic matter. Fertilizing. Multivariate analysis.

6.3. INTRODUÇÃO

O cultivo com uvas viníferas (*Vitis vinifera*) no estado de Santa Catarina é recente, sendo que os primeiros experimentos nas regiões de altitude do estado ocorreram na década de 90, e a implantação dos primeiros vinhedos comerciais no ano de 2000 (Cordeiro, 2006), despertando o interesse de parte do setor agrícola para produção de vinhos finos.

Este cultivo ocorre, predominantemente, em pequenas propriedades, onde os vinhedos são estabelecidos em áreas declivosas, em solos pouco profundos e pedregosos. As uvas produzidas apresentam características próprias e distintas das demais regiões produtoras do Brasil, pois nestas regiões o verão é mais ameno, assim, o ciclo vegetativo da videira é maior e com maturação fenológica completa, o que permite a elaboração de vinhos de alta qualidade (Borghazan et al., 2011).

Estes vinhos apesar do pequeno período de produção vêm alcançando posição de destaque no cenário nacional e internacional pela sua alta qualidade. Entretanto, a competitividade do setor tem desafiado os produtores a estabelecerem estratégias, que observem de forma mais eficiente os seus recursos e deste modo absorvam uma parcela distinta do mercado consumidor de vinhos, mantendo a sustentabilidade competitiva a longo prazo (Tonietto & Falcade, 2003).

No mercado mundial os países que desfrutam de maior prestígio são aqueles que se preocupam com a produção de vinhos de melhor qualidade, regionalmente, e consolidados com IG, amparada por legislações específicas (Llopis, 1997).

Os vinhos possuem características organolépticas e sua qualidade e tipicidade são fortemente definidas pelos fatores naturais de produção que são a expressão dos fatores naturais, tais como geográficos (solo, vegetação), climáticos, e pelos fatores humanos peculiares de cada região (Tonietto, 2001).

Desta forma, vinhos em diferentes regiões, elaborados com a mesma tecnologia, resultam em produtos diferenciados, com características próprias. Assim a IG identifica que alguns produtos de determinados lugares apresentavam qualidades particulares, atribuíveis a sua origem geográfica, sendo denominados com o nome geográfico que indica sua procedência, constituindo numa das formas especiais de proteção aos produtos.

A implantação de IG é uma possibilidade para a cultura da videira, constitui-se numa das formas especiais de proteção aos produtos, que visam, principalmente, destacar seus aspectos distintivos, como a identificação de recursos edafoclimáticos diferenciados, capazes de gerar vantagens competitivas.

A caracterização dos ecossistemas através dos fatores ambientais com influência significativa na produção da uva e do vinho é um dos componentes necessários à diferenciação dos produtos. Neste sentido um dos aspectos de grande importância a ser considerado é a caracterização dos solos onde são produzidos estes vinhos. Porém, este aspecto tem resultados experimentais ainda escassos, consequência do recente histórico de ocupação das áreas e produção. Segundo Miele et al. (2010), ainda existem poucos estudos no Brasil que integrem regiões, variedades e vinícolas, fundamentais para delimitação de IGs e caracterização de *terroir*.

Quanto maior a variação dos fatores de formação do solo, principalmente do material de origem, clima e do relevo, maior será a heterogeneidade dos solos em uma determinada área (Ross & Moroz, 1997). Além disto, nos solos cultivados adiciona-se a essa heterogeneidade, o efeito antrópico como fonte adicional de variação. Assim, os solos variam continuamente no espaço, sendo a determinação das propriedades químicas e físicas do solo

fatores básicos na condução de parreirais e planejamento da produção, no intuito de obter qualidade na produção da uva, possibilitando estabelecer tipicidade dos produtos.

Devido à escassez de estudos na região, as recomendações para a cultura da videira são baseadas muitas vezes em informações de literatura e de outras fruteiras. Isto gera indefinições, inclusive sobre quais nutrientes haveria maior probabilidade de resposta à adubação (Dal Bó, 1992). A aplicação balanceada de nutrientes, baseadas em análises químicas do solo e de tecido está entre as inúmeras práticas culturais que objetivam aumentar a produtividade e a qualidade da uva (Tecchio et al., 2006).

A importância dos atributos do solo no cultivo de uva para produção de vinho é reconhecida pela maioria dos produtores, mas é geralmente tratada como um fator secundário quando comparado ao clima e ao manejo da copa (Santos, 2006). O fornecimento de nutrientes na quantidade adequada, e a adoção de práticas adaptadas de manejo do solo contribuem para elevar o rendimento e a qualidade de uvas para vinificação. De acordo com Fráguas et al. (2002), os vinhedos brasileiros poderiam produzir frutos com maior qualidade caso fossem adubados adequadamente, e essa adubação seja focada na qualidade do vinho que se deseja e não pelos níveis de produção (Fogaça, 2005).

Os atributos físicos e químicos dos solos influenciam no comportamento da videira, sendo que profundidade, estrutura e textura são os atributos físicos mais importantes, por outro lado, a reação do solo (pH) e a disponibilidade de nutrientes são os químicos de maior relevância para a cultura (Melo, 2003).

A estrutura física do solo, o regime hídrico, a origem geológica, a composição química, o pH, a profundidade e outros fatores edáficos interferem no desenvolvimento da videira e na composição da uva (Fregoni, 2005).

Os maiores rendimentos são obtidos em solo profundo e fértil, mas de maior qualidade uvas são obtidas em solos menos profundos e pobres. O sistema radicular das videiras raramente excede 1,20 m e 90 % das raízes ocorrem comumente no primeiro 60 cm de profundidade. A maior parte das raízes responsáveis pela nutrição está entre 20 e 60 cm de profundidade. Um mínimo de 30-40 cm do solo permeável e sem camadas obstrutivas é necessário para o crescimento ótimo da videira.

Neste sentido, a hipótese estabelecida no presente estudo foi que a avaliação de atributos físicos e químicos do solo em vinhedos de uma determinada região, contribui para a identificação de propriedades vitícolas com características específicas, que podem refletir na tipicidade do vinho nelas produzido, subsidiando uma IG.

Desta forma, o objetivo do presente trabalho foi o de avaliar os atributos físicos e químicos de vinhedos de ambiente altomontanos localizados no estado de SC, distinguindo propriedades que apresentem similaridades quanto a estes atributos do solo.

6.4. MATERIAL E MÉTODOS

6.4.1. Coleta de Amostras e Análises Laboratoriais

Para a análise química foi coletada uma amostra composta, formada a partir de cinco amostras simples, em quatro vinhedos (repetições), para cada uma das 6 propriedades vitícolas avaliadas nos municípios de Urubici, Bom Retiro e Rancho Queimado, em Santa Catarina. Entre os atributos químicos, considerando as condições da viticultura catarinense, foram avaliados os que merecem maior atenção, e os nutrientes foram selecionados devem-se tanto pela sua baixa disponibilidade nestes solos ou por serem os mais exigidos pela videira.

Foram avaliados os valores de pH, os teores de P, K, MO, Al, CTC do solo, Zn e Cu, segundo Embrapa (1997), nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 e 20 a 40 cm. Após a coleta, as amostras foram identificadas e acondicionadas em sacos plásticos, sendo, em seguida, transportadas para o laboratório, secas ao ar, destorroadas e passadas por peneira de 2 mm de malha, obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA), material que foi utilizado para realização das análises. Todas as análises foram realizadas no Laboratório de Solos da Epagri, no município de Chapecó, SC.

As amostras indeformadas foram coletadas em anéis volumétricos de aço inox com 5 cm de altura e 7 cm de diâmetro interno, nas profundidades de 0 a 20 e 20 a 40 cm, para avaliação dos atributos físicos. Foi determinada a granulometria (areia fina, areia grossa, silte e argila), a densidade do solo (Ds), resistência à penetração (Rp), com umidade equilibrada na tensão de 600 kPa, porosidade total (Pt), macroporosidade (Mp) e microporosidade (mp), realizadas de acordo com metodologia descrita em Veiga (2011) que, por sua vez, adaptou os métodos descritos em Embrapa (1997) para as condições de análise de rotina.

6.4.2. Análise dos Dados

Como suporte a tomada de decisão, os atributos determinados foram submetidos à estatística descritiva (teste de médias e desvio padrão). A similaridade entre as propriedades vitícolas foi avaliada por meio da análise multivariada, através de dados quantitativos dos atributos químicos e físicos do solo, utilizados para estimar a distância euclidiana, gerando a matriz de dissimilaridade, onde se aplicou o método de agrupamento hierárquico do vizinho mais próximo, a partir da apresentação de um dendrograma de similaridade (Johnson & Wichern, 2007). Todas as análises foram realizadas pelo programa SPSS 20.0 (Statistical Package for Social Sciences) e Excel.

6.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.5.1. Solos Originados de Rochas Sedimentares

6.5.1.1. Atributos químicos

Os atributos químicos, de modo geral, apresentaram grande variação entre as áreas coletadas (vinhedos), o que resultou em elevados valores de desvio padrão. A região estudada é composta por propriedades localizadas em áreas de rochas sedimentares, com vinhedos que variam entre 2,2 a 7,0 ha de área (Tabela 34), com grande variedades de uvas distribuídas em vários setores (pelo menos sete), que podem influenciar na diferenciação dos atributos químicos, mesmo dentro da mesma propriedade.

Tabela 34. Propriedades da região, altitude média em metros (AM), tipo climático (TC), área plantada total (AP), setores (ST), variedades (VR), área plantada por variedade (AV), ano de implantação (AI) e espaçamento entre plantas (EP).

Propr.	AM	TC	AP	ST	VR*	AV	AI	EP
1	985	3A	2,3	7	SB	0,9	2009	1,0x3
					ML	0,4	2009	1,0x3
					CS	0,4	2009	1,0x3
					OT	0,6	2009	1,0x3
2	902	4A	6,2	22	OT	3,7	2009	1,2X3
					OT	0,9	2012	1,2X3
					OT	0,8	2011	1,2X3
					CS	0,1	2009	1,2X3
					CS	0,5	2005	1,2X3
					ML	0,2	2005	1,2X3
3	865	4A	7,0	17	OT	2,4	2011	1,2X3
					OT	1,9	2010	1,2x3
					OT	1,0	2008	1,2x3
					ML	0,3	2008	1,2X3
					CS	0,3	2008	1,2X3
					SB	0,4	2008	1,2x3
					CD	0,7	2008	1,2x3
4	914	4A	2,2	9	OT	1,5	2007	1,2X3
					CS	0,6	2007	1,2X3
					CD	0,1	2007	1,2X3
5	1.141	5	4,1	15	OT	2,5	2011	1,5X3
					SB	0,5	2011	1,5X3
					ML	0,4	2003	1,5X3
					CS	0,7	2003	1,5X3
6	1.149	5	4,0	9	CS	1,0	2007	1x3
					ML	1,0	2007	1X3
					OT	2,0	2007	1X3

* SB (Sauvignon Blanc); ML (Merlot); CS (Cabernet Sauvignon); CD (Chardonnay); OT (Outras variedades).

Os valores de pH foram considerados adequados para a videira, exceto para as propriedades 2 e 5, em que a partir da profundidade de 5 cm apresentam valores inferiores a 5,5 (Tabela 35), o que está relacionado aos altos teores de Al^{3+} (superiores a $6 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na propriedade 5). Os elevados valores de Al^{3+} podem promover diversos danos às plantas, influenciando especialmente no desenvolvimento do sistema radicular (Malavolta et al., 1997).

De acordo com Seguin (1986), o pH do solo não tem muita influência sobre a qualidade dos vinhos, visto que, vinhos de qualidade são produzidos tanto em solos ácidos, como em neutros e alcalinos. Entretanto, existem limites para a acidez e alcalinidade do solo toleráveis pelas videiras. Segundo White (2009) a faixa de pH no solo entre 5,5 a 7,5 é a que proporciona a maior disponibilidade de nutrientes para a videira.

Tabela 35. Valores médios de pH, P, K, MO, Al, CTC, Zn e Cu, nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 e 20 a 40, em propriedades vitivinícolas localizadas na região de rochas sedimentares.

Prop. n°	Prof. cm	pH H_2O	P mg dm^{-3}	K mg dm^{-3}	MO g kg^{-1}	Al cmolmg^{-3}	CTC pH 7.0	Zn mg dm^{-3}	Cu mg dm^{-3}
1	0 a 5	6,0	74	567	37	0,0	14,3	41	55
	5 a 10	5,8	21	316	36	0,0	3,3	35	43
	10 a 20	5,7	9	226	33	0,0	3,2	29	40
	20 a 40	5,8	7	118	30	0,0	3,2	32	37
2	0 a 5	5,6	12	230	34	1,4	15,2	127	311
	5 a 10	5,4	6	90	28	1,6	2,7	39	184
	10 a 20	5,0	6	76	26	2,3	1,7	31	54
	20 a 40	4,6	5	62	25	4,3	1,0	31	47
3	0 a 5	6,6	29	252	36	0,0	10,3	28	45
	5 a 10	5,9	27	244	36	0,0	5,3	20	41
	10 a 20	5,8	21	212	34	0,3	3,3	17	48
	20 a 40	5,6	10	162	33	0,0	2,7	17	39
4	0 a 5	6,6	55	596	36	0,0	9,2	45	65
	5 a 10	6,9	19	222	39	0,0	2,4	40	63
	10 a 20	5,8	11	118	35	0,3	1,4	39	45
	20 a 40	4,9	7	88	31	2,0	1,4	31	40
5	0 a 5	5,6	7	110	40	6,7	26,2	105	257
	5 a 10	5,1	5	72	32	6,2	25,2	41	142
	10 a 20	5,0	4	59	35	6,6	26,9	40	54
	20 a 40	4,5	4	55	32	9,8	23,4	42	48
6	0 a 5	6,6	114	390	35	0,0	15,7	174	65
	5 a 10	6,3	23	274	33	0,0	4,5	36	41
	10 a 20	6,4	15	208	31	0,0	4,3	30	39
	20 a 40	6,0	8	136	29	0,0	4,0	26	42

Nos casos de baixos valores de pH no solo, a aplicação de calcário se constitui na principal estratégia para diminuir a toxidez por Al^{3+} e a consequente redução da acidez do solo. A calagem, além da elevação do pH, aumenta os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} e a saturação por bases, e diminui o Al^{3+} e o Mn^{2+} trocáveis no solo. Alleoni et al. (2005) verificaram que a neutralização da acidez do solo e o aumento dos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} trocáveis com a aplicação de calcário na superfície restringiram-se aos primeiros 10 cm de profundidade, enquanto a incorporação do calcário corrigiu a acidez do solo até à profundidade de 20 cm.

Desta forma, existe a necessidade de calagem para as propriedades 2 e 5, com incorporação do calcário. Pelos valores de pH observados na camada de 0 a 5 cm, supõe-se

que provavelmente a calagem tenha sido realizada, entretanto de forma superficial. A reação do calcário é restrita a uma pequena distância do local da aplicação, assim o benefício máximo é obtido com a aplicação antecipada, distribuição uniforme e incorporação profunda (Soratto & Crusciol, 2008).

A utilização de fertilizantes de origem mineral também pode alterar o pH do solo, reduzindo a disponibilidade de outros nutrientes, principalmente o fósforo. Muitas recomendações de adubação, no intuito de maximizar a disponibilidade de nutrientes, indicam 6,0 como o valor de pH indicado; pois nessas condições os solos não se observam níveis tóxicos de alumínio ou a indisponibilidade de micronutrientes para a cultura (CQFS RS/SC, 2004).

Os solos dessa região vitícola em SC mostram-se naturalmente com limitações nutricionais, sendo fósforo o macronutriente mais limitante, tornando-se necessário correções para que as plantas tenham condições de expressarem seu máximo potencial produtivo.

Essa afirmativa foi verificada nas propriedades avaliadas ficando evidente a diferenciação de adubação, que apresentaram valores de P na camada de 0 a 5 cm variando entre 7 e 114 mg dm⁻³. Novamente os valores mais baixos foram observados nas propriedades 5 e 2, com níveis definidos como baixos e médios, respectivamente, relacionados com os teores de argila. Para as demais propriedades os valores foram estabelecidos como muito altos (CQFS RS/SC, 2004). Na profundidade de 20 a 40 cm ocorre grande redução nos teores deste elemento, não sendo superiores a 10 mg dm⁻³ valor observado na propriedade 3. A baixa mobilidade do P faz com que os maiores teores sejam quantificados na camada superficial.

Essa constatação reforça as diferentes formas de aplicação entre os produtores da mesma região. Apesar da importância da fertilização, ainda se tem muitas dúvidas sobre a quantidade a ser aplicada, para as regiões de altitude. O manual de recomendação de adubação para o estado do RS/SC (CQFS RS/SC, 2004) não especifica a adubação para videiras europeias produzidas nessas regiões. A recomendação não está relacionada com a produção de vinhos finos de altitude.

A prática de adubação do solo é comum entre os produtores, porém os indicadores da necessidade de adubação ainda não estão bem definidos, tornando a recomendação da adubação uma atividade empírica. A falta destes indicadores gera grande insegurança nos produtores, os quais ficam a mercê das recomendações feitas pelas empresas revendedoras de fertilizantes, cujos critérios utilizados, muitas vezes, são de cunho comercial e não técnico. Como resultado desta situação, tem-se observado o aumento da concentração de nutrientes nos solos, principalmente fósforo e potássio.

Apesar da videira não ser uma planta exigente em fósforo (Dal Bó, 1992), este nutriente tem importância na formação da copa, na frutificação, no desenvolvimento das raízes, além de favorecer a fermentação do mosto (Souza, 1996) e acentuar o aroma e o sabor dos vinhos (Regina et al., 2006).

O potássio apresentou valores muito altos em todas as propriedades, exceto na propriedade 5, onde foram quantificados valores altos (CQFS RS/SC, 2004), marcando os excessos de adubações, principalmente na camada superficial, sendo quantificados valores de 569 a 596 mg dm⁻³ nas propriedades 4 e 1 respectivamente. Na propriedade 3, os valores são muito altos (162 mg dm⁻³) na camada de 20 a 40 cm, sendo que os valores de K no solo tendem a ser maiores nas camadas mais superficiais.

O excesso de potássio no solo pode ocasionar a redução da concentração de açúcares nas bagas, aumentar o pH do mosto e, conseqüentemente, resultar em um vinho de qualidade inferior (Mota et al., 2006). Pode também inibir competitivamente a absorção de N, Mg⁺² e Ca⁺², causando, assim como o excesso de nitrogênio.

O potássio é acumulado nas bagas durante a fase de maturação (Mafra et al., 2011), aumentando a resistência à seca, ao frio, às doenças e às pragas (Souza, 1996), e assim,

favorecendo o aumento da produtividade da videira e influenciando o processo inicial de fermentação do mosto, melhorando o aroma e o sabor do vinho (Regina et al., 2006). O processo de maturação das uvas é caracterizado por grande aumento na quantidade de potássio nas bagas e aumento do peso das mesmas.

Assim, o intervalo desejado de MO para os solos de vinhedos é de 20 a 30 g kg⁻¹ (Kurtural, 2006) e é dependente das condições climáticas que regulam a mineralização. Os teores de MO variaram de 34 a 40 g kg⁻¹ na camada de 0 a 5 cm, considerados acima da faixa adequada para o cultivo de videira. Os teores diminuem em profundidade, entretanto ultrapassam a 25 g kg⁻¹ até a profundidade de 20 a 40 cm. Quando estes valores são comparados com os teores observados nos perfis de solo da mesma propriedade, conclui-se que as diferenças são muito pequenas, verificando-se nessa região que as videiras, mesmo cultivada em áreas declivosas não tem contribuído para a redução no conteúdo de MO. Este resultado pode ser reflexo da utilização de cobertura verde, que é uma prática conservacionista recomendável nos parreirais, podendo contribuir para a diminuição das perdas de solo e nutrientes por erosão (Battany & Grismer, 2000).

Entretanto, o maior teor de MO observado nas regiões produtoras de SC, aliado à prática da calagem para correção da acidez na implantação dos vinhedos, favorece a atividade microbiana e, com isso, aumenta a mineralização da MO e, por consequência, reflete na maior disponibilidade de N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻. Como consequência, aumenta o crescimento vegetativo das videiras que, nestes casos, conduz ao vigor excessivo da parte aérea, prolongando o período de crescimento vegetativo e retardando o amadurecimento do fruto (Zalameña, 2012).

O excesso de vigor diminui a incidência de raios solares no interior do dossel e favorece o aparecimento de doenças fúngicas (Duchêne et al., 2001). Isto pode diminuir a concentração de nutrientes e compostos orgânicos na uva, como polifenóis e antocianinas, pelo maior deslocamento destes para os ramos e folhas mais novos (Brunetto et al., 2008), afetando negativamente a fertilidade das gemas (Botelho et al., 2004), e retardando a maturação dos cachos, além de favorecer o surgimento de dessecamento da ráquis e podendo interferir na composição da uva.

Em trabalho realizado por Brunetto et al. (2007) no estado do Rio Grande do Sul, testando doses crescentes de adubação nitrogenada na cultura da videira, constatou-se a diminuição da qualidade da uva e também do vinho com o aumento da quantidade de N aplicado, com aumento na acidez total, nas concentrações de ácido málico e nos valores de N amoniacal e diminuição na quantidade de antocianinas.

Vinhos tintos apresentam qualidade superior quando o suprimento de nitrogênio ocorre de forma limitada (Chone et al., 2001), enquanto que para a produção de vinhos brancos secos, particularmente para a casta Sauvignon Blanc, os teores de N no solo devem ser ao menos moderados, para que seja obtida a concentração desejada dos componentes que levam ao aroma nas uvas (Van Leeuwen et al., 2006; Chone et al., 2006).

Os maiores valores de CTC do solo foram observados na propriedade 5, que, entretanto, teve grande contribuição dos altos teores de Al⁺³. Nessa propriedade os valores da CTC do solo foram superiores a 20 cmol_c kg⁻¹ em todas as profundidades avaliadas. Nas demais propriedades os valores foram menores, embora superiores na camada superficial (variando de 9 a 16 cmol_c dm⁻³), diminuindo em profundidade.

Em relação aos micronutrientes, normalmente as videiras são submetidas à aplicação de fungicidas que possuem Cu e Zn na sua composição para o controle preventivo de doenças fúngicas foliares (Mackie et al., 2012), fazendo com que a preocupação maior seja com o excesso destes micronutrientes.

Os valores de zinco na camada superficial são elevados, variando de 28 a 174 mg dm⁻³, nas propriedades 3 e 1 respectivamente (Tabela 35). Nas camadas mais profundas os valores tendem a decrescer consideravelmente em todas as propriedades. O zinco é altamente

móvel e quando existe elevado suprimento deste nutriente muitas espécies de plantas têm translocado quantidades apreciáveis do elemento das folhas velhas para órgãos de crescimento, mas quando as mesmas espécies estão sob condições de deficiência apresentam baixa mobilidade do nutriente. Mesmo nas camadas mais profundas foram, quantificados valores de zinco considerados altos de acordo com CQFS RS/SC (2004).

Os altos teores de fósforo induzem a deficiência de zinco. Mengel & Kirkby (1987), verificaram que altos níveis de fósforo em videiras, cultivadas em vasos com solo calcário, induziram sintomas de deficiência de zinco nas folhas e também a diminuição no crescimento, sendo que baixos teores de zinco foram observados nas folhas novas. Este padrão sugere que o fósforo pode afetar a distribuição do zinco disponível nos tecidos das plantas.

Assim como o zinco, a carência de cobre não é comum na videira. Em algumas situações, pode-se observar danos causados pelo excesso de cobre, tais como: clorose das folhas e dos ramos novos, desenvolvimento reduzido da parte aérea e do sistema radicular, baixa germinação do pólen, resultando em baixa fertilização das flores, com uma queda acentuada de número de bagas por cacho. A toxicidade de cobre ocorre em consequência da aplicação de fungicidas cúpricos (Faria & Silva, 2004).

Na Tabela 35, constata-se excesso de cobre nas propriedades 2 e 5, onde os valores de cobre são de 311 e 257 mg dm⁻³, respectivamente, em solos que apresentaram os menores valores de pH. O aumento de pH provoca maior adsorção, diminuindo os teores na solução. Quanto maiores os teores de óxidos e de MO, maior a capacidade de adsorver e, portanto, menores as quantidades na solução (Malavolta, 1997). Em condições de pH ácido, como é o caso dos solos da região estudada, a sorção de Cu nos óxidos de Fe e Al⁺³ é dificultada devido à sua maior carga positiva. Assim, a capacidade de um solo de sorver Cu depende principalmente dos valores de pH, concentração e constituintes da fração argila.

Em estudo para determinar as formas de cobre em solos cultivados com videira e submetidos a sucessivas aplicações de fungicidas cúpricos, em um Neossolo Litólico e em Cambissolo Húmico, nas camadas de 0 a 20 e 20 a 40 cm, em um vinhedo com 40 anos, no RS, Casali et al. (2008) concluíram que a aplicação de fungicidas cúpricos em videiras aumentou o teor total e das frações biodisponíveis de cobre do solo.

A grande variação dos atributos químicos observada entre as áreas, constatada pelos valores do desvio padrão (Tabela 35), pode estar relacionada, tanto pela variação na distribuição espacial das amostras dentro das propriedades, influenciado pelo fator relevo, quanto pelo grande número de setores encontrados nas propriedades.

Estes setores refletem as diferentes variedades que estão sendo produzidas, que por sua vez possuem necessidades nutricionais diferenciadas, distintas épocas de colheita e demais tratamentos culturais com datas variadas, o que tende a remeter a distintas datas de adubação e tratamentos fitossanitários. Além disto, na maioria das propriedades os vinhedos foram implantados em datas diferentes (Tabela 34), o que gera diferenciação na perda e acúmulo de determinados nutrientes. Adicionalmente, o relevo influencia na variação da distribuição espacial das amostras dentro das propriedades.

Para diminuir este problema da falta de homogeneidade, que conseqüentemente pode resultar em vinhos de qualidade bem diferenciada entre os setores e entre os anos de fabricação, uma alternativa seria a de levantamentos pedológicos em nível ultra detalhado de todos os vinhedos. A partir destes estudos, seriam definidos, principalmente o porta-enxertos e as práticas de manejo dos solos (fertilidade, plantas de cobertura, necessidade de água, entre outros). Isso poderia favorecer certa homogeneidade entre as áreas, podendo assim definir a tipicidade para a região onde os vinhos são produzidos.

No presente estudo foi possível observar dados relevantes que mostram as propriedades que possuem características edáficas mais próximas, o que pode conduzir a vinhos com características similares, quando utilizados mesma variedade e processos de

vinificação parecidos. Este conjunto de características pode ser de grande interesse quando se trabalha com a implantação de parreirais para a produção de vinhos em que se busca a certificação através de indicação geográfica.

A análise multivariada através da análise do dendrograma mostrou que existem diferenças entre as propriedades nas diferentes camadas de solo avaliadas. As propriedades 1 e 6 e as propriedades 2 e 5 formaram dois grupos distintos, independente da camada avaliada, identificados como 1 e 2 (Figura 18).

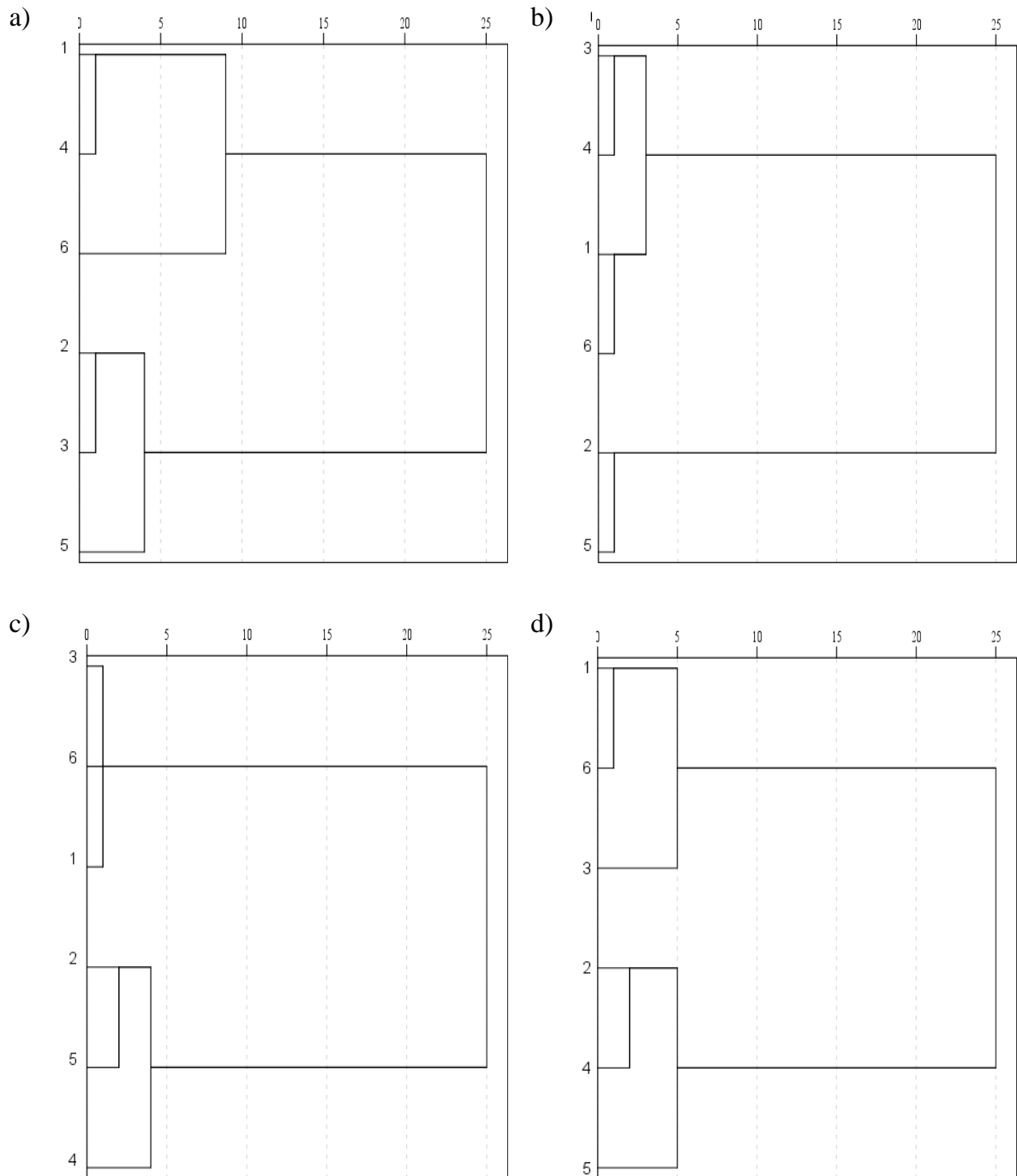


Figura 18. Dendrograma dos atributos químicos das propriedades vitícolas localizadas na região de rochas sedimentares, nas profundidades: a) 0 a 5 cm; b) 5 a 10 cm; c) 10 a 20 cm e d) 20 a 40 cm.

Assim, se for considerado apenas o fator solo, pode-se encontrar dois grupos distintos, que mantem uma similaridade no tocante aos seus atributos químicos o que pode garantir uma determinada tipicidade do produto assim como maior homogeneidade da uva produzida nessas áreas. A padronização das adubações entre as propriedades pode contribuir para a homogeneidade da produção na região com o passar dos anos, mantendo uma certa padronização da qualidade do produto nas diferentes safras.

Na camada de 0 a 5 cm, a propriedade 4 apresentou similaridade com a 1 e 6, enquanto a propriedade 3 apresentou maior similaridade com as 2 e 5 (Figura 18a). Na camada de 5 a 10 cm, as propriedades 3 e 4 apresentaram maior similaridade com as propriedades 1 e 6 (Figura 18b). Já nas profundidades de 10 a 20 e 20 a 40 cm (Figuras 18c, d), a propriedade 3, apresentou maior similaridade com 1 e 6 e a propriedade 4 com as 2 e 5. O primeiro grupo é indicativo de maior fertilidade devido às adubações realizadas.

6.5.1.2. Atributos físicos

A avaliação dos atributos físicos do solo é também importante, sendo que a drenagem interna do solo é frequentemente associada com a qualidade dos vinhos (Seguin, 1986). A granulometria é o atributo físico mais importante influenciando a maioria dos demais atributos físicos e os químicos.

Na região do estudo, destacam-se os elevados teores de silte especialmente na propriedade 6. Nessa condição a erodibilidade do solo tende a aumentar com o incremento dos teores de silte e areia fina e a diminuir com aumento de areia grossa e do conteúdo de argila. Nas propriedades 5 e 6 foram observados os maiores os teores de areia fina e nas demais maior teor de areia grossa. Os teores de areia total variaram de 202 a 314 g kg⁻¹. Os teores de argila na maioria dos casos aumentaram em profundidade, foram observados teores classificados como médios.

Os efeitos diretos da granulometria do solo na qualidade dos vinhos não estão bem definidos, no entanto, os efeitos indiretos sobre a hidrologia do solo são conhecidos. A granulometria afeta a capacidade de retenção de água, a infiltração e a translocação da água no solo (Kurtural, 2006).

Os Cambissolos, classe dominante na produção de uva na região estudada, apresentam restrições físicas, físico-hídricas e químicas para a implantação dos vinhedos de altitude. Entre as restrições físicas estão à baixa profundidade efetiva do perfil associada à grande pedregosidade e, em alguns casos, ocorrência associada de afloramentos de rochas.

Carvalho et al. (2003b), trabalhando em vinhedo comercial em unidade de mapeamento com associação de Argissolos e Latossolos, observaram alta variabilidade das frações granulométricas. As diferenças na variabilidade são justificadas pela mobilização do solo, com baixo a médio grau de intemperismo, o que resulta em alta variabilidade natural da granulometria.

Os solos com classe textural franca, normalmente têm maior potencial para o desenvolvimento radicular das videiras, bem como adequada capacidade de retenção de água. Os solos com maior profundidade efetiva, desde que não tenham limitações químicas, são apontados como de maior potencial para o desenvolvimento radicular da videira.

Na implantação de vinhedos na região pode ser observada, em alguns casos, em áreas com grandes variações nos atributos físicos do solo. Em algumas áreas, devido à elevada pedregosidade, são realizadas arações, escarificações e gradagens pesadas para a retirada do excesso de pedras visando propiciar melhores condições para o cultivo. Segundo Carvalho et al. (2011), o preparo de solo para implantação das culturas representa uma etapa crucial na longevidade da cultura.

Dentre os componentes de manejo, Vieira & Klein (2007) afirmam que o preparo do solo é a atividade que mais influencia nos atributos físicos, por alterar sua estrutura e podendo

modificar variáveis relacionadas (Vieira, 1985). Neste sentido, Souza et al. (2004), destacam que o cultivo inadequado pulveriza a superfície dos solos, deixando-os mais susceptíveis ao processo de erosão e propiciam a formação de impedimentos físicos logo abaixo das camadas de solo movimentadas pelos implementos agrícolas. O preparo inicial do solo ocasiona mudanças nos atributos físicos, como a densidade do solo, decorrente da modificação da sua estrutura (Klein & Libardi, 2002), também afetando qualidades físico-hídricas fundamentais, como porosidade, retenção de água, disponibilidade de água às plantas e a resistência do solo à penetração (Tormena et al., 1998), resultando em decréscimo na produtividade.

Segundo Dedecek et al. (2007), as respostas das plantas não ocorrem diretamente ao preparo do solo, mas ao ambiente criado em função desta atividade, o qual favorece a movimentação da água, areação e disponibilidade de nutrientes, sendo a profundidade a variável mais importante. Essas operações demandam energia, tempo e custos, os quais estão diretamente relacionados à profundidade de trabalho e ao número de operações.

Devido à elevada e constante umidade relativa do ar e altas temperaturas, especialmente durante o período vegetativo e reprodutivo, as videiras são submetidas às contínuas aplicações de fungicidas para o controle preventivo de doenças fúngicas foliares. Essas aplicações são realizadas através da utilização de máquinas e equipamentos agrícolas, tais como tratores e pulverizadores, que trafegam nas entrelinhas dos vinhedos, ocorrendo muitas vezes quando o solo possui teor de umidade acima da capacidade de campo. Essa condição aliada aos elevados teores de argila, provocam a aproximação das partículas do solo pela pressão dos rodados e, conseqüentemente, podem compactar o solo nas entrelinhas (Van Dijk & Van Asch, 2002; Lima et al., 2004; Rosa et al., 2009; Braida et al., 2011).

A variação na granulometria dos solos de altitude, pode influenciar diretamente na densidade do solo e na porosidade do solo, com reflexo nas trocas gasosas, na absorção de nutrientes e na dinâmica da água para as videiras. Os menores valores de D_s foram observados nas duas camadas da propriedade 5. Nas demais propriedades os valores foram muito próximos variando na camada superficial de 0,83 a 0,98 Mg m^{-3} e na camada de 20 a 40 cm de 1,02 a 1,11 Mg m^{-3} (Tabela 36), que são considerados baixos, logo os solos não apresentam compactação resultante da mecanização.

A D_s em profundidade apresentou o mesmo padrão em todas as propriedades, verificando-se aumento desta em profundidade. Silva et al. (2006), em trabalho sobre atributos físicos e teor de COT em Argissolo Vermelho sob distintos sistemas de uso e manejo, também verificaram que a D_s aumentou em profundidade, independentemente do sistema de manejo, e apresentou correlação negativa com o teor de COT, possivelmente por influência dos constituintes orgânicos na agregação do solo.

Em trabalho avaliando a variabilidade espacial e temporal de atributos do solo e sua relação com a composição da uva para vinificação no planalto catarinense, Luciano (2012) encontrou valor médio de D_s em Cambissolo Húmico de 0,76 g cm^{-3} e no Cambissolo Háplico de 1,09 g cm^{-3} em ambas as camadas (0 a 15 e 15 a 30 cm), sem diferenças entre as duas camadas.

Em outro trabalho em Cambissolo Háplico, Rosa et al., (2009) observou valores de D_s variando de 0,97 a 1,35 Mg m^{-3} nas camadas 0-5 e 5-10 cm e os maiores na entrelinha em relação à linha de plantio (Tabela 36). Os valores médios de D_s estiveram dentro dos limites relatados por Amaro Filho et al. (2008), o qual afirmaram que para solos com elevados teores de carbono na camada superficial a densidade situa-se entre 0,75 a 1,00 Mg m^{-3} e para solos argilosos situa-se entre 1,00 a 1,25 Mg m^{-3} . Portanto, os valores observados não ocasionam efeitos danosos ao desenvolvimento radicular das videiras (Tabela 36).

Tabela 36. Valores médios de areia grossa (Ag), areia fina (Af), silte (St), argila (Ar), densidade do solo (Ds), resistência à penetração (Rp), porosidade total (Pt), macroporosidade (Mp) e microporosidade (mp), nas profundidade de 0 a 20 e 20 a 40 cm, em propriedades vitícolas localizadas na região de rochas sedimentares.

Propr.	Prof. cm	-----g kg ⁻¹ -----					Ds g cm ⁻³	Rp MPa	-----cm cm ⁻³ -----			
		Ag	Af	At	St	Ar			Pt	Mp	mp	
1	0 a 20	163	134	297	468	235	0,83	0,50	0,63	0,41	0,22	
1	20 a 40	122	130	252	449	300	1,11	1,20	0,57	0,24	0,33	
2	0 a 20	180	161	341	310	350	0,87	0,85	0,64	0,37	0,27	
2	20 a 40	153	142	295	321	385	1,08	1,77	0,67	0,36	0,31	
3	0 a 20	172	127	299	412	290	0,95	0,87	0,67	0,39	0,28	
3	20 a 40	116	101	216	414	320	1,09	0,92	0,65	0,32	0,33	
4	0 a 20	150	140	290	381	330	0,98	0,82	0,71	0,42	0,29	
4	20 a 40	135	94	229	362	410	1,09	1,29	0,62	0,28	0,34	
5	0 a 20	59	236	297	217	486	0,51	1,29	0,38	0,19	0,19	
5	20 a 40	46	249	295	361	344	0,67	2,00	0,41	0,18	0,23	
6	0 a 20	90	193	283	533	185	0,86	1,29	0,41	0,22	0,19	
6	20 a 40	63	139	202	589	210	1,02	2,00	0,44	0,21	0,23	

Nas propriedades de 1 a 4 foram encontrados valores de porosidade total (Pt) referidos como ideais para a maioria das culturas, ou seja, superiores a 50 % nas duas camadas avaliadas (Tabela 36). Nas propriedades 5 e 6 foram quantificados menores valores de Pt, variando de 38 a 44 %.

Em relação à macroporosidade (Mp), observa-se que os maiores valores ocorreram na camada superficial e são superiores a 0,10 cm³ cm⁻³, percentual indicado como mínimo para o adequado fluxo de ar e de água através do perfil (Hillel, 1998). Os macroporos são mais sensíveis aos efeitos dos sistemas de preparo, com mobilização do solo nos vinhedos após o plantio das mudas e tráfego de máquinas na realização dos tratamentos culturais (Tormena et al., 1998). Em estudo realizado em um vinhedo em Bento Gonçalves (RS), em Cambissolo Háplico Rosa et al., (2009) observou redução na macroporosidade (bioporos) na entrelinha em comparação à linha de plantio e em profundidade. O autor atribuiu este resultado à compactação causada pelo intenso trânsito de máquinas agrícolas.

A menor quantidade de macroporos no Cambissolo Háplico em relação ao Cambissolo Húmico é explicada pelos atributos do solo que determinam a porosidade total.

O volume de microporos foi maior em profundidade, entretanto com valores na maioria dos casos menor que os macroporos, devido aos elevados teores de areia. Os valores variaram de 0,19 cm³ cm⁻³ na camada de 0 a 20 das propriedades 5 e 6 a 0,34 cm³ cm⁻³, na camada de 20 a 40 cm da propriedade 4.

Entretanto, Luciano (2012) observou maiores valores médios em um Cambissolo Húmico (0,46 cm³ cm⁻³) em comparação a um Cambissolo Háplico (0,40 e 0,41 cm³ cm⁻³), nas duas camadas, e afirmam que o maior teor de COT favoreceu a estruturação do solo, aumentando tanto a macro como a microporosidade, concluindo que não existia restrição na estrutura do solo coletado na linha da videira (local de grande crescimento radicular) na área de estudo.

A relação mp/Mp na maioria das propriedades indica condições adequadas para o desenvolvimento das culturas agrícolas, apresentando-se dentro do valor considerado ideal, que é de 2:1 (Brady & Weil, 2013).

Quanto maior a proporção de microporos de um solo em relação aos macroporos, menor será a infiltração de água e pior o arejamento, como observado na camada de 20 a 40 cm para as propriedades 1, 5, 4, 6 e 3, cuja relação é inferior a um (1,0).

A resistência à penetração apresenta padrão inverso com a variação da umidade volumétrica do solo (Genro Junior et al., 2004), motivo pelo qual é importante a padronização da umidade quando da conferência deste atributo. Para diversas culturas os valores acima dos 2 MPa são considerados limitantes para o crescimento das raízes (Taylor et al., 1966). Para a cultura da videira, solos onde os valores de R_p ultrapassam os 3,0 MPa próximos da superfície, reduzem a produção e o crescimento da videira (Echenique et al., 2007). Os autores verificaram que valores superiores a este limite conduzem a redução no rendimento, na área foliar e na massa de material podado da cultura.

A alta frequência de tráfego dos implementos agrícolas é uma causa frequente da compactação e deterioração da estrutura do solo, onde incrementos na R_p aumentam a energia necessária para o desenvolvimento das raízes das plantas e diminuem o crescimento radicular (Lipiec & Hatano, 2003). O aumento da R_p em solos cultivados tem sido verificado com o maior tráfego de máquinas agrícolas, com tendência de aumento da R_p com a maior intensidade do tráfego (Elaoud & Chehaibi, 2011).

Trabalhando com levantamentos de solos em vinhedos, nas principais áreas produtoras do sudeste e oeste da Austrália, Myburgh et al. (1991) associaram, muitas vezes, o menor rendimento e a menor qualidade na composição da uva com a restrição ao desenvolvimento radicular. Em estudo com uvas viníferas na Argentina em solo classificado como Aridisol, Aparian et al. (2006) observaram que a profundidade, a espessura e a resistência à penetração de horizontes compactados afetaram a produção, com maior influência nos atributos de rendimento do que nos atributos de composição das uvas.

Trabalhando com diferentes variedades viníferas nos solos siltosos do sul da Argentina, Echenique et al. (2007) constataram que a produção das cultivares estava associada com os atributos do solo. Nas três cultivares do estudo, o rendimento, a área foliar e a massa dos ramos podados por planta foram reduzidos quando o solo tinha horizontes extremamente duros, com resistência à penetração superior a 3,0 MPa próximos a superfície (35 cm ou menos), o que permitiu caracterizar estes solos como de baixo potencial vitícola.

A R_p nas propriedades avaliadas neste estudo aumentou até a profundidade de 40 cm. Os maiores valores foram observados nas propriedades 5 e 6, variando de 1,29 a 2 MPa, mesmo assim classificada como moderada ($1,0 \leq R_p < 2,0$ MPa). Na camada de 0 a 20 cm das propriedades 1, 2, 3 e 4 e na camada de 20 a 40 cm da propriedade 3 a R_p foi classificada como baixa ($0,1 \leq R_p < 1,0$ MPa).

A menor R_p está relacionada à estrutura do solo, menos densa e mais porosa devido ao maior teor de COT que favorece a agregação. Assim, constatou-se que em todas as propriedades as médias de R_p estiveram abaixo do valor crítico (3,0 MPa) definido por Echenique et al. (2007) para a cultura da videira. É importante considerar que a R_p pode superar este valor crítico em determinados períodos do ano nos quais a umidade do solo é baixa. Ainda, em culturas perenes as raízes crescem mais nos períodos de maior umidade, nos quais a resistência à penetração é menor.

Na avaliação multivariada observou-se na distancia euclidiana de 10 a formação de 3 grupos distintos entre as 6 propriedades, com pequenas diferenças entre as camadas de 0 a 20 e de 20 a 40 cm. As propriedades de 1 a 4 apresentam maior similaridade entre si, formando um grupo e a propriedade 5 e a 6 formam grupos isolados nas duas profundidades, mas apresentando similaridade com as demais nessa distancia euclidiana, sendo essas as que possuem a menor qualidade física entre as propriedades avaliadas (Figura 19).

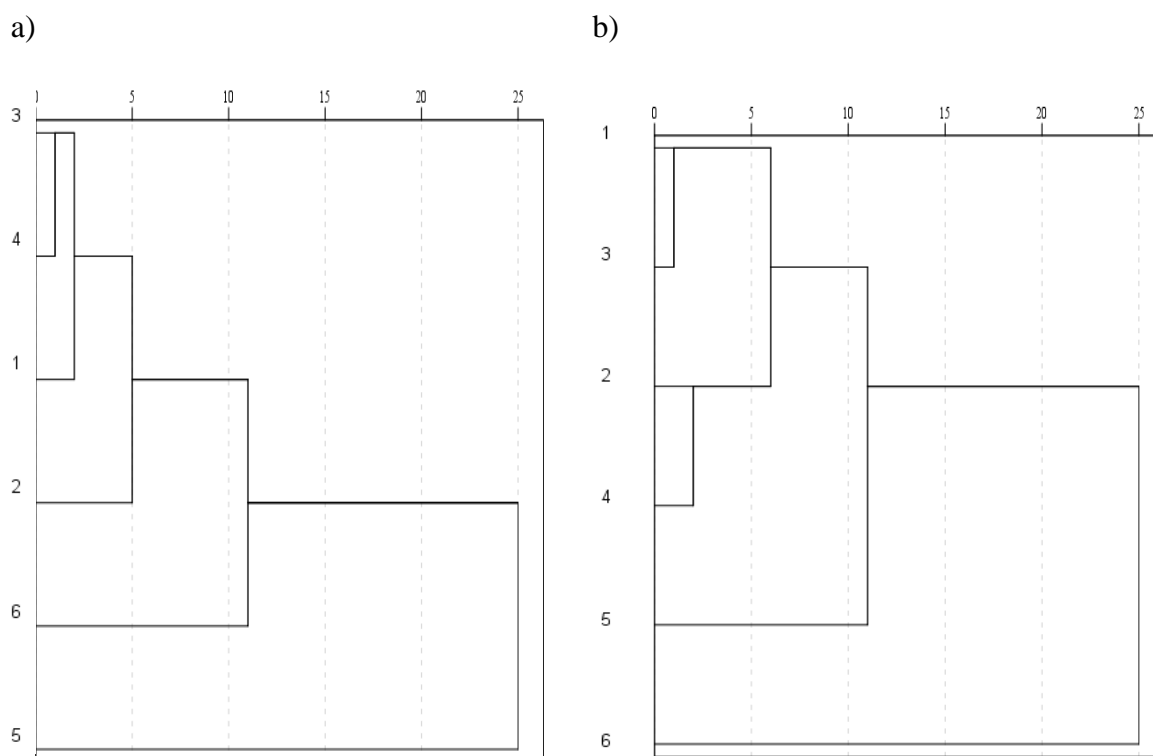


Figura 19. Dendrograma dos atributos físicos das propriedades vitícolas localizadas na região de rochas sedimentares, nas profundidades: a) 0 a 20 cm e b) 20 a 40 cm.

6.5.2. Solos Originados de Riodacitos

6.5.2.1. Atributos químicos

Os valores de pH apresentam-se dentro dos considerados adequados para a cultura da videira, sendo que em grande parte das camadas encontram-se acima de 5,5, sendo observados valores até 6,9 (Tabela 38).

Os valores mais baixos foram constatados na camada de 20 a 40 cm na propriedade 7, onde se observou valor de pH de 4,5. As propriedades 13 e 16 também apresentaram baixos valores na camada de 20 a 40 cm e a propriedade 18 apresentou valores inferiores a 5,5 a partir dos 5 cm de profundidade (Tabela 38).

Os baixos valores de pH, indicando a acidez do solo, reduzem a atividade da enzima redutase do nitrato, responsável pela assimilação de nitrogênio nos vegetais, além de diminuir a concentração de clorofilas, pigmentos cloroplastídicos, responsáveis pela etapa fotoquímica da fotossíntese (Carlin et al., 2012). O nitrogênio é melhor aproveitado pela planta em solos com valores de pH superiores a 5,5. A disponibilidade máxima verifica-se na faixa de pH do solo entre 6 e 6,5. Acima destes valores ocorre a redução da disponibilidade. O fósforo tem melhor disponibilidade para as culturas em valores de pH entre 6 a 6,5 já o potássio tem sua maior eficiência em pH do solo maior que 5,5.

Os baixos valores de pH relacionam-se a elevados teores de Al, sendo observado 5 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ na propriedade 7 e 3,8 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ na propriedade 13.

Os teores altos de Al trocável podem ser variáveis, quantitativamente, para cada tipo de solo, em função da sua composição química e mineralógica, e estágio de intemperização. Tendo em vista a existência, de solos com conteúdos extremamente altos de alumínio

extraível com solução tradicional de KCl 1 mol L⁻¹ nas regiões vitícolas, e desta forma sendo recomendadas elevadas calagens, surgem às dúvidas e questionamentos se todo o Al quantificado por este extrator constitui realmente as formas trocáveis deste elemento.

Os maiores valores de P, considerados muito altos (CQFS RS/SC, 2004), foram quantificados nas propriedades 7 e 11, tanto na camada de 0 a 5 como de 5 a 10 cm. A propriedade 20 apresentou valores elevados em todas as camadas, inclusive de 20 a 40 cm, onde foram quantificados valores de 19 mg dm⁻³ (Tabela 38).

Em estudo realizado em vinhedos com 4 e 15 anos de idade, localizados no município de Urussanga, SC, Schmitt et al. (2013), concluíram que as aplicações excessivas de fertilizantes fosfatados na adubação de pré-plantio e de manutenção em vinhedos, principalmente nos vinhedos com maior tempo de cultivo, aumentaram o teor de fósforo até a camada 20 cm.

Em contrapartida as propriedades 10, 24 e 21 apresentaram valores baixos, inclusive a camada superficial, não ultrapassando a 7 mg dm⁻³. Entretanto os menores valores foram observados na profundidade de 20 a 40 cm, visto que o fósforo é pouco móvel no solo.

Essa constatação reforça a ocorrência de diferentes formas de adubação entre os produtores da mesma região, o que pode dificultar a similaridade entre as propriedades, para a implantação de IG. Diante disto, é necessário enfatizar aos produtores a importância da fertilização, padronizando a quantidade a ser aplicada, com base nas análises de solos para cada vinhedo. Um dos fatores limitantes está no fato de que o manual de recomendação de adubação para os estados do RS e SC, não apresentar especificações quanto à adubação para videiras europeias produzidas nessa região com condições edafoclimáticas específicas.

A falta desta recomendação gera uma grande insegurança nos produtores, os quais utilizam muitas vezes as recomendações feitas pelas empresas revendedoras de fertilizantes, cujos critérios utilizados, não são necessariamente os mais adequados para a região ou espécies. Como resultado desta situação, tem-se observado o aumento da concentração de nutrientes nos solos, principalmente do fósforo.

Apesar da videira não ser uma planta exigente em fósforo (Dal Bó, 1992), este nutriente tem importância na formação da copa, na frutificação, no desenvolvimento das raízes, além de favorecer a fermentação do mosto (Souza, 1996) e acentuar o aroma e o sabor dos vinhos (Regina et al., 2006).

Tabela 37. Propriedades da região de São Joaquim, quanto à altitude média (AM), tipo climático (TC), área plantada total (AP), setores (ST), variedades (VR), área plantada por variedade (AV), ano de implantação (AI) e espaçamento entre plantas.

Propr.	AM	TC	ÁP	ST	VR	ÁV	AI	EP
7	1.279	4A	4,6	16	OT	4,6	2010	0,7x2,4
8	1.281	4A	12,9	17	CD	1,8	2011	0,8x2,3
					CD	0,6	2007	0,8x2,3
					SB	0,4	2007	0,8x2,3
					CS	4,4	2005	0,8x2,3
					CS	5,0	2012	0,8x2,3
					PN	0,3	2004	0,8x2,3
					ML	0,4	2004	0,8x2,3
9	1.280	4A	20,2	12	ML	1,1	2003	1,3X3,0
					CS	6,1	2002	1,3x3,0
					CS	7,2	2003	1,3x3,0
					PN	1,2	2012	1,3X3,0
					CD	0,8	2005	1,3X3,0
					SB	2,3	2005	1,3x3,0
					OT	1,6	2012	1,3x3,0
10	1.288	4A	16,9	19	CS	3,5	2006	1,3X3,0

Propr.	AM	TC	ÁP	ST	VR	ÁV	AI	EP
					CS	1,6	2005	1,2X3,0
					OT	7,9	2005	1,2X3,0
					CD	1,3	2006	1,5X3,0
					SB	0,9	2006	1,5X3,0
					PN	1,7	2006	1,5X3,0
11	1.319	5	11,9	10	CS	2,8	2002	1,3X3,2
					CS	1,5	2003	1,3X3,2
					ML	1,3	2002	1,3X3,2
					CD	1,8	2011	1,3X3,2
					SB	1,1	2011	1,3X3,2
					OT	3,4	2012	1,3X3,2
12	1.302	5	26,2	35	SB	1,1	2004	1,2X3,0
					SB	1,1	2006	1,2X3,0
					CS	13,7	2002	1,2X3,0
					CD	1,8	2011	1,2X3,0
					ML	2,9	2002	1,2X3,0
					PN	0,5	2002	1,2X3,0
					OT	5,0	2002	1,2X3,0
13	1.275	5	5,6	12	CS	3,1	2005	1,3X2,9
					ML	1,5	2005	1,3X2,9
					CD	0,9	2005	1,3X2,9
14	1.274	5	2,9	6	PN	0,1	2008	1,0X2,8
					OT	2,8	2008	1,0X2,2
15	1.319	5	18,1	14	OT	1,9	2009	1,3X2,8
					OT	3,4	2011	1,3X2,8
					SB	2,8	2006	1,3X2,8
					SB	0,9	2010	1,3X2,8
					CS	2,0	2005	1,3X2,8
					ML	2,3	2005	1,3X2,8
					PN	4,8	2011	1,3X2,8
17	1.252	5	1,7	8	ML	0,5	2008	0,8X2,8
					ML	0,2	2006	1,0X3,5
					CS	0,4	2006	1,0X3,5
					OT	0,6	2008	1,0X3,5
18	1.164	5	2,9	3	CS	2,4	2005	1,5X3,0
					PN	0,2	2005	1,5X3,0
					CD	0,3	2003	1,5X3,0
19	1.355	5	1,4	4	CS	1,0	2004	1,5X3,5
					ML	0,3	2004	1,5X3,5
					SB	0,1	2004	1,5X3,5
20	1.438	4A	5,5	9	SB	0,4	2006	1,2X3,0
					SB	1,5	2012	1,2X3,0
					CS	0,4	2001	1,2X3,0
					CS	1,6	2006	1,2X3,0
					ML	1,6	2006	1,2X3,0
21	1.307	4A	2,2	12	ML	1,1	2005	1,5X3,3
					PN	0,2	2005	1,5X3,3
					CS	0,8	2004	1,5X3,3
					OT	0,1	2005	1,5X3,3
22	1.136	5	10,2	12	ML	3,1	2005	1,4X2,7
					PN	0,6	2006	1,4X2,7
					CS	3,8	2003	1,2X2,9
					CS	2,7	2001	1,2X3,2
23	1.228	4A	15,0	14	CS	2,5	2001	1,5X3,2
					CS	2,5	2000	2,0X3,2
					ML	1,5	2010	1,5X3,5
					PN	2,1	2006	1,5X3,5
					OT	2,8	2006	1,5X3,5
					CD	1,1	2000	1,5X3,5

Propr.	AM	TC	ÁP	ST	VR	ÁV	AI	EP
24	1.135	4A	14,5	14	SB	2,5	2007	1,5X3,5
					CS	9,9	2004	1,2X3,2
					CD	1,9	2008	1,1X2,9
					SB	0,8	2007	1,2X3,2
					ML	1,9	2004	1,2X3,2

Em estudo avaliando as influências dos fatores edafoclimáticos nas uvas e vinhos Cabernet Sauvignon de diferentes polos vitícolas do Rio Grande do Sul, González (2005) observou ampla variação entre os vinhedos, em que a concentração de fósforo variou entre 4,3 e 53 mg dm⁻³, e a de potássio, entre 78 e 254 mg dm⁻³.

Neste estudo, assim como o fósforo, o potássio também apresentou valores elevados. A propriedade 25 apresentou os valores de 592 mg dm⁻³ na camada de 0 a 5 cm e 296 mg dm⁻³ na camada de 20 a 40 cm. Valores acima de 500 mg dm⁻³ na camada superficial também foram observados nas propriedades 18 e 20. Após 11 anos de estudos com três níveis de adubação potássica, Conradie & Saayman (1989) concluíram que não há ganho significativo em produção pelo aumento da disponibilidade de potássio acima do nível de deficiência. Além disso, estes autores relataram que o ganho em produtividade parece estar mais ligado ao aumento no tamanho das bagas do que no aumento no número de cachos.

Tabela 38. Valores médios de pH, P, K, MO, Al, CTC, Zn e Cu, nas profundidade de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 e 20 a 40, em propriedades vitícolas localizadas na região de rochas ígneas ácidas.

Propr. n°	Prof. cm	pH	P	K	MO	Al	CTC	Zn	Cu
		H ₂ O	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	g kg ⁻¹	cmolmg ⁻³	pH 7.0	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³
7	0 a 5	6,5	115	284	57	0,2	18,3	147	221
	5 a 10	6,4	115	119	56	0,4	17,7	74	145
	10 a 20	5,5	22	58	50	0,8	13,7	65	119
	20 a 40	4,5	6	29	36	5,0	10,7	60	104
8	0 a 5	6,8	13	370	43	0,0	16,0	89	241
	5 a 10	6,8	10	338	40	0,0	14,7	75	159
	10 a 20	6,6	11	194	42	0,0	15,0	71	98
	20 a 40	6,6	8	94	36	0,0	11,4	66	101
9	0 a 5	6,9	28	339	57	0,0	20,9	113	198
	5 a 10	6,8	13	271	53	0,0	18,8	89	145
	10 a 20	6,4	10	179	48	0,0	16,8	66	114
	20 a 40	6,3	11	146	45	0,3	15,5	71	106
10	0 a 5	6,6	7	231	30	0,0	15,2	77	213
	5 a 10	6,7	11	124	33	0,0	15,6	51	165
	10 a 20	6,6	10	81	31	0,0	15,0	42	149
	20 a 40	6,1	8	63	31	0,7	12,2	54	151
11	0 a 5	6,5	71	263	61	0,0	20,6	159	221
	5 a 10	6,6	59	159	62	0,0	20,6	83	129
	10 a 20	6,3	17	106	58	0,0	19,6	75	134
	20 a 40	6,2	10	68	57	0,0	17,6	54	141
12	0 a 5	6,5	15	246	44	0,0	20,3	162	344
	5 a 10	6,7	11	103	45	0,0	19,5	94	159
	10 a 20	6,6	7	72	51	0,0	18,8	54	114
	20 a 40	6,3	6	69	51	0,0	17,0	62	118
13	0 a 5	6,5	13	312	58	0,0	19,6	184	279
	5 a 10	5,8	9	148	52	0,0	15,9	92	201
	10 a 20	5,8	6	80	46	0,0	16,8	71	152
	20 a 40	4,9	7	38	36	3,8	15,8	51	114
14	0 a 5	6,3	53	287	44	0,0	22,0	123	211
	5 a 10	6,5	21	141	46	0,0	22,9	89	125

Propr. n°	Prof. cm	pH H ₂ O	P mg dm ⁻³	K mg dm ⁻³	MO g kg ⁻¹	Al cmolmg ⁻³	CTC pH 7.0	Zn mg dm ⁻³	Cu mg dm ⁻³
15	10 a 20	6,4	18	92	47	0,0	22,4	89	98
	20 a 40	5,7	15	70	52	0,0	19,4	75	112
	0 a 5	6,8	42	210	47	0,0	18,9	77	88
	5 a 10	6,4	17	125	47	0,0	16,9	89	75
16	10 a 20	6,1	16	81	45	0,0	15,6	51	79
	20 a 40	6,0	14	86	44	0,0	16,2	56	71
	0 a 5	6,8	12	256	36	0,0	21,5	83	104
	5 a 10	5,9	9	84	32	0,6	19,7	72	95
17	10 a 20	5,8	8	59	36	0,6	17,2	51	89
	20 a 40	5,2	7	47	35	1,0	13,5	49	85
	0 a 5	5,6	22	308	48	0,0	14,5	165	305
	5 a 10	5,6	11	210	50	0,0	12,3	82	159
18	10 a 20	6,1	7	156	50	0,0	14,0	71	114
	20 a 40	5,9	5	68	43	0,0	12,1	52	104
	0 a 5	5,3	9	536	42	0,0	14,9	89	103
	5 a 10	5,0	8	412	36	0,6	14,1	51	97
19	10 a 20	5,3	6	264	30	0,0	13,3	56	92
	20 a 40	6,2	5	116	30	0,0	15,5	41	82
	0 a 5	5,6	14	172	46	0,0	17,6	139	98
	5 a 10	5,4	14	84	47	0,0	19,2	77	95
20	10 a 20	5,9	12	64	43	0,0	18,6	61	89
	20 a 40	5,9	8	56	37	0,0	17,5	45	73
	0 a 5	5,6	39	509	57	0,0	20,1	189	229
	5 a 10	5,9	40	296	52	0,0	18,6	111	154
21	10 a 20	6,0	28	297	47	0,0	16,8	89	125
	20 a 40	5,9	19	203	43	0,2	13,4	71	111
	0 a 5	6,2	6	324	47	0,0	19,1	125	212
	5 a 10	6,1	7	146	41	0,0	17,0	71	189
22	10 a 20	6,2	6	90	41	0,0	18,2	65	131
	20 a 40	6,2	5	48	38	0,0	16,3	51	102
	0 a 5	6,6	16	224	53	0,0	18,7	145	185
	5 a 10	6,6	15	116	50	0,0	16,8	71	136
23	10 a 20	6,3	9	69	46	0,0	14,6	89	114
	20 a 40	5,9	8	67	44	0,0	13,9	51	109
	0 a 5	6,5	11	226	43	0,0	18,7	114	175
	5 a 10	6,3	8	134	46	0,0	17,8	81	135
24	10 a 20	6,1	7	96	47	0,0	16,8	65	114
	20 a 40	6,1	6	98	47	0,0	15,9	46	126
	0 a 5	6,5	6	240	39	0,0	16,0	79	103
	5 a 10	6,4	7	141	46	0,0	16,4	51	98
25	10 a 20	6,0	5	97	44	0,1	17,1	56	105
	20 a 40	5,9	5	147	45	0,1	14,8	42	104
	0 a 5	5,8	19	592	49	0,0	17,5	77	89
	5 a 10	5,7	15	356	46	0,0	15,3	51	75
25	10 a 20	6,2	15	332	44	0,0	17,0	52	74
	20 a 40	6,6	24	296	39	0,0	16,1	45	66

Poucas camadas apresentaram valores de potássio abaixo de 60 mg dm⁻³, considerado baixo (CQFS RS/SC, 2004), observados nas camadas abaixo de 10 cm das propriedades 7 e 16 e na camada de 20 a 40 cm das propriedades 13, 19 e 21.

Os valores de MO são elevados, sendo que os menores observados foram de 30 g kg⁻¹. As propriedades com menores valores foram a 10, 16 e 18 e os maiores valores foram observados na propriedade 11, variando entre 57 e 62 g kg⁻¹ entre todas as camadas avaliadas. Os elevados teores de MO observados nas regiões produtoras de SC, aliados à elevada disponibilidade hídrica, fertilizações e a prática da calagem para correção da acidez na

implantação dos vinhedos, favorecem a atividade microbiana e, com isso, aumenta a mineralização da MO que, por consequência, reflete na disponibilidade de N-NH_4^+ e N-NO_3^- (Zalamena, 2012).

A alta disponibilidade de N no solo influenciam a composição do vinho, podendo favorecer a abundância deste elemento no mosto, estimulando a multiplicação e atividade da biomassa microbiana, com efeito direto sobre a taxa e o tempo de fermentação (Bell & Henschke, 2005).

A maior parte da CTC do solo ficou com valores superiores a $15 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, sendo considerada alta (CQFS RS/SC, 2004). Os menores valores foram observados na camada de 20 a 40 cm das propriedades 7, 8, 10 e 17 (Tabela 38). Os maiores valores (superiores a $20 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) ocorreram nas 3 camadas superficiais da propriedade 14 e na camada de 0 a 5 cm das propriedades 9, 11, 12, 16 e 20 (Tabela 38).

Os micronutrientes também apresentaram valores elevados, superiores a 100 mg dm^{-3} para o zinco na camada superficial das propriedades 7, 9, 11, 12, 13, 14, 17, 19, 20, 21, 22, e 23, o que provavelmente é reflexo das adubações, visto que os valores são superiores aos observados no perfis de solos relacionados.

Para o cobre os menores valores foram observados nas propriedades 15, 19 e 25, com valores inferiores a 100 mg dm^{-3} e os maiores valores na camada superficial das propriedade 12 e 17 com valores que ultrapassaram os 300 mg dm^{-3} , indicando valores bem elevados nestes vinhedos.

Estes elevados valores estão relacionados à maciça aplicação de defensivos agrícolas a base de Cu na busca do controle das doenças da videira, cujo aparecimento é favorecido pelas condições de clima com elevada disponibilidade hídrica e as fertilizações que promovem elevado crescimento vegetativo das videiras que, nestes casos, apresentam vigor excessivo da parte aérea, diminuindo a incidência de raios solares no interior do dossel, favorecendo o aparecimento de doenças fúngicas (Duchêne et al., 2001).

Tais fungicidas têm sido amplamente utilizados devido a sua eficácia e baixo custo. Porém, a sua utilização por longos períodos tem sido a causa de contaminação de antigos vinhedos que, muitas vezes, têm sido abandonados devido à inviabilidade de cultivo nessas condições (Fernández-Calviño et al., 2008).

O excesso de adubações e o grande número de aplicação de fungicidas são fatores que aumentam os custos de produção do vinhos. Tratam-se de pequenos produtores com área de vinhedos entre 1,4 e 26,2 ha, caracterizando desta forma, produtores com diferentes sistemas de produção, alguns que vinificam o seu próprio vinho, enquanto outros apenas produzem as uvas e realizam a vinificação em outros locais.

Na análise multivariada através da verificação do dendrograma, observou-se que existem pequenas diferenças entre as propriedades vitícolas nas diferentes camadas de solo avaliadas, entretanto, observa-se similaridade entre a maioria delas, em uma curta distancia euclidiana.

Na camada de 0 a 5 cm na distancia euclidiana de 5, observa-se a formação de 2 grupos distintos (Figura 20a). O primeiro e maior, onde se encontram o maior número das propriedades, destacando as propriedades vitícolas 22, 23, 10, 24, 12, 16 e 15 nessa ordem que apresentaram a maior similaridade nessa região e o segundo, onde estão as propriedades 25, 20 e 18 que apresentam as menores similaridades, onde se destacam os valores elevados do K nessas propriedades.

Na camada de 5 a 10 cm (Figura 20b), na distância euclidiana de 5 forma-se 4 grupos distintos, demonstrando uma menor similaridade nessa camada. A maior similaridade ocorre no primeiro grupo entre as propriedades 21, 24, 13, 23, 14, 10, 15, 22 e 12. A propriedade 7 forma o segundo grupo, unindo-se ao primeiro grupo na distancia euclidiana de 7. O grupo

com menor similaridade está nas propriedades 17, 20 e 9, seguido pelo grupo das propriedades 18, 25 e 8.

Na profundidade de 10 a 20 cm observa-se a formação de 3 grupos na distância euclidiana de 5, sendo que no grupo de menor similaridade observa-se nas propriedades 18, 20 e 25, como já havia sido observado na camada de 0 a 5 cm. Nessa profundidade verifica-se no primeiro grupo grande similaridade entre 13 propriedades, demonstrando que essas propriedades têm grande potencial para a formação de áreas de IG, garantindo tipicidade em relação ao fator química do solo.

Na profundidade de 20 a 40 cm, novamente se observa a formação de 3 grupos na distância euclidiana de 5, destacando a propriedade 25 que se distingue das demais propriedades, como a com menor similaridade, mostrando diferenças substanciais para as demais. Ela possui elevação de pH em profundidade, chegando a 6,6 nessa camada e teores bem elevados de K em todas as camadas, diferenciando essa propriedade pelo excesso de adubação.

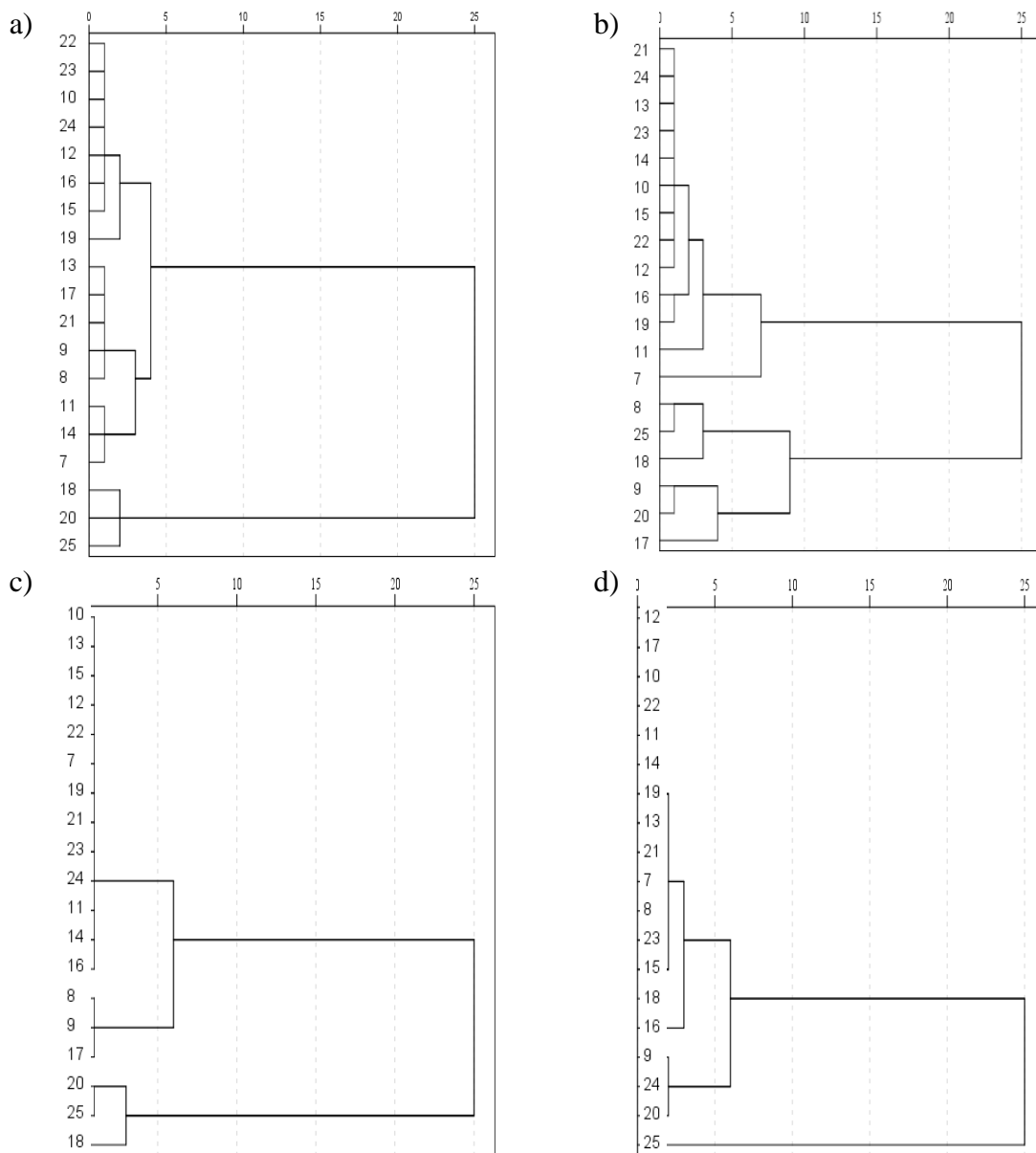


Figura 20. Dendrograma: a) 0 a 5 cm; b) 5 a 10 cm; c) 10 a 20 cm e d) 20 - 40 cm.

6.5.2.2. Atributos físicos

Os teores de argila dos solos desta região são altos, e estão associados principalmente ao material de origem, aliados à posição na paisagem e ao clima, que proporcionaram no solo maior grau de intemperismo e maior teor de argila. Teske (2010), atribui os maiores teores de argila e os menores teores de areia nos Cambissolos originários de riodacito à maior destruição dos minerais essenciais das rochas formando argilominerais e óxidos.

Os menores valores de argila foram observados nas propriedades 25 e 16 inclusive nas profundidades de 20 a 40. Nessas propriedades os valores variaram de 290 a 340 g kg⁻¹ (Tabela 39). Estes valores mais baixos de argila estão associados aos valores mais elevados de silte que alcançou 500 g kg⁻¹ na profundidade de 20 a 40 da propriedade 16.

Os valores de areia total variaram de 131 a 314 g kg⁻¹, sendo maiores na camada de 0 a 20 e menores na camada de 20 a 40 cm. Os valores de areia grossa foram maiores que os de areia fina em todas as propriedades e nas duas camadas avaliadas (Tabela 39), o que favorece a agregação destes solos, devido ao elevado teor de argila.

As propriedades 25 e 16 também apresentaram os maiores valores de Ds, que juntamente com as propriedades 10, 12, 15, 17, 21 e 22 possuem valores superiores a 1,0 Mg m⁻³ na camada de 20 a 40 cm. Na camada superficial (0 a 20 cm) todas as propriedades apresentaram valores inferiores a 1,0, com menor valor (0,59 Mg m⁻³) observado na propriedade 14 (Tabela 39). Estes baixos valores estão relacionados aos elevados teores de MO destes solos, o que diminui a densidade, por efeito direto da maior agregação (Mello et al., 1983).

Além disto, estes valores relacionam-se também com a granulometria tendo sido observado que na camada superficial ocorre intenso crescimento de raízes. Assim, pode-se concluir com estes valores de Ds que as atividades de manejo com a cultura da videira não estão compactando os referidos solos, mesmo considerando as condições de grande umidade destas áreas.

Essa afirmativa é reforçada pelos valores de Rp que foram inferiores a 2 MPa, exceto na camada de 20 a 40 cm da propriedade 22 onde foi observado valor de 2,01, valor bem abaixo do valor crítico (3,0 MPa) definido por Echenique et al. (2007) para a cultura da videira.

Os valores de Pt foram elevados na maioria das propriedades, nas quais foram observados valores entre 50 e 82 %. Apenas nas propriedades 7, 8, 13 e 14 os valores foram inferiores a 50 %, variando de 44 a 48 % em ambas as camadas avaliadas.

Consequentemente, essas propriedades apresentaram os menores valores de Mp, mas mesmo assim com valores superiores a 18 %. A propriedade 15 que apresentou os maiores valores de Pt, apresentou macroporosidade muito elevada de 51 %.

Os valores de microporos (mp) variaram de 18 % na camada de 0 a 20 das propriedade 7 e 8 até 43 % na camada de 20 a 40 cm da propriedade 20.

Na maioria dos casos a relação mp/Mp foi superior a 1 na camada de 0 a 20 cm, e menor que 1 na camada mais profunda, concluindo que nestes solos ocorre uma maior permeabilidade inicial, reduzindo-se em profundidade.

Os resultados dos atributos físicos nessa região remetem a solos com boa disponibilidade de água o que influencia fortemente na concentração de açúcar na uva. Em solos com maior disponibilidade de água, o tamanho das bagas é maior, e o teor de açúcar é menor, pois ocorre competição dos carboidratos entre as bagas e a parte aérea (Van Leeuwen et al., 2009). Portanto, a concentração de açúcar na baga depende da cultivar (Borghazan et al., 2011), do solo e do clima (Lebon et al., 2006; Van Leeuwen et al., 2009).

Avaliando a variabilidade espacial e temporal de atributos químicos, físicos e o armazenamento de água de solos de altitude em experimento que foi realizado em um vinhedo

comercial, localizado em São Joaquim (SC), Luciano (2012) concluiu que a tráfego intenso de máquinas na realização dos tratos culturais, em diferentes condições de umidade do solo é o principal fator da compactação dos solos na região, entretanto a compactação é restrita entre às linhas da cultura.

Tabela 39. Média dos teores de areia grossa (Ag), areia fina (Af), silte (St), argila (Ar), densidade do solo (Ds), resistência à penetração (Rp), porosidade total (Pt), macroporosidade (Mp) e microporosidade (mp), nas profundidade de 0 a 20 e 20 a 40 cm, em propriedades vitícolas localizadas na região de rochas ígneas ácidas.

Prop.	Prof. cm	Ag	Af	At	Sl	Ag	Ds	Rp	Pt	Mp	mp
		-----g kg ⁻¹ -----					g cm ⁻³	MPa	-----cm cm ⁻³ -----		
7	0 a 20	246	67	314	268	418	0,62	0,95	0,48	0,30	0,18
7	20 a 40	168	61	229	279	492	0,70	1,47	0,44	0,19	0,25
8	0 a 20	161	54	216	306	478	0,71	1,79	0,44	0,26	0,18
8	20 a 40	139	50	189	274	537	0,82	1,68	0,44	0,20	0,24
9	0 a 20	140	52	192	374	434	0,72	1,16	0,77	0,49	0,28
9	20 a 40	104	52	156	338	507	1,00	0,96	0,65	0,33	0,31
10	0 a 20	167	65	233	368	399	0,90	0,92	0,76	0,47	0,29
10	20 a 40	128	62	190	340	471	1,06	1,24	0,68	0,33	0,35
11	0 a 20	247	59	304	336	360	0,60	1,07	0,50	0,29	0,21
11	20 a 40	182	48	232	325	443	0,73	1,55	0,51	0,21	0,30
12	0 a 20	183	64	246	384	370	0,93	1,15	0,71	0,40	0,31
12	20 a 40	173	57	228	383	388	1,04	1,55	0,61	0,27	0,35
13	0 a 20	170	60	230	415	355	0,64	1,46	0,46	0,23	0,23
13	20 a 40	130	48	178	360	462	0,76	1,47	0,44	0,18	0,27
14	0 a 20	166	42	208	387	385	0,59	1,10	0,47	0,26	0,21
14	20 a 40	100	44	144	400	456	0,66	1,27	0,45	0,19	0,26
15	0 a 20	239	52	294	358	348	0,88	1,12	0,82	0,51	0,31
15	20 a 40	170	55	224	386	390	1,01	1,74	0,62	0,31	0,31
16	0 a 20	161	78	239	441	320	0,96	1,32	0,64	0,31	0,33
16	20 a 40	100	60	160	500	340	1,09	1,77	0,61	0,28	0,33
17	0 a 20	120	83	203	446	351	0,90	1,10	0,68	0,33	0,35
17	20 a 40	103	90	192	397	411	1,05	1,80	0,61	0,24	0,37
18	0 a 20	145	52	197	313	490	0,75	0,62	0,72	0,49	0,22
18	20 a 40	162	73	235	285	480	0,95	1,66	0,63	0,36	0,27
19	0 a 20	158	63	221	479	300	0,76	0,67	0,65	0,35	0,30
19	20 a 40	173	74	247	343	410	0,93	0,60	0,62	0,27	0,35
20	0 a 20	164	84	248	435	317	0,83	0,92	0,68	0,38	0,30
20	20 a 40	77	54	131	470	399	0,99	1,09	0,70	0,27	0,43
21	0 a 20	142	58	200	395	405	0,96	1,34	0,70	0,35	0,34
21	20 a 40	109	44	153	393	455	1,04	1,51	0,64	0,28	0,36
22	0 a 20	130	50	180	392	428	0,80	0,91	0,66	0,45	0,21
22	20 a 40	112	48	161	386	453	1,01	2,01	0,60	0,33	0,28
23	0 a 20	170	72	243	394	413	0,87	0,76	0,67	0,43	0,24
23	20 a 40	153	70	223	361	466	0,96	1,02	0,65	0,34	0,31
24	0 a 20	163	52	216	382	452	0,88	0,74	0,72	0,45	0,27
24	20 a 40	132	53	185	300	515	0,88	0,74	0,74	0,41	0,33
25	0 a 20	185	82	267	443	290	0,79	0,96	0,60	0,36	0,24
25	20 a 40	128	65	193	487	320	1,10	1,49	0,52	0,19	0,33

Avaliando a variabilidade dos atributos físicos do solo em razão da posição de amostragem em relação à linha de plantio, em vinhedos comerciais da variedade Bordô em pé franco, submetidos a diferentes manejos da cultura, no município de Major Gercino (SC), Valois et al. (2014) concluíram que o maior estado de compactação do solo ocorreu no sentido da linha de plantio para a do rodado, com maiores alterações nos atributos relacionados à porosidade do solo nos dois vinhedos submetidos ao tráfego de máquinas, além de alterações na agregação, na estabilidade de agregados, na densidade do solo e na resistência à penetração.

Na análise multivariada dos atributos físicos do solo observou-se a formação de inúmeros grupos de similaridade, dependendo da distância euclidiana adotada (Figura 21). Da mesma forma que nas duas camadas, os padrões alteraram e a similaridade entre as propriedades observada na camada de 0 a 20 não se mantiveram na camada de 20 a 40. Este fato deve estar relacionado aos distintos manejos utilizados nas propriedades, refletindo nas diferenças entre a camada arável e a mais profunda.

Os dados observados são justificados principalmente pelo fato dos Cambissolos, classe dominante na produção de uva nessa região, possuir em muitos casos restrições, como a baixa profundidade efetiva do perfil associada à grande pedregosidade, e em alguns casos, afloramento de rochas.

Nos casos de elevada pedregosidade é necessária, quando da implantação dos vinhedos, mobilização do solo para retirada do excesso de pedras a fim de propiciar melhores condições para o cultivo. Vieira & Klein (2007) afirmam que, dentre os componentes de manejo, o preparo do solo é a atividade que mais influencia nos atributos físicos, por alterar sua estrutura podendo modificar variáveis a ela relacionadas.

Neste sentido, Klein & Libardi (2002), destacaram que o preparo inicial do solo ocasiona mudanças nos atributos físicos, como a densidade do solo, decorrente da modificação da sua estrutura, também afetando nas qualidades físico-hídricas fundamentais, como porosidade, retenção de água, disponibilidade de água às plantas e a R_p resultando em decréscimo na produtividade.

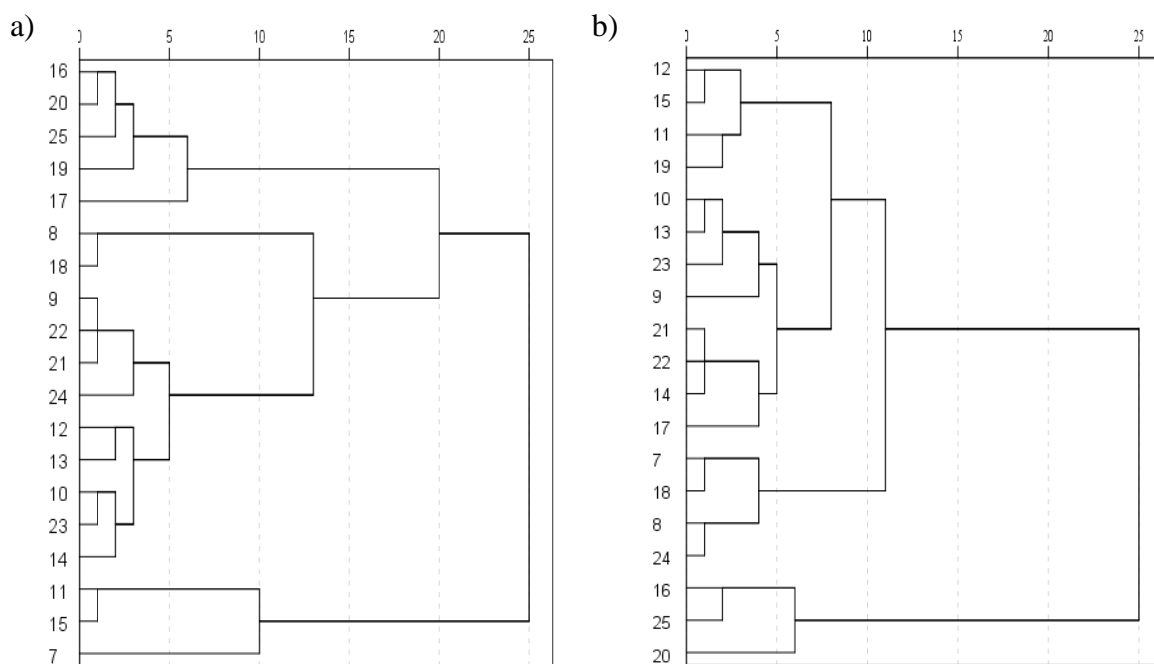


Figura 21. Dendrograma dos atributos físicos das propriedades vitícolas localizadas na região de rochas ígneas ácidas, nas profundidades: a) 0 a 20 cm e b) 20 a 40 cm.

6.5.3. Solos Originados de Basalto

6.5.3.1. Atributos químicos

As propriedades vitícolas localizadas em regiões de altitude no Meio Oeste Catarinense, localizam-se entre as altitudes 829 e 1.007 m (Tabela 40), apresentando tipo climático 3A (Braga & Guellere, 1999). A propriedade 40 diferencia-se das demais, apresentando altitude de 698 m e tipo climático 2C e, desta forma, não se enquadraria na denominação de região de altitude.

O tamanho das áreas dos vinhedos é pequeno variando de 0,5 a 9,2 ha, sendo que destas, 7 propriedades possuem áreas inferiores a 2 ha. O número de setores é baixo, reflexo tanto das pequenas áreas e da menor variedade de uvas produzidas, assim como a presença de relevo menos acidentado. Apesar de pequenas observa-se que em muitas propriedades ocorreu ampliação das áreas produzidas nos últimos anos.

Estes pequenos produtores não possuem matéria prima suficiente (uvas), para produção do seu próprio vinho. Desta forma, muitos levam seus produtos para cooperativas, que precedem a vinificação. As variedades de uvas, vindas de diferentes produtores, podem contribuir para a perda de tipicidade do produto de um ano para o outro.

Na avaliação dos atributos químicos, entre os produtores da região observa-se valor de pH do solo com valores dentro dos considerados adequados para a cultura da videira, sendo que, em grande parte das camadas, estão acima de 5,5, alcançando valores de 7,2 na camada superficial da propriedade 30 (Tabela 41). A propriedade 33 foi a que apresentou os menores valores de pH, inclusive na camada superficial, necessitando desta forma, a realização de calagem para melhorar os índices de produção.

A importância do pH para a videira está relacionada com a disponibilidade de nutrientes, o pH ácido pode indicar a presença excessiva de alumínio e manganês e, conseqüentemente, baixa capacidade de suprimento de nutrientes. Por outro lado, solos com pH alcalino podem apresentar problemas como disponibilidade de micronutrientes, principalmente zinco, boro e molibdênio.

No intuito de maximizar a disponibilidade de nutrientes, Melo (2003) indica trabalhar com o pH dos solos em torno de 6,0, pois, nessas condições, não são verificados níveis tóxicos de alumínio, nem problemas de indisponibilidade de micronutrientes.

Mesmo com a utilização da prática da calagem comentada pelo produtores, observou-se em alguns casos, elevados teores de Al^{+3} , com valor de $5,2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na profundidade de 20 a 40 cm na propriedade 40 e $3,7 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na profundidade de 10 a 20 cm da propriedade 33.

Os solos da região apresentam naturalmente baixos valores de fósforo. Entretanto, foram observados valores elevados deste elemento nas três primeiras camadas das propriedades 28, valores variando de 65 a 88 mg dm^{-3} . As propriedades 30, 36, 37, 40 e 41 apresentaram valores entre 29 e 52 mg dm^{-3} na camada de 0 a 5 cm e as propriedades 37 e 30 apresentaram na camada de 5 a 10 cm valores de 26 e 24 mg dm^{-3} respectivamente.

Estes valores podem ser atribuídos ao histórico de aplicação de fertilizantes fosfatados durante a implantação, adubação de pré-plantio e de manutenção e reforçam a ideia que as quantidades foram acima da demanda das plantas e, por isso, podem potencializar o risco de transferência do elemento via solução escoada na superfície do solo.

As recomendações de adubação para a viticultura no Brasil são feitas baseadas em dados de análise de solo e resultados experimentais obtidos, na maioria das vezes, em outros países, adaptados às condições locais. A adubação é um dos componentes do custo de produção e exerce grande influência na produtividade e qualidade da uva e conseqüentemente do vinho produzido (Giovaninni et al., 2001).

Em contrapartida aos valores excessivos, as propriedades 27, 33 e 38 apresentaram valores baixos, inclusive na camada superficial, não ultrapassando a 6 mg dm⁻³. Na propriedade 32 a camada de 20 a 40 cm apresentou valores de 2 mg dm⁻³ (Tabela 41).

Tabela 40. Propriedades vitícolas da região de basalto com sua altitude média (AM), tipo climático (TC), área plantada total (AP), setores (ST), variedades (VR), área plantada por variedade (AV), ano de implantação (AI) e espaçamento entre plantas.

Propr.	AM	TC	AP	ST	VR	ÁV	AI	EP					
26	934	3A	7,3	17	SB	1,3	2010	1,0x3,0					
					SB	0,7	2009	1,0x3,0					
					SB	0,2	2006	1,0x3,0					
					CD	0,5	2010	1,0x3,0					
					CD	0,6	2008	1,0x3,0					
					ML	0,9	2008	1,0x3,0					
					ML	0,3	2009	1,0x3,0					
					PN	0,4	2008	1,0x3,0					
					CS	1,4	2007	1,0x3,0					
					OT	0,9	2009	1,0x3,0					
27		3A	2,4	5	CS	0,5	2010	1,0x3,5					
					ML	0,1	2010	1,0x3,5					
					CD	0,5	2005	1,0x3,5					
					SB	0,8	2010	1,0x3,5					
					OT	0,5	2010	1,0x3,5					
28	829	3A	1,4	5	CS	0,1	2005	2,0X3,0					
					OT	1,3	2005	2,0X3,0					
					OT	7,9	2005	1,2X3					
29	972	3A	2,2	16	CS	0,4	2003	1,7X3,2					
					OT	0,8	2006	1,2X3,0					
					OT	1,0	2003	1,7X3,2					
30	863	3A	1,0	2	CS	0,5	2007	1,5X3,1					
					ML	0,5	2007	1,5X3,1					
31	912	3A	4,0	10	CS	1,4	2003	1,8X3,2					
					CS	0,6	2005	1,5X2,8					
					ML	1,0	2005	1,5X2,8					
					OT	0,2	2005	1,5X2,8					
					SB	0,3	2005	2,0X3,0					
					CD	0,5	2005	1,5X3,0					
					CS	1,0	2003	1,7X3,0					
32	970	3A	1,3	3	OT	0,3	2011	2,0X3,0					
					CS	0,3	2007	1,3X3,0					
33	885	3A	1,1	2	CS	0,8	2007	1,5X3,0					
					CS	0,5	2008	1,5X3,0					
34	848	3A	1,0	2	ML	0,5	2008	1,5X3,0					
					CS	1,9	2005	2,0X3,2					
35	899	3A	1,9	1	CS	1,9	2005	2,0X3,2					
36	926	3A	0,6	1	ML	0,6	2012	1,5X3,0					
37	969	3A	4,8	6	CD	0,4	2006	2,0X2,7					
					SB	1,4	2006	2,0X,2,7					
					OT	2,1	2012	2,0X3,0					
					CD	1,2	2010	1,3X2,8					
					CS	3,1	2004	1,3X2,8					
39	1.007	3A	9,2	20	CS	1,4	2005	1,3X2,8					
					ML	0,7	2004	1,3X2,8					
					ML	0,9	2005	1,3X2,8					
					SB	0,4	2005	1,3X2,8					
					OT	0,8	2005	0,8X2,8					
					CS	0,5	2005	1,5X3,0					
					40	698	2C	0,5	1	CS	0,5	2005	1,5X3,0
										CS	2,1	2000	1,6X3,0
41	849	3A	2,1	4	CS	2,1	2000	1,6X3,0					

O potássio na região de estudo, ao contrário do P, apresenta normalmente elevados teores. Mesmo assim, a reposição deste nutriente é realizada anualmente nos vinhedos em produção, uma vez que ocorre alta extração pelos frutos, para onde o K é remobilizado durante a maturação das bagas. Entretanto, com as adubações excessivas, os valores de K se tornaram ainda maiores, sendo verificado nas propriedades 34 e 36 valores superiores a 600 mg dm⁻³ na camada de 0 a 5 cm, e de 464 e 480 mg dm⁻³ na camada de 5 a 10 cm respectivamente. A propriedade 29 apresentou 544 mg dm⁻³ na camada superficial, assim como as propriedades 26, 38, 40 e 41 apresentaram valores superiores a 400 mg dm⁻³.

Assim, observa-se que parte do fertilizante que é aplicado ao solo necessariamente é absorvido e aproveitado pela cultura. Com a adubação, o teor trocável no solo elevou-se acima do recomendado atualmente pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo para a videira (CQFS RS/SC, 2004). Este excesso de potássio no solo ocasiona a redução da concentração de açúcares nas bagas, aumenta o pH do mosto e, conseqüentemente, pode resultar em um vinho de qualidade inferior.

Em trabalho que objetivou avaliar o efeito da adubação potássica sobre o teor de nutrientes no tecido, bem como em alguns componentes do rendimento, em Cabernet Sauvignon, Boonterm et al. (2010) encontraram aumento do nutriente no tecido quando foram aplicadas maiores doses de adubação potássica, mas não encontraram aumento de rendimento nas videiras.

O K é um dos macronutrientes mais absorvidos em videiras e, por isso, também um dos mais relacionados com a produtividade. Para a qualidade da uva, a absorção suficiente de K contribui no adequado amadurecimento dos frutos e aumenta a concentração de açúcares e dos constituintes relacionados a cores e aromas (Mpelasoka et al., 2003).

Os valores mais baixos foram observados nas quatro camadas da propriedade 33 com valores que variaram de 12 a 28 mg dm⁻³. Poucas camadas apresentaram valores abaixo de 60 mg dm⁻³, considerado baixo para CTC do solo superior a 15 cmol_c dm⁻³, observados nas propriedades 28, 30 e 31 na camada de 20 e 40 cm, como também nas camadas de 10 a 20 cm das propriedades 28 e 31 (Tabela 41).

Os valores de MO são elevados, entretanto a propriedade 35 apresentou os menores valores nas camadas de 10 a 20 (19 g kg⁻¹) e 20 a 40 cm (20 g kg⁻¹). A propriedade 37 apresentou valores abaixo de 30 g kg⁻¹ em todas as camadas avaliadas.

A propriedade 26 apresentou valores elevados nas 3 primeiras camadas, variando de 54 a 56 g kg⁻¹. Nas propriedades 32 e 40 também foram observados valores superiores a 50 g kg⁻¹ na camada superficial.

Os valores elevados destas propriedades indicam certo cuidado com a manutenção da cultura, visto que a MO é fonte de N. Esses solos com altos valores de MO, a adubação de manutenção com N é recomendada somente quando o crescimento vegetativo estiver abaixo do esperado.

O alto teor de MO do solo combinado às condições propícias à sua mineralização, como a ausência de alumínio, o pH favorável e a temperatura relativamente alta do verão, possibilitaram a alta disponibilidade N para as plantas.

O excesso de nitrogênio pode prejudicar a floração/frutificação, estimulando a competição entre a atividade vegetativa e a atividade reprodutiva da planta, tornar a planta mais suscetível às doenças, predispondo-as ao ataque de doenças fúngicas e prejudicar a qualidade dos frutos. A videira é uma planta rústica e adubações excessivas podem comprometer a qualidade da uva.

Os menores valores de CTC do solo, abaixo de 10 cmol_c dm⁻³ foram observados nas propriedades 27 e 33 e o maior 20,7 cmol_c dm⁻³ na camada de 20 a 40 cm na propriedade 40. A maior parte da CTC do solo ficou com valores superiores a 15 cmol_c dm⁻³, sendo considerada alta (Tabela 41).

Os teores de zinco também são bem elevados, superiores a 100 mg dm⁻³ na camada superficial das propriedades 28, 29, 31, 37 40 e 41 e na camada de 5 a 10 cm da propriedade 28.

Os menores valores de Cu foram quantificados nas propriedades 30 e 33 e os maiores valores na camada superficial das propriedade 37, 39 e 41 com valores de 358, 340 e 333 mg dm⁻³ respectivamente. Em função do verão úmido e inverno chuvoso, os vinhedos são passíveis de serem atacados por doenças fúngicas, o que leva às aplicações sucessivas de calda bordalesa, (feita com a mistura de sulfato de cobre e cal, diluídos em água - CuSO₄·5H₂O + Ca (OH)₂) visando o controle destas doenças, assim, as pulverizações responsáveis pelos teores altos de Cu encontrados nos tecidos de videira (Truchot et al., 1979), maiores nas cultivares que recebem maior número de tratamentos (Tonietto et al., 2012).

A análise multivariada dos atributos químicos através da análise do dendrograma mostrou que existem diferenças entre as propriedades nas diferentes camadas de solo avaliadas.

Na camada de 0 a 5 cm na distância euclidiana de 5, observa-se a formação de 3 grupos distintos (Figura 22a). O primeiro e maior, onde se encontra o maior número das propriedades, destacando as propriedades 31, 35 e 39 que apresentaram a maior similaridade nessa região. O segundo grupo, propriedades 34, 36 e 29, onde a similaridade é baixa e, por fim, a propriedade 33 que possui a menor similaridade nessa região, reflexo dos baixos valores de pH e da falta de adubação desta área, contribuindo para os baixos valores de P e K.

Na camada de 5 a 10 cm (Figura 22b), na distância euclidiana de cinco forma-se quatro grupos distintos, demonstrando uma menor similaridade nessa camada, que ocorre no primeiro grupo entre as propriedades 29 e 38. A propriedade 33 assim como na camada de 0 a 5 se mostrou a propriedade com a menor similaridade, o que indica a necessidade de maior adubação para adequação com as demais áreas produtoras da região de vinhos de altitude.

Na profundidade de 10 a 20 cm, novamente observa-se a formação de 4 grupos na distância euclidiana de 5, sendo que no grupo de menor similaridade observa-se agora as propriedades 36, 37 e 32. Já na profundidade de 20 a 40 cm, se observa a formação de 3 grupos na distância euclidiana de 5, mas com o primeiro grupo novamente onde estão a maioria das propriedades, destacando a propriedade 36 que apresenta a menor similaridade nessa região para a camada mais profunda.

Tabela 41. Média de pH, P, K, MO, Al, CTC, Zn e Cu, nas profundidade de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 e 20 a 40, em propriedades vitícolas localizadas na região de basalto.

Prop.	Prof.	pH	P	K	MO	Al	CTC	Zn	Cu
n°	cm	H ₂ O	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³	g kg ⁻¹	cmolmg ⁻¹ ₃	pH 7.0	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³
26	0 a 5	5,9	9	455	55	0,0	17,8	97	225
	5 a 10	5,9	7	320	56	0,0	17,2	65	126
	10 a 20	5,7	7	191	54	0,3	16,3	54	134
	20 a 40	5,5	6	99	47	1,1	15,4	45	109
27	0 a 5	6,4	6	204	40	0,0	6,2	89	178
	5 a 10	6,1	6	124	43	0,0	5,7	82	114
	10 a 20	5,8	5	126	42	0,0	4,9	65	154
	20 a 40	4,8	5	74	38	0,0	1,7	54	123
28	0 a 5	5,8	65	236	38	0,0	16,7	140	198
	5 a 10	5,9	78	124	36	0,0	17,7	112	134
	10 a 20	6,3	88	60	34	0,0	16,9	93	114
	20 a 40	6,2	18	36	29	0,0	14,1	74	159
29	0 a 5	6,2	14	544	35	0,0	17,2	145	212

	5 a 10	6,0	13	268	34	0,0	16,2	99	187
	10 a 20	6,3	7	104	32	0,0	15,7	75	124
	20 a 40	6,6	5	76	30	0,0	15,6	64	145
30	0 a 5	7,2	37	392	38	0,0	17,2	87	98
	5 a 10	6,5	24	364	37	0,0	15,8	74	104
	10 a 20	6,2	15	168	35	0,0	14,7	54	112
	20 a 40	5,3	11	48	29	2,2	11,6	54	95
31	0 a 5	5,6	11	308	42	0,0	16,5	112	219
	5 a 10	5,5	6	108	40	0,0	15,9	79	126
	10 a 20	6,0	4	46	35	0,0	14,8	61	134
	20 a 40	5,9	5	32	31	0,0	13,3	54	129
32	0 a 5	5,6	7	388	53	0,0	17,3	93	254
	5 a 10	5,9	8	360	45	0,0	16,7	65	154
	10 a 20	6,3	3	276	36	0,0	12,8	75	154
	20 a 40	6,1	2	124	32	0,0	13,9	65	123
33	0 a 5	5,0	4	28	46	0,5	11,3	77	104
	5 a 10	4,6	3	24	42	3,2	17,4	65	114
	10 a 20	4,5	3	16	35	3,7	15,9	69	98
	20 a 40	4,8	4	12	23	1,5	5,8	56	89
34	0 a 5	5,4	17	600	38	0,3	13,9	78	236
	5 a 10	5,3	16	464	38	0,2	13,5	54	154
	10 a 20	5,4	14	388	37	0,1	13,1	65	113
	20 a 40	5,8	10	256	32	0,0	11,5	50	108
35	0 a 5	6,1	10	320	35	0,0	12,6	97	254
	5 a 10	6,0	8	192	30	0,0	13,0	95	212
	10 a 20	6,6	9	68	19	0,0	10,1	54	169
	20 a 40	6,4	5	100	20	0,0	11,9	59	134
36	0 a 5	6,0	33	616	37	0,0	16,1	89	221
	5 a 10	6,1	18	480	36	0,0	15,3	92	201
	10 a 20	6,3	8	244	30	0,0	14,1	63	185
	20 a 40	6,0	13	360	30	0,0	15,5	59	132
37	0 a 5	5,8	30	394	29	0,0	18,0	108	333
	5 a 10	5,7	26	392	26	0,0	17,2	87	145
	10 a 20	6,0	19	272	22	0,5	17,5	87	102
	20 a 40	5,4	10	254	20	0,0	15,4	45	125
38	0 a 5	5,9	6	414	32	0,0	17,8	85	243
	5 a 10	5,7	6	267	40	0,0	16,1	81	154
	10 a 20	5,9	4	203	30	0,0	16,1	70	165
	20 a 40	5,8	3	145	30	0,0	15,4	60	123
39	0 a 5	6,0	17	319	30	0,1	17,3	91	340
	5 a 10	6,0	16	159	31	0,5	16,4	65	184
	10 a 20	5,8	11	111	28	1,1	15,7	72	145
	20 a 40	5,8	6	72	26	1,4	13,7	70	111
40	0 a 5	6,0	52	448	50	0,0	17,7	189	254
	5 a 10	6,5	11	376	42	0,0	15,3	97	154
	10 a 20	6,2	11	344	37	0,0	14,1	88	165
	20 a 40	4,9	8	208	27	5,2	20,7	65	122
41	0 a 5	5,9	29	400	41	0,0	17,6	174	358
	5 a 10	5,8	14	202	41	0,0	17,1	96	178
	10 a 20	6,0	8	189	38	0,0	14,9	61	145
	20 a 40	6,2	4	74	31	0,0	12,9	44	122

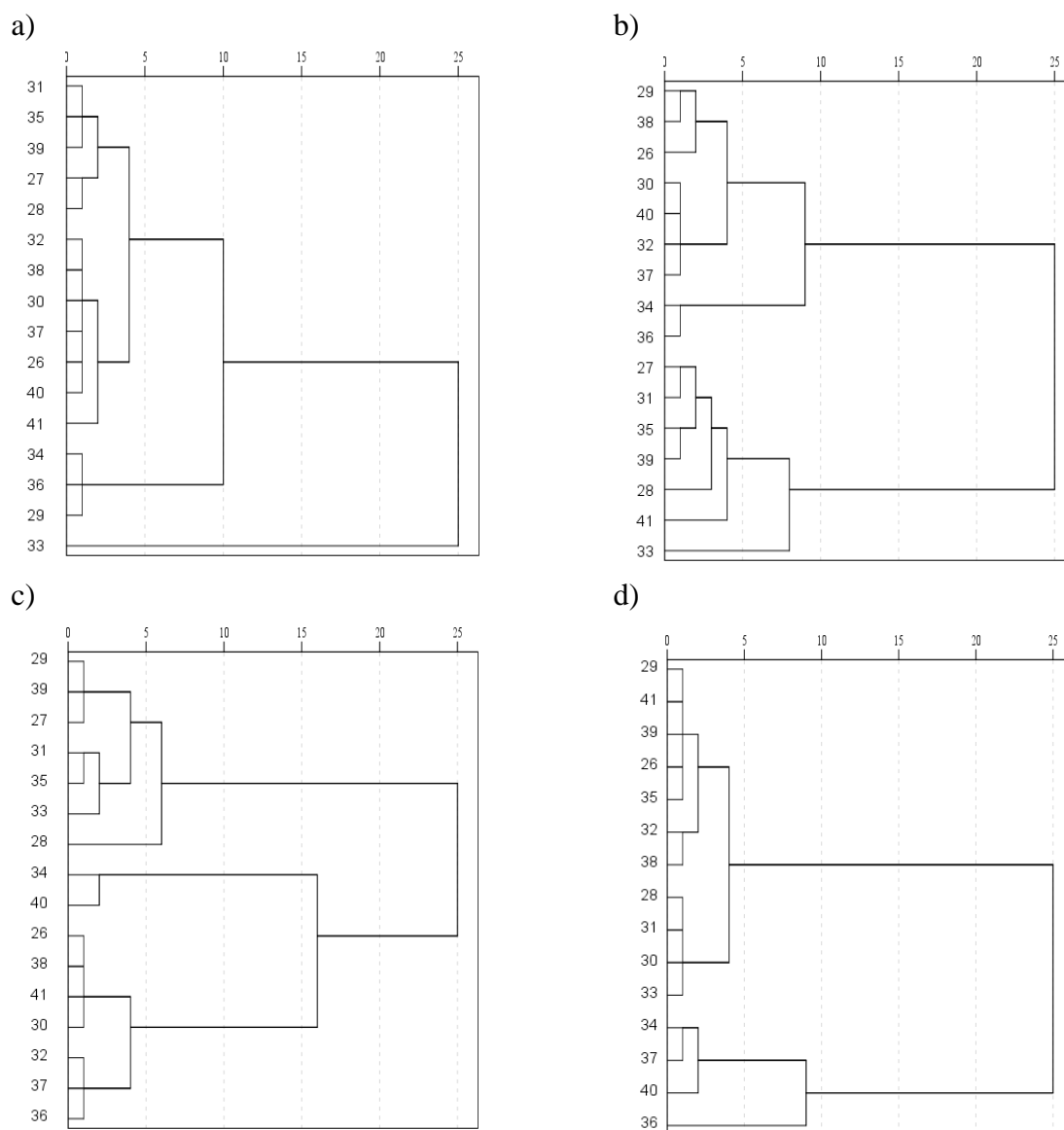


Figura 22. Dendrograma das propriedades vitícolas localizadas no basalto, nas profundidades: a) 0 a 5 cm; b) 5 a 10 cm; c) 10 a 20 cm e d) 20 - 40 cm.

6.5.3.2. Atributos físicos

As propriedades vitícolas desta região apresentam valores elevados de argila, sendo observado solos com textura muito argilosa (teores de argila acima de 600 g kg^{-1}) para as camadas mais superficiais, nas propriedades 28, 29, 31, 34, 35, 36 e 39 e na camada de 20 a 40 cm das propriedades 7, 8, 16, 32, 33 e 41 (Tabela 42). Os menores valores foram observados na camada de 0 a 20 cm das propriedades 27 e 37 com teores de argila variando de 410 e 426 g kg^{-1} respectivamente.

Tabela 42. Média dos teores de areia grossa (Ag), areia fina (Af), silte (St), argila (Ar), densidade do solo (Ds), resistência à penetração (Rp), porosidade total (Pt), macroporosidade (Mp) e microporosidade (mp), nas profundidade de 0 a 20 e 20 a 40 cm, em propriedades vitícolas localizadas na região de basalto.

Propr.	Prof. cm	Ag	Af	At	Sl	Ag	Ds	Rp	Pt	Mp	mp
		g kg ⁻¹					g cm ⁻³	MPa	cm cm ⁻³		
26	0 a 20	59	65	125	406	469	0,87	0,84	0,61	0,28	0,33
26	20 a 40	50	54	105	351	545	0,99	1,44	0,59	0,16	0,42
27	0a 20	161	80	241	350	410	0,86	0,70	0,65	0,32	0,33
27	20 a 40	106	64	170	400	430	0,98	0,67	0,62	0,29	0,32
28	0 a 20	49	37	84	253	662	0,96	1,34	0,60	0,19	0,42
28	20 a 40	34	28	63	278	658	1,15	1,36	0,50	0,15	0,35
29	0 a 20	21	32	53	300	647	0,92	1,78	0,62	0,29	0,33
29	20 a 40	15	31	46	305	649	1,07	1,76	0,56	0,21	0,35
30	0 a 20	30	28	58	286	656	0,94	1,43	0,60	0,20	0,40
30	20 a 40	16	23	39	303	658	1,08	2,27	0,56	0,16	0,40
31	0 a 20	25	28	53	289	658	0,92	1,45	0,60	0,19	0,40
31	20 a 40	17	24	42	240	718	1,04	1,48	0,57	0,22	0,35
32	0a 20	75	49	124	326	549	0,94	1,08	0,61	0,24	0,36
32	20 a 40	62	42	103	258	639	1,09	1,50	0,52	0,22	0,30
33	0 a 20	40	46	87	401	512	0,74	0,67	0,65	0,35	0,30
33	20 a 40	20	23	43	319	638	0,90	0,60	0,62	0,27	0,35
34	0 a 20	23	19	41	298	661	0,92	1,26	0,62	0,25	0,37
34	20 a 40	18	16	34	256	710	1,24	2,37	0,54	0,15	0,39
35	0 a 20	39	30	69	309	622	1,17	1,95	0,58	0,11	0,46
35	20 a 40	40	27	66	273	661	1,32	0,98	0,53	0,09	0,44
36	0 a 20	30	31	62	289	649	1,10	1,99	0,49	0,25	0,24
36	20 a 40	28	29	56	290	653	1,31	2,31	0,47	0,20	0,27
37	0 a 20	130	80	211	363	426	1,08	1,85	0,57	0,23	0,34
37	20 a 40	113	71	184	294	521	1,06	1,28	0,61	0,16	0,45
38	0 a 20	55	34	89	371	540	0,90	0,94	0,59	0,29	0,30
38	20 a 40	41	31	72	344	584	0,97	1,22	0,59	0,24	0,36
39	0 a 20	126	65	193	337	471	1,07	2,08	0,61	0,26	0,35
39	20 a 40	133	64	198	261	541	1,13	2,36	0,60	0,17	0,42
40	0 a 20	119	72	191	263	545	1,10	1,47	0,53	0,19	0,34
40	20 a 40	129	79	207	218	574	1,13	2,11	0,55	0,19	0,36
41	0 a 20	31	16	49	285	596	1,02	0,89	0,45	0,25	0,20
41	20 a 40	146	55	202	203	666	1,01	1,69	0,62	0,27	0,35

Os maiores teores de argila, verificados nas propriedades, resultam em solos com maior superfície específica e densidade de carga elevada. Estes atributos favorecem a retenção de cátions e adsorção de fósforo, devido à alta reatividade química desta fração.

De acordo com Mota et al. (2006) o predomínio da fração argila nos solos influencia positivamente a produção das uvas. Em solos argilosos originam-se vinhos com boa coloração (tintos), macios, de boa acidez e com maior tempo de conservação e solos arenosos tendem a originar vinhos finos, porém fracos em extrato seco e albuminas (Fregoni, 2005).

Os maiores valores de Ds, acima de 1,3 Mg cm⁻³, foram observados na camada de 20 a 40 cm nas propriedades 35 e 36, entretanto os valores na maioria das propriedades foram baixos, não ultrapassando 1,1 Mg cm⁻³ (Tabela 42).

Quanto a R_p essa região apresentou os valores acima de 2 MPa em algumas propriedades. Tais valores encontram-se abaixo do valor crítico (3,0 MPa) definido por Echenique et al. (2007) para a cultura da videira. Na propriedade 39 foi observado valor de 2,08 na camada superficial e de 2,36 na camada mais profunda. Valores acima de 2 também foram verificados na camada de 20 a 40 cm das propriedades 30, 34, 36 e 40 (Tabela 42).

A P_t se mostrou adequada, sendo que valores inferiores a 50 % foram observados apenas nas duas camadas da propriedade 36 e na camada superficial da propriedade 41. Estes elevados valores conseqüentemente contribuem para o aumento da macroporosidade, exceto na propriedade 35 que apresentou apenas 9 e 11 % de macroporos nas camadas avaliadas. Em contrapartida a m_p nessa propriedade apresentou valores de 44 e 46 %. De maneira geral, nas diferentes propriedades verifica-se o predomínio de microporos, com valores variando de 20 a 46 %. Este padrão se deve ao fato que em solos argilosos a tendência é de predomínio de microporos.

A relação m_p/M_p foi superior a 1 apenas na camada de 0 a 20 cm das propriedades 41, 33 e 36 e a menor relação observada foi de 0,20 na propriedade 35. Estes valores podem não ser interessantes para a videira em função de possíveis problemas de excesso de umidade, considerando as condições climáticas da região em determinadas épocas. Segundo Van Leeuwen et al. (2009), a maior quantidade de água disponível no solo aumenta o crescimento das bagas e diminui a concentração de açúcares, afetando a composição do vinho.

Avaliando os efeitos das condições meteorológicas e do tipo de solo sobre características físico-químicas e compostos fenólicos da uva Cabernet Sauvignon, Luciano et al. (2013), avaliando um Cambissolo Háplico e Cambissolo Húmico, observaram que a disponibilidade de água foi a principal diferença entre os dois solos e, provavelmente, a variável com maior efeito sobre a composição da uva. Outros autores registraram resultados semelhantes (Castellarin et al., 2007; Lebon et al., 2006; Van Leeuwen et al., 2009). Segundo Lebon et al. (2006), em solos com maior disponibilidade hídrica ocorre competição entre a parte aérea e os frutos pelos sólidos solúveis, com conseqüente redução do seu teor nas bagas.

A análise de similaridade dos atributos físicos também mostrou grande número de grupo formados na distância euclidiana 5 (Figura 23), entretanto, observa-se nessa região uma grande similaridade entre as propriedades quanto aos atributos físicos. A textura do solo, variando de argilosa a muito argilosa, pode ter contribuído para uma maior similaridade entre as propriedades, apesar de estas utilizarem manejos diferenciados nas práticas de cultivo. As propriedades 27, 37, 39 e 40 distinguem das demais nas duas camadas avaliadas na distância euclidiana de 10, apresentando as menores similaridades em relação às demais.

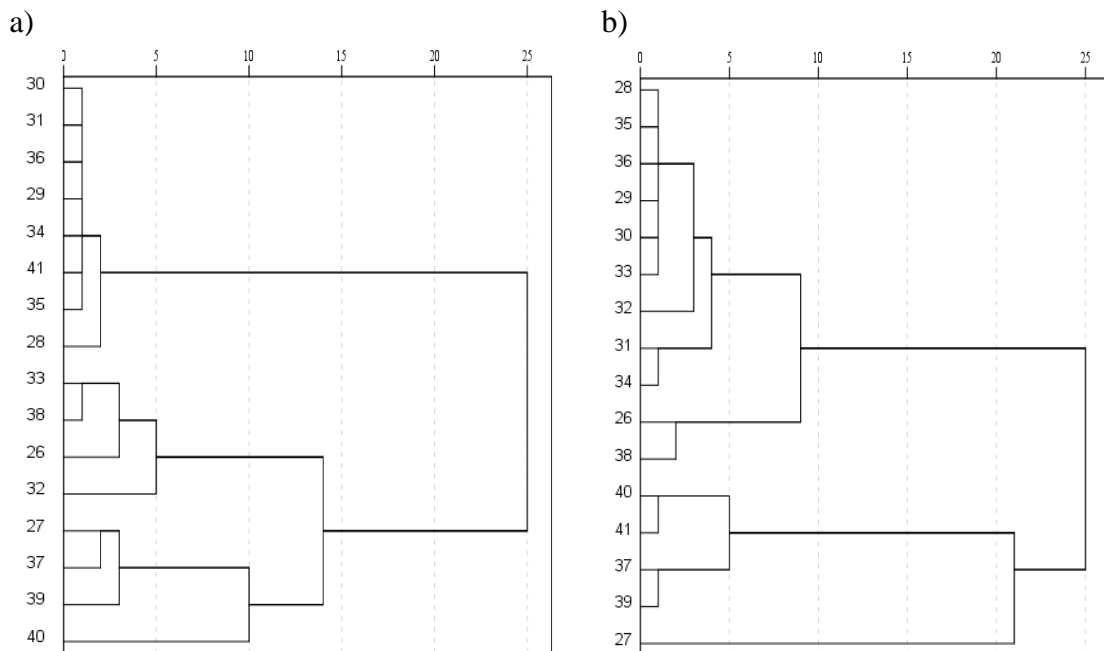


Figura 23. Dendrograma dos atributos físicos das propriedades vitícolas localizadas no basalto, nas profundidades: a) 0 a 20 cm e b) 20 a 40 cm.

6.5.4. Solos Originados de Rochas Ácidas de Água Doce, SC

6.5.4.1. Atributos químicos

A região de Água Doce, possui um pequeno número de produtores, entretanto destaca-se pelo fato que nessa região se encontra o maior produtor de vinhos finos de altitude de SC (propriedade 44). A região favorecida pelas condições de relevo, com a ocorrência de áreas menos acidentadas, possibilitando setores maiores para a produção, facilitando desta forma os tratos culturais e a colheita. Entretanto, as demais propriedades 42, 43 e 45 possuem áreas plantadas com apenas 1,6; 2,0 e 3,0 ha respectivamente (Tabela 43).

Tabela 43. Propriedades vitícolas da região de Água Doce com sua altitude média (AM), tipo climático (TC), área plantada total (AP), setores (ST), variedades (VR), área plantada por variedade (AV), ano de implantação (AI) e espaçamento entre plantas.

Propr.	AM	TC	AP	ST	VR	ÁV	AI	EP
42	1.192	4B	1,6	7	CS	1,2	2005	1,5x3,0
					OT	0,4	2005	1,5x3,0
43	1.330	4B	2,0	3	CS	1,5	2006	1,2x3,5
					ML	0,5	2006	1,2x3,5
					SB	0,5	2006	1,2x3,5
44	1.284	4B	31,2	60	CS	6,2	2001	1,4x2,9
					CS	2,6	2004	1,5x2,9
					ML	4,3	2001	1,4x2,9
					PN	0,2	2001	1,4x2,9
					PN	0,1	2011	1,5x2,9
					PN	0,4	2004	1,5x2,9
					PN	0,2	2003	1,5x2,9
					CD	4,6	2001	1,4x2,9
					CD	0,6	2011	1,5x2,9
					SB	0,7	2003	1,5x2,9
OT	2,7	2001	1,4x2,9					

						OT	1,0	2002	1,5x2,9
						OT	2,4	2008	1,5x2,9
						OT	3,9	2003	1,5x2,9
						OT	1,5	2011	1,5x2,9
45	1.268	4B	3,0	3		CS	2,0	2008	1,5X2,9
						OT	1,0	2008	1,5X2,9

Quanto ao pH, a região apresenta valores dentro dos considerados adequados para a cultura da videira, sendo que grande parte das camadas está acima de 5,5 (Tabela 44), alcançando valores de 7,0 na propriedade 45, que apresentou valores elevados em todas as camadas. Na camada de 20 a 40 cm das propriedades 43 e 42, observam-se os menores valores de pH, 5,0 e 5,3 respectivamente, necessitando desta forma a realização de calagem para melhorar os índices de produção.

Os baixos valores de pH estão relacionados aos elevados teores de Al^{+3} , sendo observado 2,3 e 3,1 $cmol_c dm^{-3}$ na profundidade de 20 a 40 cm nas propriedades 43 e 42.

Os valores de fósforo desta região estão dentro do recomendado, nenhum ultrapassando a classe de alto que vai de 12 a 24 $mg dm^{-3}$ para a classe textural de solo 3 (CQFS RS/SC, 2004). Os maiores valores foram observados na camada superficial das propriedades 45 e 43, com 20 e 17 $mg dm^{-3}$, respectivamente. Os valores para das camadas de 20 a 40 e a maioria da camada de 10 a 20 (exceto 45) apresentaram-se baixos, dentro da faixa de 4 a 8 $mg dm^{-3}$.

O potássio apresentou valores considerados muito altos (acima de 180 $mg dm^{-3}$) na camada superficial das quatro propriedades avaliadas, e na camada de 5 a 10 cm das propriedades 45 e 44. Os maiores valores foram de 650 $mg dm^{-3}$ observados na propriedade 45. Na camada de 20 a 40 cm as propriedades 42 e 43 apresentaram valores baixos, 44 e 48 $mg dm^{-3}$ respectivamente.

Tabela 44. Média de pH, P, K, MO, Al, CTC, Zn e Cu, nas profundidade de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 e 20 a 40, em propriedades vitícolas localizadas na região de rochas ígneas ácidas de Água Doce, SC.

Propr. n°	Prof. cm	pH H ₂ O	P mg dm ⁻³	K mg dm ⁻³	MO g kg ⁻¹	Al cmolmg ⁻³	CTC pH 7.0	Zn mg dm ⁻³	Cu mg dm ⁻³
42	0 a 5	6,0	14	296	62	0,0	23,3	88	140
	5 a 10	6,1	10	168	63	0,7	22,0	70	128
	10 a 20	6,0	8	76	65	1,9	20,0	61	110
	20 a 40	5,3	4	44	62	3,1	18,7	53	98
43	0 a 5	5,8	17	196	47	0,1	18,9	165	289
	5 a 10	5,6	12	138	48	0,0	19,1	85	153
	10 a 20	5,7	7	90	46	0,0	17,9	74	125
	20 a 40	5,1	4	48	41	2,3	12,6	75	114
44	0 a 5	5,9	12	466	49	0,0	17,1	159	275
	5 a 10	6,0	9	243	48	0,0	16,2	98	154
	10 a 20	5,9	6	138	46	0,0	15,7	71	143
	20 a 40	5,7	5	98	46	0,3	14,5	45	132
45	0 a 5	6,8	20	650	45	0,0	18,3	101	156
	5 a 10	7,0	16	438	41	0,0	19,1	71	161
	10 a 20	7,0	10	240	41	0,0	18,4	54	130
	20 a 40	6,3	6	146	41	0,0	15,9	65	111

Em geral, os solos do sul do Brasil apresentam baixos teores de P e elevados de K (Giovannini, 2001). Estes elementos aumentam a fotossíntese, a migração e o acúmulo de açúcar nos frutos e desta forma, possuem forte relação com a qualidade dos frutos e, conseqüentemente, na qualidade dos vinhos produzidos. O potássio em níveis adequados no solo contribui para a resistência natural às moléstias fúngicas, eleva o potencial aromático, favorece a concentração de açúcares e diminui a acidez (Fregoni, 2005).

Excesso de potássio contribui para a baixa acidez dos mostos e vinhos, além de inibir competitivamente a absorção de N, Mg e Ca (Reynier, 2001; Melo, 2003).

Uma das características dos vinhos brasileiros são os elevados valores de pH observados nas uvas provenientes dos vinhedos. Estes valores estão relacionados com a absorção de potássio e a diminuição dos valores de acidez titulável durante o processo de maturação da uva (Fogaça et al., 2005).

Os teores de MO são elevados, sendo que a propriedade 42 é a que apresentou os maiores valores entre todas as propriedades, variando entre 62 e 65 g kg⁻¹ em todas as camadas avaliadas (Tabela 44). A propriedade 44 também apresentou valores elevados entre 49 g kg⁻¹ na camada superficial e 46 g kg⁻¹ na camada de 20 a 40 cm. Os menores valores foram observados na propriedade 45, mas mesmo assim estes foram considerados como muito elevados, entre 45 a 41 g kg⁻¹. Nessa região observa-se uma pequena diferença entre os teores de MO entre as camadas.

Os elevados teores de MO, encontram-se provavelmente entre os mais elevados entre as regiões produtoras de uvas do Brasil, induzem a uma disponibilidade diferenciada de nutrientes, destacando-se o nitrogênio.

O requerimento de nitrogênio varia para as diferentes cultivares de uva e os diferentes solos usados para o cultivo. Como a maioria das frutíferas, a videira tem demandas sazonais por nitrogênio que, segundo Winkler et al. (1974), são maiores no início da primavera e no período de florescimento. O excesso de nitrogênio torna as videiras excessivamente vigorosas, prolongando o período de crescimento vegetativo e retardando o amadurecimento do fruto (Champagnol, 1971; Hilbert et al., 2003), promove um grande crescimento vegetativo, em detrimento da produção de açúcares nos frutos. Este vigor excessivo nas videiras aumenta o sombreamento e, como conseqüência, ocorrerem mudanças deletérias na composição dos frutos do ponto de vista de vinificação (Dukes et al., 1991; Smart, 1991).

Em um ensaio conduzido por Giroto et al. (2005), em que testou doses crescentes de adubação nitrogenada na cultura da videira, constatou-se a diminuição da qualidade da uva e também do vinho, com o aumento da quantidade de N aplicado, que provocou aumento na acidez total, nas concentrações de ácido málico e N amoniacal, e diminuição na quantidade de antocianinas.

Os valores de T são considerados altos (acima de 15 cmol_c dm⁻³) exceto na camada mais profunda das propriedades 43 e 44. Os maiores valores foram observados na propriedade 42 com valores superiores a 20 cmol_c dm⁻³ nas profundidades de 5 a 10 e 10 a 20 cm. A CTC do solo deve ser superior a 10 cmol_c dm⁻³ e, preferencialmente, acima de 15 cmol_c dm⁻³ (Claro, 2001).

Os teores de zinco também são bem elevados, superiores a 100 mg dm⁻³ na camada superficial da maioria das propriedades, assim como os valores para o cobre, reflexos das aplicações com calda bordalesa na cultura.

Avaliando a migração e a modificação de frações de Cu em três vinhedos com idades crescentes e uma área de campo natural, no município em Água Doce (SC), Brunetto et al (2014), concluíram que o Cu foi acumulado nas camadas mais superficiais dos solos dos vinhedos e que maiores concentrações foram observadas no vinhedo com maior idade. A maior parte do Cu nos solos dos vinhedos foi distribuída na fração residual e possui baixa mobilidade geoquímica, porém nas camadas mais superficiais do solo do vinhedo com maior

idade constatou-se aumento do teor de Cu ligado a MOS e nas camadas mais profundas, ligado aos minerais.

A análise multivariada dos atributos químicos, pelo dendrograma, mostrou que em todas as camadas avaliadas destaca-se a maior similaridade para as propriedades 42 e 43 e a menor similaridade para a propriedade 45 (Figura 24).

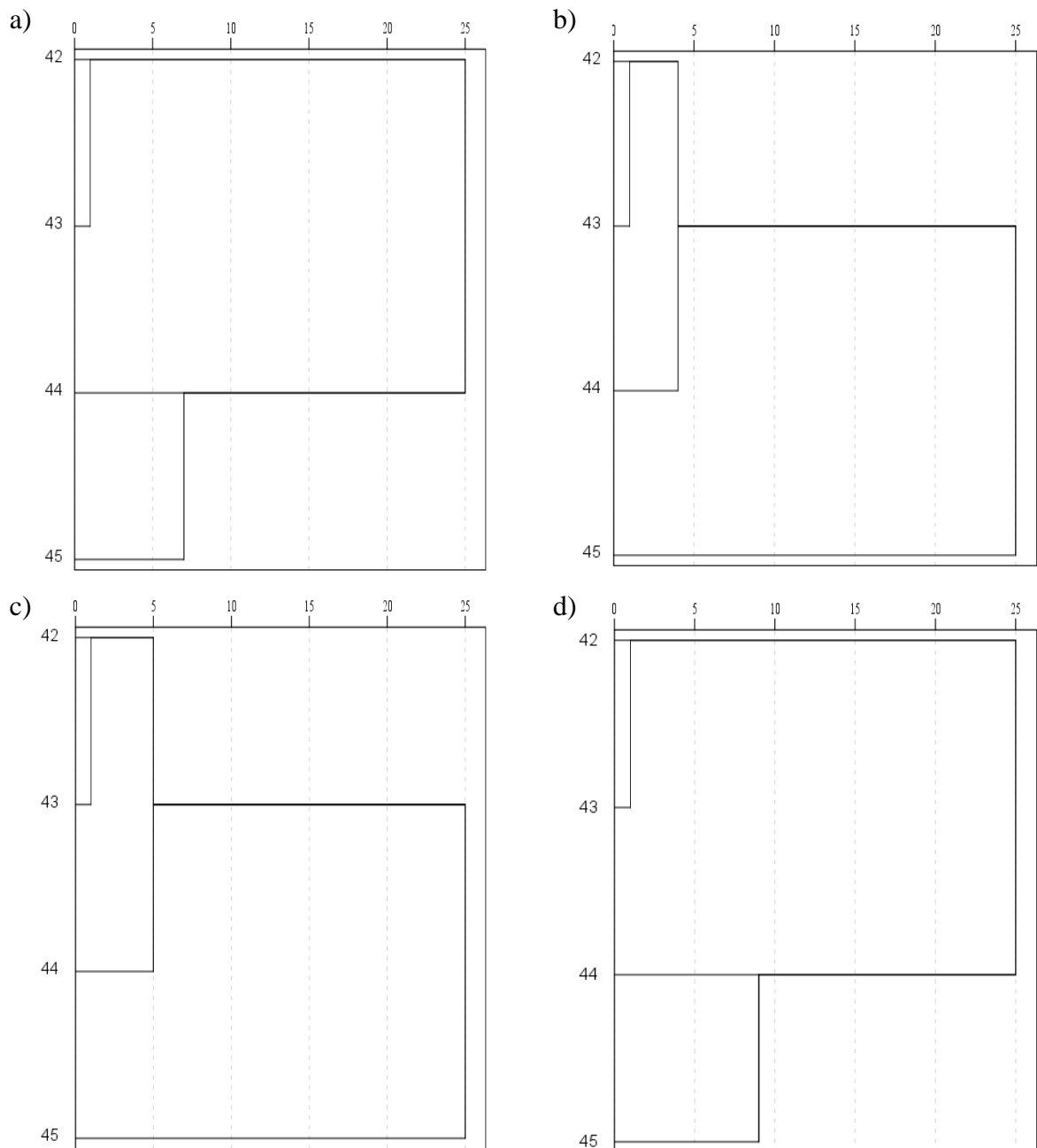


Figura 24. Dendrograma das propriedades vitícolas localizadas na região ígneas ácidas de Água Doce, SC, nas profundidades: a) 0 a 5 cm; b) 5 a 10 cm; c) 10 a 20 cm e d) 20 - 40 cm.

6.5.4.2. Atributos físicos

A granulometria destes solos é constituída de pequena quantidade de areia, com maiores valores observados na propriedade 42 onde na camada superficial quantificam-se valores de 259 g kg⁻¹ (Tabela 45). Nas propriedades 44 e 45 os valores de areia não ultrapassam a 89 g kg⁻¹. Na área, verifica-se como solos predominantes os Cambissolos que, de maneira geral, apresentam valores de silte elevados, variando entre 365 a 485 g kg⁻¹ entre as quatro propriedades. Os solos das propriedades apresentam-se argilosos, porém sem a ocorrência de um horizonte B textural. A densidade do solo variou de 0,67 a 0,99 Mg m⁻³ demonstrando baixos valores, indicando a ausência de camadas compactadas e/ou adensadas.

Da mesma forma a Rp alcançou valor máximo de 1,44 MPa, o que demonstra não ocorrer nessas áreas impedimentos físicos para ao desenvolvimento das raízes. Os valores de porosidade total Pt foram elevados, entre 61 a 72 %, e a macroporosidade (Mp) variou de 19 a 40 % e a microporosidade (mp) de 27 % a 43 %.

A relação de mp/Mp apresentou valores superiores a 1 na camada de 0 a 5 cm, o que remete valores maior de macroporos e valores de relação menores que 1 na camada de 20 a 40 cm onde prevalece os microporos.

Tabela 45. Média dos teores de areia grossa (Ag), areia fina (Af), silte (St), argila (Ar), densidade do solo (Ds), resistência à penetração (Rp), porosidade total (Pt), macroporosidade (Mp) e microporosidade (mp), nas profundidade de 0 a 20 e 20 a 40 cm, em propriedades vitícolas localizadas na região de rochas ígneas ácidas de Água Doce, SC.

Prop.	Prof. cm	Ag	Af	At	St	Ag	Ds	Rp	Pt	Mp	mp
		-----g kg ⁻¹ -----					g cm ⁻³	MPa	-----cm cm ⁻³ -----		
42	0 a 20	171	88	260	410	329	0,71	0,85	0,64	0,32	0,32
42	20 a 40	130	49	179	365	456	0,70	1,12	0,66	0,23	0,43
43	0 a 20	91	54	139	485	376	0,67	0,91	0,72	0,40	0,32
43	20 a 40	34	31	65	405	531	0,79	1,32	0,66	0,27	0,39
44	0 a 20	52	19	64	392	545	0,83	1,04	0,69	0,37	0,33
44	20 a 40	39	19	58	365	577	0,85	0,98	0,67	0,29	0,38
45	0 a 20	67	22	95	460	445	0,78	0,67	0,66	0,39	0,27
45	20 a 40	50	28	79	396	526	0,99	1,44	0,61	0,19	0,42

A análise de similaridade demonstrou mesmo padrão nas duas camadas avaliadas, onde se observa maior similaridade dos atributos físicos entre as propriedades 43 e 45, que possuem certa similaridade com a propriedade 44 (Figura 25). Este padrão fica mais evidenciado na profundidade de 20 a 40 cm. A propriedade 42 apresentou-se distinta das demais propriedade desta região. Um fator que pode ter contribuído para essa diferenciação são os elevados teores de MO, encontrados entre todas as propriedades estudadas. A MO tem implicações sobre o comportamento físico do solo, quer seja por atuar diretamente sobre alguns de seus processos físicos, quer seja por seus efeitos indiretos, dentre as quais se destacam a elevada área superficial específica e a grande quantidade de cargas superficiais. Indiretamente, a MO interfere no comportamento físico do solo por seus efeitos sobre a agregação e consistência do solo, atuando na formação de agregados e, portanto, na distribuição do tamanho de poros, bem como na sua estabilidade.

Avaliando os efeitos das condições climáticas e do tipo de solo na maturação das uvas e vinho de qualidade, em dois vinhedos de Cabernet Sauvignon sob o mesmo clima, mas em

solos muito distintos, Ubalde et al. (2010) observaram que o solo foi responsável por 30 % da variação em sólidos solúveis, enquanto o clima foi responsável por 40 % da variação em sólidos solúveis, 65 % na acidez titulável e 33 % no pH do mosto. Relataram ainda que o solo explicou 24 % e o clima 64 % da variação dos teores de polifenóis totais. Chavarria et al. (2011) observaram que, quando se reduz a disponibilidade hídrica no solo, os teores de polifenóis totais nas uvas aumentam. Luciano (2012) observou que o fator solo representou 28 % e o fator condição climática representou 71 % da variância total. O Cambissolo Húmico teve os maiores teores de antocianinas em relação ao Cambissolo Háplico.

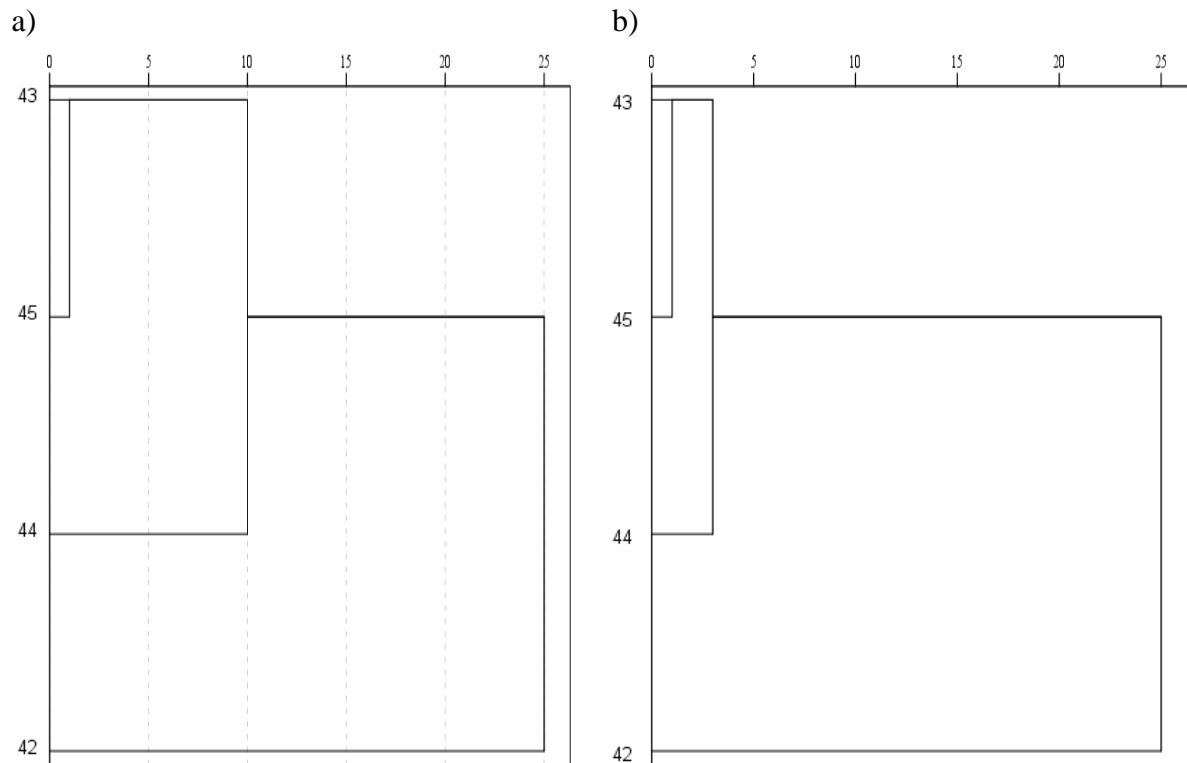


Figura 25. Dendrograma dos atributos físicos das propriedades vitícolas localizadas na região de rochas ígneas ácidas de Água Doce, SC, nas profundidades: a) 0 a 20 cm e b) 20 a 40 cm.

6.5.4.3. Identificação de similaridade de atributos de solo entre propriedades vitícolas nas regiões de altitude de SC

De maneira geral, foram observadas variações nos atributos químicos do solo entre as propriedades vitícolas. Entretanto essas variações foram também observadas tanto entre os perfis de solo em relação aos vinhedos implantados, quanto entre os vinhedos da mesma propriedade.

Entre os fatores que podem ter contribuído para tais diferenças estão a grande quantidade de setores dentro das propriedades, com variedades diferentes que possuem tratamentos culturais distintos, como a maturação dos frutos, refletindo na época de colheita, por exemplo. Observa-se na mesma propriedade, vinhedos com diferentes datas de implantação, o que pode influenciar tanto no acúmulo quanto nas perdas de determinado elemento, em função do tempo que foram realizadas as adubações e afetando a absorção dos nutrientes pela cultura.

As propriedades onde são cultivados os vinhedos possuem variação de relevo, sendo que essa contribui para que ocorra perda e/ou acúmulo de nutrientes, o que também pode ter influenciado nos valores observados.

As maiores variações de pH do solo foram verificadas nos vinhedos localizados nas propriedades da região 2. Quando se compara os valores observados nos perfis com os valores observados nos vinhedos, observa-se menores valores de pH para os perfis na maioria dos casos, resultado provavelmente devido às calagens realizadas quando da implantação dos vinhedos.

A elevada saturação por alumínio não se restringe somente à camada arável, mas, em alguns solos, também ocorre em profundidade. Com isso, o sistema radicular das videiras desenvolve-se pouco, restringindo-se à região onde foram adicionados o corretivo e o adubo, limitando desta forma a absorção de água e de nutrientes das camadas subsuperficiais.

Os teores de fósforo nas propriedades apresentaram padrões diferenciados. Em algumas propriedades verificam-se valores máximos extremamente altos, demonstrando excesso de adubação, o que pode causar problemas na produção e na qualidade do vinho, assim como aumentos dos custos de produção e problemas ambientais. Os elevados valores foram observados em algumas propriedades da região 2. Nas regiões 3 e 4 os valores foram menos pronunciados e, em alguns casos, verificaram-se valores dos perfis próximos aos valores mínimos encontrados nos vinhedos.

Os valores do K foram altos, inclusive os observados nos perfis do solo, demonstrando que estes solos possuem naturalmente elevados teores de K. Em muitas áreas dos vinhedos os valores máximos ultrapassaram a 500 mg dm^{-3} . É importante o conhecimento dos teores de K no solo, para que se saiba quando será preciso fazer uma nova adubação. A adição de doses mais elevadas do que a cultura necessita pode resultar em perdas por lixiviação ou quedas de produção.

Em relação aos teores de MO do solo, observa-se em algumas propriedades uma grande diferença entre os valores observados no perfil e os valores mínimos encontrados nos vinhedos. Um dos fatores é o grande revolvimento necessário em alguns casos para a remoção de fragmentos mais grosseiros (pedras e rochas). Este revolvimento, que ocorre de maneira profunda, faz com que ocorra a mineralização da MO, diminuindo assim os seus teores no solo.

Quando na implantação ocorre apenas a realização da cova, os impactos na MO tendem a ser menores. Em alguns casos, os valores máximos e os valores encontrados nos perfis para o conteúdo de MO em muitas propriedades foram equivalentes e, em poucos casos, foram observados valores maiores nos vinhedos, que o percentual de MO quantificado nos perfis. Isso indica que, em alguns casos, o impacto da implantação do vinhedo, parece não promover redução nos teores de MO do solo.

O T apresentou pouca variação entre os perfis e as áreas de vinhedo e, de maneira geral, os valores estiveram na maior parte das propriedades acima de $15 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, valores considerados altos (CQFS RS/SC, 2004).

Entre os micronutrientes, o zinco foi o que apresentou valores mais elevados em todas as regiões, com os valores máximos dos vinhedos, na maioria das vezes, superiores aos observados nos perfis de solo correspondentes.

Para o cobre foram quantificados valores elevados, sendo que os maiores foram verificados nas propriedades localizadas na região 4. A maior contribuição para contaminação de solos de vinhedos no mundo é devido ao emprego maciço de defensivos agrícolas à base deste elemento para o controle das doenças da videira. Desta forma, a contaminação por este metal é a mais estudada. Quanto mais alta a umidade e a precipitação da área, maior é a frequência de aplicação do fungicida à base de cobre, o qual contribui para contaminação ambiental (Mirlean et al., 2007).

Os atributos físicos, apesar da sua grande importância para a produção da videira, especialmente devido ao armazenamento de água, apresentaram valores similares entre as propriedades avaliadas e dentro das condições exigidas pela cultura da videira. Luciano et al. (2013), em experimento realizado em um vinhedo comercial, no município de São Joaquim - SC, concluiu que o tipo de solo e a sua posição na paisagem influenciam a variabilidade espacial dos atributos físicos e químicos dos solos nos vinhedos de altitude.

Quando é realizada a análise multivariada dos atributos químicos de todas as propriedades, se observa que existe relação entre as propriedades das 4 regiões, entretanto, ainda assim, muitas vezes se verifica maior similaridade entre propriedades pertencentes às mesmas regiões, que também podem estar associada à ação antrópica, em especial ao manejo e a adubação.

Na camada superficial, verifica-se na distância euclidiana 5 a formação de quatro grupos distintos (Figura 26a). O primeiro, maior e com maior similaridade, é formado na sua maioria por propriedades das regiões 1 e 2, enquanto o segundo grupo na maior parte é formado por propriedades da região 3. Quanto à região 4, as propriedades encontram-se distribuídas pelos grupos 1, 2 e 4. O grupo 3 é formado pelas propriedades 5 e 33, que possuem similaridade entre si, mas se diferenciam das demais até a distância euclidiana 17.

Na camada de 5 a 10 cm (Figura 26b), se observa a formação de 5 grupos distintos, o primeiro novamente formado por propriedades, em sua maioria da região 2, e também pela região 4 (propriedades 43 e 42). A propriedade 33 não apresenta similaridade com nenhuma outra na distância 5, assim como a 41. O último grupo é composto, em sua maioria, por propriedades da região 3.

Na camada de 10 a 20 cm (Figura 26c), observa-se um total de cinco grupos. Verifica-se o aumento do primeiro grupo com grande similaridade entre as propriedades. Estes resultados remetem a um menor efeito da adubação aplicada, refletidos nessa profundidade. O grupo 2 é formado pela propriedade 28 que na distância euclidiana de 5 não se mostrou similar a nenhuma outra.

Na camada de 20 a 40 cm (26d) verificaram-se os melhores resultados quanto à homogeneidade dos atributos químicos do solo. Nessa análise se observa que a maior parte das propriedades, nessa profundidade, apresenta grande similaridade, correspondendo a 87 %, ou seja, 39 das 45 propriedades apresentam grande similaridade em uma distância euclidiana mínima, mostrando a grande homogeneidade destes solos nessa profundidade. As sete primeiras propriedades que apresentam maior similaridade são as da região 2.

No grupo 2 encontram-se as propriedades 20, 25, 34, 37 e 40. A propriedade 36 forma o grupo 3, não sendo similar a nenhuma outra propriedade.

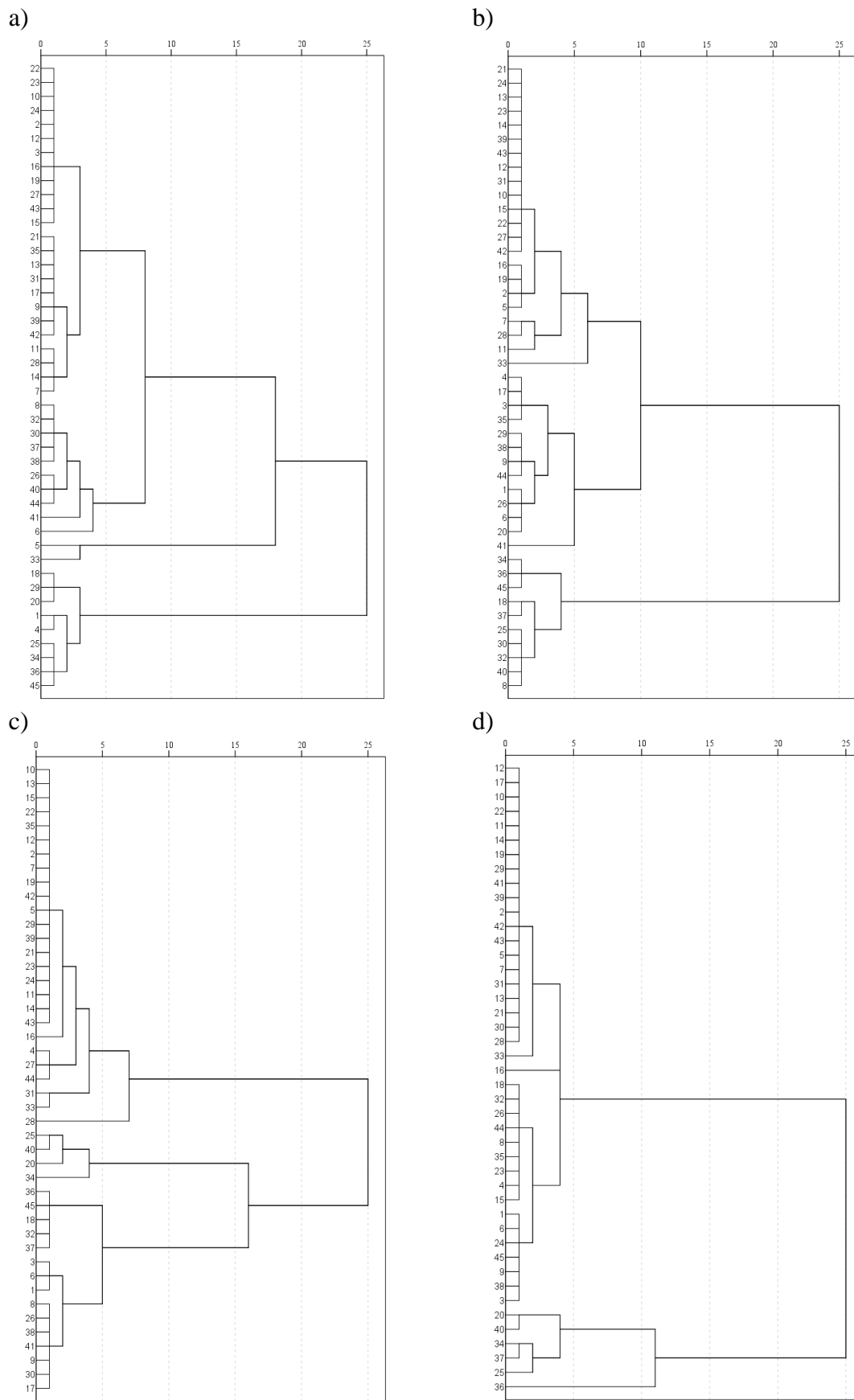


Figura 26. Dendrograma das propriedades vitícolas localizadas nas regiões de altitude de SC, nas profundidades: a) 0 a 5 cm; b) 5 a 10 cm; c) 10 a 20 cm e d) 20 - 40 cm.

Conclui-se que, independente das peculiaridades do material de origem, clima e relevo, além do manejo inerentes a cada propriedade vitícola, os vinhedos das quatro regiões vitivinícolas divididas através do material de origem apresentam características similares dos atributos químicos, que podem imprimir tipicidade nas uvas e nos vinhos produzidos e, assim, serem agrupadas em uma região única para uma determinação de IG.

Segundo Fregoni (2005), o solo determina a originalidade e a tipicidade do vinho, assumindo uma importância reconhecida e comprovada pelos diferentes exemplos de *terroirs*. Assim, as características micro e macrorregionais adquirem uma expressão particular no âmbito do ecossistema e da produção vitícola.

Em contrapartida, a análise multivariada dos atributos físicos não apresentou boa similaridade entre as propriedades, tanto na camada superficial quanto na de 20 a 40 cm, observadas na Figura 27 (a e b), o que provavelmente está relacionado aos diferentes manejos adotados na implantação dos vinhedos, que relacionados às diferentes texturas e aos teores de MO entre as propriedades podem ter causado tais diferenças.

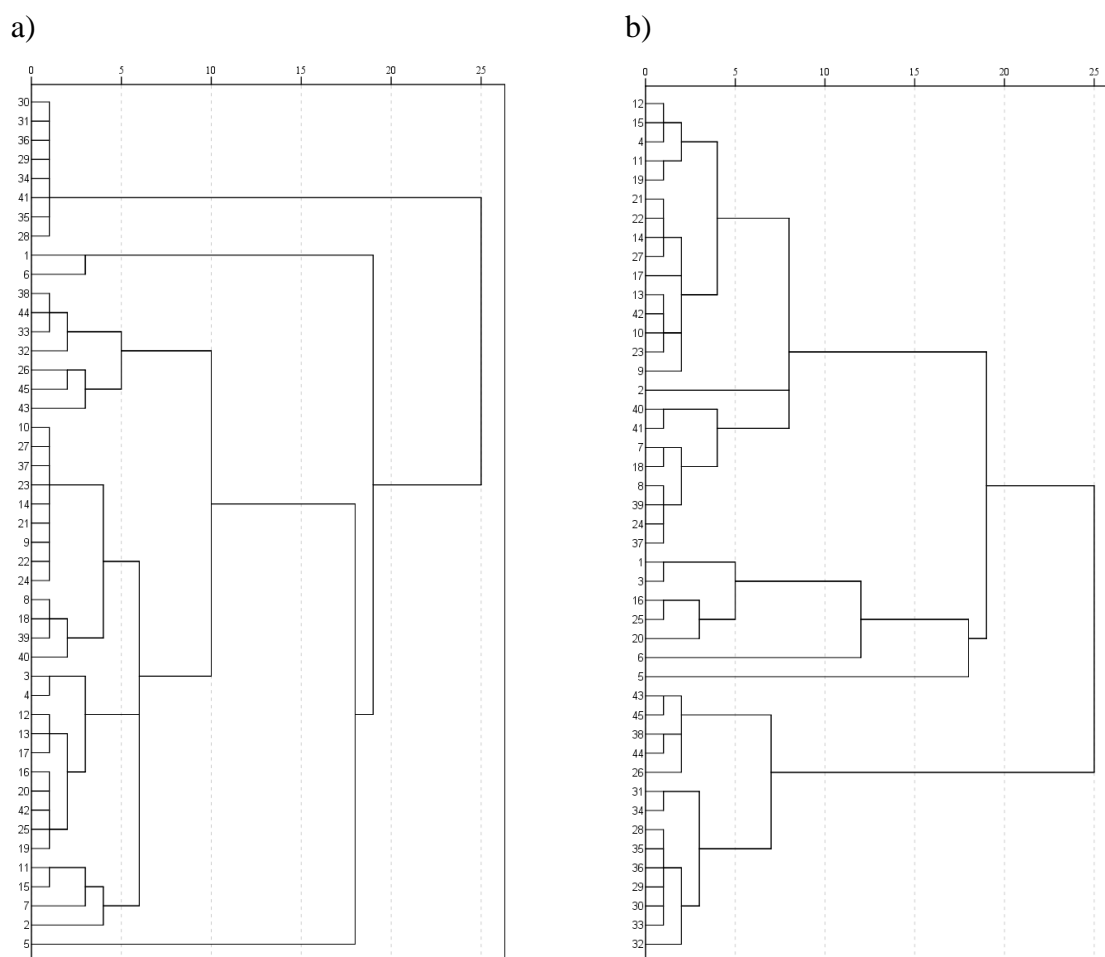


Figura 27. Dendrograma dos atributos físicos das propriedades vitícolas localizadas nas regiões de altitude de SC, nas profundidades: a) 0 a 20 cm e b) 20 a 40 cm.

6.6. CONCLUSÕES

A viticultura gera grande variação dos atributos químicos entre vinhedos e entre unidades produtoras. Os vinhedos apresentam solos com excesso de adubações verificado pela análise dos atributos químicos.

Os vinhedos das quatro regiões vitivinícolas apresentam características similares quando realizada a avaliação conjunta de todos os atributos químicos, que podem imprimir tipicidade nas uvas e vinhos produzidos. Existem propriedades vitícolas com determinada homogeneidade dos atributos dos solos, podendo conferir tipicidade a uva produzida da região.

Os atributos físicos não possibilitaram a verificação de similaridade entre os vinhedos e, assim, não contribuíram para a diferenciação ou homogeneização das propriedades para implantação de IG.

7. CAPÍTULO V

COMPARTIMENTOS DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM VINHEDOS ALTOMONTANOS DE SANTA CATARINA

7.1. RESUMO

O objetivo deste capítulo foi o de avaliar o fracionamento químico e físico da MOS em seus compartimentos, em diferentes profundidades nas áreas de vinhedos e floresta, no intuito de auxiliar na avaliação das modificações decorrentes deste uso nas 4 regiões produtoras de vinhos finos de altitude de SC. O fracionamento da MOS foi realizado nas camadas de 0 a 5, 5 a 10 e 10 a 20 cm, quantificando-se as frações de C-AF, C-AH e C-HM, além do fracionamento granulométrico da MOS, obtendo-se o COp e COam. Os vinhedos possuem valores inferiores dos teores de COT, COp e COam comparados aos de floresta, que por sua vez apresentou maior proporção de carbono de maior labilidade, o que indica que o manejo adotado nos vinhedos está contribuindo para essa redução. A fração C-HM representa a maior porção do COT e as frações C-AF e C-AH encontram-se em quantidades similares. A taxa de recuperação, que avalia o grau de humificação da MOS encontra-se em níveis normais nos solos vitícolas de altitude.

Palavras-chave: Substancias húmicas. Carbono orgânico. Fracionamento.

7.2. ABSTRACT

The aim of this chapter is to evaluate the chemical and physical fractionation of SOM in their compartments at different depths in the areas of vineyards and forest, the auxiliary objective evaluation of the changes resulting from this use in 4 regions producing fine wines altitude SC. Fractionation of SOM was performed in layers from 0 to 5, 5 to 10 and 10 to 20 cm, quantifying the levels of C-PA, C-AH and C-HM beyond the granulometric fractionation MOS, yielding the POC and OCam. The vines have lower values of TOC, POC and OCam compared to the forest, which in turn showed a higher lability of greater proportion of carbon, which indicates that the management adopted in vineyards is contributing to the reduction. The C-HM fraction is the major portion of the TOC and the C-AF-AH and C fractions are in similar amounts. The recovery rate, which evaluates the MOS degree of humification is at normal levels in wine altitude soils.

Keywords: Humic substances. Organic carbon. Fractionation.

7.3. INTRODUÇÃO

A implantação de sistemas agrícolas como a viticultura pode diminuir a adição anual de carbono orgânico ao solo, resultando em modificação quantitativa e qualitativa do conteúdo de matéria orgânica do solo (MOS) antes que a mesma alcance um equilíbrio, como é observado em sistemas naturais não alterados. Com o cultivo, as condições para oxidação da MOS são favorecidas e novo estado de equilíbrio é alcançado. Segundo Lal (2004), as reduções no conteúdo de carbono podem alcançar 60 % com o cultivo agrícola em ambientes temperados e 75 % ou mais em solos cultivados nos trópicos, acarretando consequências também nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo. Desta forma, os atributos e propriedades químicas da MOS resultam tanto do processo de formação como de mudanças devidas ao uso e manejo do solo. Neste sentido, o fracionamento químico e físico da MOS pode auxiliar na avaliação de mudanças devidas ao uso (Bayer et al., 2004; Nicoloso, 2005).

A identificação das SHs, através das frações C-AF, C-AH e C-HM, pode indicar impactos de sistemas de manejo na qualidade do solo. De acordo com as variações na distribuição das SHs, estas podem ser consideradas indicativas de processos e do grau de humificação da MOS (Nascimento et al., 2010). Os principais fatores que controlam a formação de MO humificada no solo são temperatura, presença ou ausência de bases e drenagem (Volkoff et al., 1978).

O fracionamento físico, comparado aos métodos químicos, é mais adequado para estudo qualitativo da MOS, pois está relacionado com a textura do solo e assim, resulta em frações mais associadas à estrutura e à função da MOS (Bayer et al., 2003; Feller et al., 2000).

O fracionamento granulométrico da MOS consiste na separação de duas frações orgânicas: o carbono orgânico particulado (COP) e o carbono orgânico associado aos minerais (COam). O Cop é a fração mais lábil, está associado a frações mais grosseiras, como areia e resíduos vegetais recentemente degradados, podendo assim estar livre ou fracamente associado às partículas de solo. O COam possui maior estabilidade e ciclagem mais lenta, existentes entre e dentro dos agregados do solo, fortemente ligado às partículas minerais, formando complexos organo-minerais, associados a frações mais finas, como argila (Cambardella & Elliott, 1992; Roscoe & Machado, 2002). Em sistemas onde ocorre o maior aporte de biomassa, o acúmulo de carbono ocorre preferencialmente na MO particulada. Desta forma, o COP é mais utilizado para avaliar o manejo do solo, porque é mais sensível as alterações em curto espaço de tempo; ainda como ferramenta para avaliar a qualidade do solo em áreas de cultivos onde ocorrem diferentes aportes de biomassa vegetal (Rossi et al., 2012).

A caracterização das SHs e o fracionamento granulométrico da MOS podem ser utilizados como técnicas para subsidiar a melhor compreensão da dinâmica dos sistemas agrícolas, do ciclo global do carbono e do movimento de compostos químicos no solo, que podem provocar a poluição de aquíferos (Bayer et al., 2002).

Entretanto, pedoambientes distintos têm diferenças significativas nos teores de MOS e de outros atributos que influenciam na transformação dos materiais orgânicos adicionados ao solo. As regiões de altitude em Santa Catarina têm em comuns altos conteúdos de MOS nos horizontes superficiais; baixas quantidades de cálcio e magnésio, pH baixo e altos níveis de Al trocável (Almeida, 2009). Essas características do ambiente altomontano associadas à intensidade de uso e manejo do solo podem influenciar na dinâmica da alteração da MOS e consequentemente na interação com a matriz mineral (Benites et al., 2003).

A partir do exposto, o objetivo do estudo é avaliar a compartimentalização da MOS, pelo seu fracionamento químico e físico, em vinhedos implantados nas regiões de altitude de SC, para auxiliar a avaliação de modificações decorrentes desta forma de uso agrícola.

7.4. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido em quatro regiões: Região I (Urubici); Região II (São Joaquim); Região III (Campos Novos); e Região IV (Água Doce). Em cada região, foram selecionados vinhedos implantados entre os anos de 2001 e 2005, de três propriedades produtoras de uva para vinho, onde também foram realizadas coletas em áreas com cobertura de floresta.

Em cada vinhedo e nas áreas de floresta, foram coletadas amostras deformadas nas camadas de 0 a 5, 5 a 10 e 10 a 20 cm, onde para cada profundidade, foi coletada uma amostra composta, formada a partir de cinco amostras simples. Após a coleta, as amostras foram identificadas e acondicionadas em sacos plásticos, sendo, em seguida, transportadas para o Laboratório de Gênese e Classificação de Solos da UFRRJ, secas ao ar, destorroadas e passadas por peneira de 2 mm de malha, obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA), material que foi utilizado para realizar as análises.

Foram avaliados o COT, segundo Donagema et al. (2011), e o fracionamento granulométrico da MOS (Cambardella & Elliott, 1992), obtendo-se o COp e COam.

Aproximadamente 20g de TFSA foram submetidos à agitação horizontal por 15 horas na presença de 60 ml de solução de hexametáfosfato de sódio na concentração de 5 g l⁻¹. Em seguida, a suspensão foi passada em peneira de 53 µm com o auxílio de jato de água. O material retido na peneira, que consiste no COp associado à fração areia, foi seco em estufa a 60°C, quantificado em relação a sua massa, moído em gral de porcelana e analisado em relação ao teor de carbono orgânico, conforme descrito para o COT. O material que passou pela peneira de 53 µm, que consiste no COam das frações silte e argila, foi obtido por diferença entre o COT e COp.

Para a extração e o fracionamento químico das amostras de terra, foi utilizada a técnica de solubilidade diferencial (Swift, 1996), com adaptação de Benites et. (2003), obtendo-se o carbono orgânico nas frações C-AF, C-AH e C-HM.

Para todos os dados, em cada profundidade, foi feita a avaliação da normalidade dos dados (Kolmogorov-Smirnov - Ks). Posteriormente, os resultados foram submetidos à análise de variância com aplicação do teste F e os valores médios comparados entre si pelo teste t (5 %), e, posteriormente, submetidos ao teste de Tukey com auxílio do programa ASSISTAT (Silva & Azevedo, 2002).

7.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os teores de COT apresentaram diferenças entre as regiões avaliadas, sendo observados maiores valores na região II, seguidos pela IV, na camada de 0 a 5 cm, tanto na área dos vinhedos como na de floresta (Tabela 46). Os menores valores observados na camada superficial ocorreram na região I na área de floresta e na região III para vinhedos.

Tabela 46. Resultados médios dos teores de COT, COp, COam e relação COp/COT, em áreas de vinhedo e floresta, nas regiões produtoras de vinhos finos de altitude do estado de SC.

Prof. (cm)	Regiões							
	Vinhedos				Floresta			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV
	COT (g kg ⁻¹)							
0 - 5	17,98Ba	21,48Aa	15,41Ca	18,05Ba	31,14Aa	32,13Aa	25,21Ba	29,51ABa
5 - 10	18,33Ba	22,22Aa	14,50Ca	17,71Ba	30,40Aa	30,58Aa	23,10Ba	28,10ABa
10 - 20	16,59Ba	20,32Aa	14,50Ca	17,53Ba	28,95Aa	28,16Aa	22,51Ba	26,88ABa
	COp (g kg ⁻¹)							
0 - 5	4,64Aa	5,08Aa	4,72Aa	5,5A1a	15,12BCa	18,10Aa	13,58Ca	16,18Ba
5 - 10	3,78Bb	4,74ABa	5,60Aa	4,89ABa	13,15ABab	14,15ABab	12,01Bab	14,95Aab
10 - 20	4,84Aa	4,93Aa	4,99Aa	4,90Aa	11,18ABb	13,10Ab	10,11Bb	12,02ABb
	COam (g kg ⁻¹)							
0 - 5	13,34Bb	16,40Aa	10,69Ca	12,54Ba	16,02Aa	14,03Ba	11,63Ca	13,33Ca
5 - 10	14,55Aa	17,48Aa	8,90Ca	12,82Aa	17,25Aa	16,43Aa	11,09Ca	13,15Ba
10 - 20	11,75BCb	15,39Aa	9,51Ca	12,63Ba	17,77Aa	15,06Ba	12,40Ca	14,86Ba
	COp/COT							
0 - 5	0,26Aa	0,24Aa	0,3A1a	0,31Aa	0,48Aa	0,56Aa	0,54Aa	0,55Aa
5 - 10	0,21Ba	0,21Ba	0,41Aa	0,28ABa	0,40Aab	0,46Aa	0,50Aa	0,53Aa
10 - 20	0,29Aa	0,24Aa	0,34Aa	0,28Aa	0,33Bb	0,47Aa	0,45Aa	0,45Aa

Os menores valores observados nas áreas de vinhedos da região III podem estar relacionados tanto as práticas de manejo como ao maior revolvimento do solo no momento da implantação da cultura que, associado às menores altitudes, quando comparada às demais regiões, pode ter favorecido a rápida mineralização da MO.

Os maiores valores, observados nas áreas de floresta das regiões II e IV, podem estar relacionados ao clima, pois nessas áreas observam-se as maiores altitudes entre as regiões avaliadas, assim como ao aporte contínuo de serapilheira pela floresta.

Quando se comparam os valores de COT da área de floresta com os das áreas de vinhedos observa-se padrão similar entre as regiões, com diminuição dos valores nas áreas de vinhedo, entre 39 % na camada superficial da região IV e 27 % nas camadas subsuperficiais da região II. Entretanto, as maiores reduções de COT foram observadas na região I, variando de 40 a 43 %, devido provavelmente aos maiores teores de areia nos solos destas áreas.

A redução no teor de carbono e nutrientes da MO, na fase inicial de uso do solo com cultivo de sistemas agrícolas, é maior do que o retorno deste via deposição de resíduos, o que pode ser revertido com a utilização de um manejo adequado do solo (Brun, 2008).

Entre as profundidade avaliadas observou-se, nas áreas de floresta, decréscimo em profundidade dos teores de COT em todas as regiões. Já nos vinhedos não se observou este padrão, com alternância de quantidade dos teores, que pode estar relacionado ao revolvimento

dos solos, influenciando em alguns casos, em valores maiores em profundidade quando comparados aos camada superficial.

Os valores de COp foram bem superiores nas áreas de floresta em relação às áreas de vinhedo. O padrão do COp foi diferenciado, sendo que na área de floresta estes valores são mais elevados na camada superficial em todas as regiões analisadas, enquanto nas áreas de vinhedos este padrão não se repete, mostrando que o sistema é alterado por ações antrópicas.

Alguns autores consideram que o COp pode funcionar como indicador da qualidade da MOS em relação às alterações de manejo e, a curto prazo, nas camadas superficiais (Conceição et al., 2005; Loss et al., 2009). Resultados obtidos por Nicoloso (2005) e Loss et al. (2009) mostraram que a variação dos teores de COp entre as diferentes áreas, na profundidade de 0-5 cm, foram dependentes da adição de resíduos vegetais. Desta forma, sistemas de uso do solo que propiciem a adição de resíduos na superfície do solo influenciam a manutenção dos valores de COp. Porém, este padrão não foi observado nas áreas de vinhedo, provavelmente pela baixa taxa de adição de resíduos desta cultura.

A avaliação da relação COp/COT indicou na maioria dos casos valores inferiores para as áreas de vinhedo, que variaram entre 0,21 a 0,41. Nas áreas de floresta esta relação variou entre 0,33 e 0,56, com menores valores em profundidade. Assim, a área de floresta apresentou maior proporção de COp, de maior labilidade, no COT, quando comparado aos vinhedos, o que pode ser atribuído ao seu maior teor de C e pelo aporte de resíduos vegetais na superfície.

O COam apresentou valores superiores ao COp tanto nas áreas de floresta como nos vinhedos. Segundo Nicoloso (2005) os estoques de COT são compostos em mais de 80 % pelo COam, fato não observado neste estudo, onde nas áreas de vinhedo os valores variaram entre 65 a 79 % e na floresta foram ainda menores, entre 44 e 61 % da COT.

O COam é menos modificado pelas formas de uso e manejo adotadas, principalmente a curto prazo (Bayer et al. (2004), respondendo de maneira lenta aos efeitos de manejo de preparo de solo e culturas, pelo fato de interagir com a fração argila do solo, tornando-se assim, mais estável no sistema, especialmente nos solos argilosos e muito argilosos (Figueiredo et al., 2010), como os dominantes da área de estudo.

Quanto ao fracionamento químico, a maior parte do COT presente nos solos avaliados foi composta por C-HM (Tabela 47), tanto nas áreas de floresta como nos vinhedos, nas 3 profundidades. Na área de floresta os maiores valores foram observados nas profundidades de 0 a 5 e 5 a 10 cm da região III e nos vinhedos nas mesmas profundidades da região I. Nas áreas de floresta o C-HM representou cerca de 50 % das SHs, porém nas áreas de vinhedos este valor foi sempre superior a 60 % do total das SHs, alcançando valor máximo de 74 %.

Os maiores percentuais do C-HM observados nas áreas de vinhedos podem estar relacionados aos resíduos culturais da videira, principalmente devido às podas, que produzem maior quantidade de resíduos vegetais com maior relação C/N e lignina/N, os quais possuem levam maior tempo para decomposição e podem favorecer o aumento de frações recalcitrantes no solo. Em função da elevada estabilidade da fração HU, pode ter ocorrido incremento de carbono nesta fração oriundo do uso da área antes da implantação dos vinhedos, através de gramíneas usadas como cobertura e das coberturas anteriores incluindo a própria Floresta nativa, ou seja, a fração HU é um produto de vários usos e coberturas do solo.

As gramíneas, devido ao seu denso sistema radicular, em contato com as partículas minerais, contribuem à estabilização da MOS, promovendo aumento da MO adicionada ao solo, favorecendo o incremento de frações mais humificadas (Pinheiro et al., 2003). O C derivado de raízes tem tempo residência médio de 2,4 vezes maior que o C derivado da parte aérea, e a contribuição das raízes para a MOS é cerca de 30 % maior que a da parte aérea (Rossi et al., 2011).

Os maiores percentuais de C-HM nas áreas dos vinhedos implicam em dizer que essas áreas possuem predomínio de frações com elevada resistência à degradação microbiana

devido à forte interação do C-HM com a fração mineral do solo (Stevenson, 1994). Essa fração está mais intimamente associada aos colóides minerais do solo e encontra-se distribuída de forma aleatória no solo (Canellas et al., 2000).

Os maiores valores absolutos de C-HM foram observados nas camadas superficiais das áreas de floresta, os quais seguiram o mesmo padrão observado para o COT, o que pode ser atribuído ao maior aporte de serapilheira e ausência da influência antrópica nestas áreas. Em ambientes naturais, a formação das SH está associada à atividade microbiana sendo a humificação, ao longo do tempo, o resultado final do processo microbiológico (Machado & Gerzabeck, 1993).

Segundo Horák et al. (2007), a acumulação de C-HM ocorre quando o teor de MOS é mais elevado, fato que não se observou no presente estudo, em que a maior concentração foi verificada nas áreas de vinhedos, que apresentam menores teores de COT quando comparados às áreas de floresta.

Tabela 47. Resultados médios dos teores de C-HM, C-AF, C-AH, taxa de recuperação e relação AH/AF, em áreas de vinhedo e floresta, nas regiões produtoras de vinhos finos de altitude do estado de SC.

Profund. (cm)	Regiões							
	Vinhedos				Florestas			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV
	C-HM (g kg ⁻¹)							
0 - 5	11,87Aa	8,98Ba	9,27Ba	9,49Bb	12,01Ba	14,87Aa	12,85Ba	12,14Ba
5 - 10	11,12Aa	8,69ABa	6,23Bb	12,13Aa	11,36ABab	13,25Aa	10,05Bb	10,14Bb
10 - 20	9,11Ab	10,27Aa	8,50Aab	9,90Ab	10,75Ab	8,54Bb	9,98ABb	11,20Aab
	C-AF (g kg ⁻¹)							
0 - 5	2,51Aa	2,16Aa	2,36Aa	2,28Aa	7,14Aa	7,41Aa	5,84Ba	6,12ABa
5 - 10	1,79Bb	2,83Aa	2,17ABa	2,28Aa	5,98ABb	7,82Aa	5,14Aa	5,12Aa
10 - 20	2,64Aa	2,55Aa	1,77Bb	2,13ABa	6,51ABab	7,46Aa	4,96Ba	5,24Ba
	C-AH (g kg ⁻¹)							
0 - 5	2,62Aa	2,22Aa	2,13Aa	2,70Aa	7,23Aa	6,89Aa	4,12Bb	6,25ABa
5 - 10	2,16ABa	2,67Aa	1,66Ba	2,43Aa	6,14ABa	7,12Aa	5,82Ba	5,87Ba
10 - 20	2,48Aa	2,36Aa	2,21Aa	2,70Aa	6,78ABa	7,89Aa	5,25Bab	5,14Ba
	Taxa de recuperação							
0 - 5	94,55Aa	62,20Bb	89,29Aa	80,17ABb	84,71Aa	90,79Aa	90,48Aa	83,06Aa
5 - 10	82,21ABb	63,86Bb	74,52ABb	95,09Aa	77,24Ba	92,18Aa	90,95Aa	75,20Ba
10 - 20	85,77Ab	74,70Aa	86,07Aa	84,03Ab	83,04Aa	84,84Aa	89,69Aa	80,28Aa
	AH/AF							
0 - 5	1,04ABab	1,03ABa	0,90Bb	1,18Aab	1,01Aa	0,93Aa	0,71Bb	1,02Aa
5 - 10	1,21Aa	0,94ABa	0,76Bc	1,07ABb	1,03Aa	0,91Aa	1,13Aa	1,15Aa
10 - 20	0,94Bb	0,93Ba	1,25Aa	1,27Aa	1,04Aa	1,06Aa	1,06Aab	0,98Aa

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na linha e minúscula na coluna, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

A maior concentração da fração C-HM em relação às outras frações, também foi observada em diversos estudos em solos tropicais (Loss et al., 2009; Rossi et al., 2011; Rossi et al., 2012; Gazolla et al. 2015). Ebelling et al. (2011), em estudo para caracterizar a distribuição de SHs e atributos edáficos em perfis de solos de diferentes regiões do Brasil, mostraram que a C-HM é a fração encontrada na maioria dos solos brasileiros em maior quantidade. A C-HM é a fração mais significativa como reserva de carbono orgânico no solo,

tem alta massa molecular (Ferreira et al., 2004) e é a fração menos solúvel (Canellas & Santos, 2005).

Os elevados teores de argila presentes na maioria dos solos estudados podem ter propiciado maior grau de humificação da MO e o aumento de C-HM, mostrando o efeito da textura na manutenção da MOS. Alguns autores incluem o relevo como um dos fatores que influenciam a formação de C-HM, destacando que o maior conteúdo de argila nas posições mais elevadas do relevo estabiliza e protege grande parte do C orgânico da mineralização (Volkoff et al., 1984; Canellas et al., 2000; Ebelling et al., 2011). Entretanto, neste estudo não se observou diferença da C-HM nas diferentes regiões avaliadas, que possuem diferenças significativas nas formas de relevo. Considerando os elevados teores de alumínio e de acidez destes solos, essas características podem ter influenciado fortemente no padrão das frações húmicas. Para Volkoff et al. (1984), a participação do alumínio no processo de acumulação do húmus deve ser considerada.

O C-AF e o C-AH apresentaram valores similares entre si tanto na área de floresta como nas áreas dos vinhedos, entretanto os valores da floresta foram superiores para as duas frações.

Os teores de C-AF representaram de 12 a 22 % do total das SHs nas áreas dos vinhedos e de 24 a 31 % nas áreas de floresta. Nas áreas de floresta, que apresentam solos de textura variando de argilosa a muito argilosa, normalmente verificam-se teores mais elevados de carbono, especialmente na forma da C-AF, pois essas texturas apresentam maior capacidade de retenção destes ácidos (Assis et al., 2006).

Em estudo que avaliou o efeito de diferentes formas de manejo do solo sobre a MOS e na biomassa microbiana em um Latossolo, Marchiori Junior & Melo (2000) também observaram que na área de floresta foram verificados os maiores valores de COT no solo e na fração C-HM. No mesmo estudo, os autores verificaram que o uso agrícola do solo aumentou a porcentagem de COT nas formas de C-AH e C-AF, em relação à floresta, sendo este padrão divergente do observado no presente estudo, nas áreas de vinhedo e floresta em SC. Marchiori Junior & Melo (2000) avaliaram também que tanto na área de floresta como nas áreas sob cultivo os teores de C-AF foram menores quando comparados ao de C-AH.

O C-AF é mais estável no solo em comparação ao C-AH, pela maior capacidade de formar complexos argilo-húmicos, e desta forma, em solos com textura mais argilosa possuem maior importância na formação dos agregados (Mendonça & Rowell 1996). O clima, influenciado pela altitude, pode ter refletido nos teores mais elevados de C-C-AF em algumas áreas. As baixas temperaturas diminuem a rapidez do processo de mineralização das SH do solo, contribuindo para o aumento dos teores desta fração.

Uma característica da fração C-AF é a de ser o principal fluxo de carbono no sistema, devido sua maior solubilidade e mobilidade através do solo. No entanto em alguns casos não se observou aumento desta fração nas camadas mais profundas (Tabela 47). Também não foram verificadas diferenças em profundidades para as frações de C-AF e C-AH. De acordo com Fontana et al. (2006), essas frações por apresentarem menor estabilidade, podem ser translocadas para camadas mais profundas, serem polimerizadas ou mineralizadas, e diminuir, assim, seu teor residual no solo.

Os valores da fração de C-AH variaram de 14 a 19 % em relação ao teor da COT nas áreas de vinhedo e entre 18 a 28 % nas áreas de floresta, sendo que os maiores valores podem estar associados aos solos com menores teores de argila.

Em estudo avaliando a composição da MO humificada de Argissolo Amarelo distrófico nos Tabuleiros Costeiros sob cultivo, Canellas & Façanha (2004) observaram que o conteúdo de C-AH foi sempre menor em comparação ao da fração C-AF, sendo que os maiores valores da fração C-AH foram observadas nas camadas superficiais. Os maiores

teores foram observados para a fração C-HM e a razão AH/AF foi sempre menor que um, diminuindo em profundidade.

A diminuição dos valores da fração C-AH das áreas dos vinhedos em comparação a área de floresta pode estar relacionada à calagem para a correção da acidez do solo, que interfere na dinâmica das SHs, sendo observada normalmente a diminuição do conteúdo da fração C-AH. Este fato pode estar relacionado com a diminuição do conteúdo de alumínio trocável, visto que a calagem diminui as formas de alumínio trocável e aquelas associadas com as moléculas orgânicas (Mendonça & Rowell, 1996).

A razão AH/AF foi usada por Kononova (1982) como um indicador da qualidade do húmus, pois expressa o grau de evolução do processo de humificação da MO. Em solos tropicais, normalmente, razões menores são devidas à menor intensidade do processo de humificação, isto é, à condensação e síntese, atribuídas à intensa mineralização dos resíduos, restrições edáficas e ao baixo conteúdo de bases trocáveis à atividade biológica nos solos mais intemperizados (Canellas et al., 2002). Os maiores valores da fração C-AH observados em alguns casos, em detrimento aos teores de C-AF são apontados como evidência de solos mais preservados, ou sob manejo mais conservacionista (Canellas et al., 2003).

Na avaliação do grau de humificação da MOS, através da análise da relação AH/AF, verificou-se valores próximos ou superiores a um (1,0) na maioria das regiões e profundidades avaliadas, tanto nas áreas de vinhedo como nas de floresta. Quanto maior o valor da relação AH/AF, mais intensos são os processos de polimerização e condensação (Giácomo et al., 2008). Baixos valores da relação AH/AF indicam evolução limitada da MO adicionada, devido ao manejo ou por processos pedogenéticos ou ainda por aporte recente de MO, favorecendo a formação da fração C-AF em relação a C-AH. Os baixos valores também podem indicar uma menor lixiviação ou translocação das SHs no perfil do solo (Canellas et al., 2000).

Foram observados valores abaixo de 0,80 apenas na região III, tanto na camada superficial da área de floresta (0,71) e na camada de 5 a 10 cm da áreas de vinhedo (0,76).

A taxa de recuperação, que avalia o grau de humificação da MOS através da relação $C-AH+C-AF+C-HM/COT$, mostrou para as áreas de floresta valores entre 75 a 92 % e para as áreas de vinhedo valores entre 62 a 95 %. Segundo Moreno (1996), são considerados valores normais os que se localizam entre 65 e 92 %. Valores inferiores, como observados nas camadas superficiais da região II (62 e 64 %), podem indicar resíduos orgânicos recém adicionados ao solo que ainda não foram decompostos. Já os valores mais elevados observados na camada superficial da região I (95 %) e na camada de 5 a 10 cm da região IV (95 %), indicam áreas onde ocorre menor aporte ou maior velocidade de decomposição da MO.

7.6. CONCLUSÕES

As áreas dos vinhedos apresentaram menores valores de COT, COp e COam comparados aos de floresta, indicando que o manejo adotado na lavoura está contribuindo para a redução da matéria orgânica do solo.

A área de floresta apresentou maior proporção de COp de maior labilidade, quando comparada as áreas de vinhedos

A fração C-HM representa a maior porção do COT e as frações C-AF e C-AH encontram-se em quantidades similares. A taxa de recuperação, que avalia o grau de humificação da MOS, encontra-se em níveis normais nos solos vitícolas de altitude.

8. CAPÍTULO VI

SISTEMA DE APTIDÃO AGRÍCOLA E PROPOSTA DE ZONEAMENTO PARA VITICULTURA NO ESTADO DE SANTA CATARINA

8.1. RESUMO

A hipótese deste estudo é de que a aplicação de sistema de avaliação da aptidão agrícola adaptado para a cultura da videira e para as condições de produção específicas de elevada altitude, com a inclusão de níveis de manejo diferenciados para a cultura, bem como a redefinição dos graus de limitações das condições agrícolas das terras, contribuirá para melhorar a eficiência da avaliação. Diante deste contexto, objetivou-se inicialmente avaliar e comparar a aptidão agrícola através das metodologias do Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras (SAAAT), Sistema de Classificação da Capacidade de Uso (SCCU), Classificação da Aptidão de Uso das Terras do estado de Santa Catarina (CAUTSC) e os Critérios Edáficos para a Viticultura no Vale dos Vinhedos (CEVVV), em 38 perfis de solo de áreas produtoras de vinhos finos em regiões de altitude em SC. Além disto, buscou-se elaborar uma proposta para seleção de áreas potenciais para vitivinicultura, utilizando-se de variáveis ambientais. Os resultados indicaram que, em todas as metodologias avaliadas, as áreas foram classificadas como de baixa aptidão agrícola para culturas anuais. Diante disto, foi proposto adaptar o SAAAT para a cultura da videira produzida em região de altitude no estado de SC. Para tal, o SAAAT foi modificado a partir das exigências e forma de manejo da cultura, sendo proposta a incorporação, eliminação, ajustes e atualizações de parâmetros usados no SAAAT. Os fatores de limitação considerados foram: a) Topográficos (altitude, aspecto e declividade); b) Fertilidade (saturação por bases - V, teores de fósforo e potássio); c) Excesso de água ou deficiência de oxigênio (classes de drenagem); d) Suscetibilidade à erosão (erodibilidade e declividade); e) Impedimento à mecanização (pedregosidade/rochosidade juntamente com a declividade); e f) Profundidade efetiva. Estes parâmetros resultaram de levantamento de dados de bibliografia e foram relacionados a eles cinco graus de limitação: nulo (N); ligeiro (L); moderado (M); forte (F) e muito forte (MF). As classes de aptidão agrícola (Boa, Regular, Restrita e Inapta) resultaram da interação das condições agrícolas e do nível de manejo dos viticultores e ao final, foi adaptado o quadro-guia de aptidão. A adaptação do SAAAT para a videira, considerando as condições específicas de altitude no estado de SC, incorpora e ajusta aspectos locais relevantes para o sistema de produção da uva. Ainda, a elaboração da proposta de zoneamento para a atividade mostrou-se como importante ferramenta para a tomada de decisões na implantação de novos vinhedos, possibilitando à expansão da atividade e/ou a orientação dos produtores para investimentos vitivinícolas na região.

Palavras-chave: Viticultura. Fatores limitantes. Tomada de decisão. Solo.

8.2. ABSTRACT

Thus, the hypothesis of this study is that the application of the evaluation system of agricultural suitability adapted to the growing of vines and the specific production conditions of high altitude will help to improve the evaluation of efficiency, with the inclusion of different management levels for culture and the redefinition of the degree of limitation of agricultural condition of land. In this context, it aimed initially was to evaluate and compare the agricultural potential through the methodologies of Lands Agricultural Aptitude Assessment System (SAAAT) System Capacity Use Classification (SCCU) Rating fitness of Use Lands of the State of Santa Catarina (CAUTSC) and edaphic Criteria for Viticulture in the Valle dos Vinhedos (CEVVV) in 38 soil profiles in areas producing fine wines in SC altitude regions. In addition, we sought to develop a proposal for selection of potential areas for wine production, using environmental variables for later use with GIS assistance. The results indicated that the areas in all evaluated methodology have low agricultural aptitude for annual crops. Therefore, it was proposed to adapt the evaluation system of agricultural suitability of the land (SAAAT) to the culture of the vine produced in altitude region in the state of SC. To this end, the SAAAT was modified from the requirements and form of crop management, and proposed the incorporation, disposal, adjustments and updates parameters used in SAAAT. The limiting factors considered were: a) Topographic (altitude, aspect and slope); b) Fertility (base saturation - V, phosphorus and potassium; c) Excess water or oxygen deficiency (drainage classes); d) Susceptibility to erosion (erodibility and slope); e) Impediment mechanization (stoniness / rockiness along with the slope); and f) Effective depth. These parameters resulted bibliography of data collection and were related to them five degrees of limitation: null (N); light (L); medium (M); forte (F) and very strong (MF). Agricultural suitability classes (Good, Fair, Restricted and inept) resulted from the interaction of agricultural conditions and management level of the wine growers and the end was adapted the fitness guide frame. The adaptation of SAAAT for the vine to the specific altitude conditions in SC state incorporates and adjusts locations relevant to the grape production system. The zoning proposal elaboration for the activity will be an important tool for decision making in the implementation of new vineyards, enabling the expansion of the activity and / or guide producers to wine investment in the region.

Keywords: Viticulture. Limiting factors. Decision taking. Soil.

8.3. INTRODUÇÃO

Para adequar as condições específicas de cada paisagem para um determinado uso do solo, é necessário um planejamento adequado, no intuito de maximizar os resultados esperados. O uso indiscriminado das terras, sem levar em conta suas potencialidades e limitações peculiares de cada região, é uma das principais causas da degradação do solo, erosão e perda de sua capacidade produtiva (Pereira, 2002).

No Brasil, as principais metodologias de classificação das terras de acordo com a sua aptidão ou potencial agrícola são o Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras (SAAAT) proposto por Ramalho Filho & Beek (1995) derivado do sistema FAO e o Sistema de Classificação da Capacidade de Uso (SCCU) adaptado por Lepsch et al. (1991) do *Land Capability Classification Americano*. Em SC foi desenvolvida por Uberti et al. (1991) a metodologia para Classificação da Aptidão de Uso das Terras do Estado de SC (CAUTSC), adaptada para as condições do estado, onde foram estabelecidas cinco classes de aptidão de uso, possibilitando uma melhor avaliação do potencial, tanto para uso com culturas anuais quanto para usos menos intensivos. No Rio Grande do Sul, Sarmento et al. (2011) propuseram um conjunto de critérios edáficos para a viticultura no Vale dos Vinhedos (CEVVV), utilizados para interpretar e avaliar as propriedades do solo do ponto de vista da sua adequação.

Essas metodologias de avaliação das terras constituem ferramentas de suporte a tomada de decisão, que propõem diagnóstico mais adequado para o uso das terras, com a indicação de práticas agrícolas para o seu melhoramento, baseadas nas limitações e de como essas restringem a aptidão ou capacidade de uso (Delarmelinda et al., 2011). Entretanto, muitas metodologias podem não ser adequadas para condições locais ou não consideram potencialidades do ambiente, demandas fisiológicas para uma determinada cultura e condições socioeconômicas do sistema de produção.

Desta forma, a hipótese do estudo é a de que diferentes metodologias de avaliação da aptidão agrícola dos solos podem resultar em diagnósticos diferenciados para a mesma área.

Assim, o objetivo do estudo foi de avaliar e comparar a aptidão agrícola através das metodologias SAAAT, SCCU, CAUTSC e CEVVV em perfis de solo provenientes de áreas produtoras de vinhos finos em regiões de altitude de SC.

As pequenas propriedades rurais no estado de SC necessitam desenvolver atividades que possibilitem maior retorno econômico face às fortes limitações de área disponível para a produção agrícola. Dentre as alternativas, a viticultura tem mostrado viabilidade econômica para estas propriedades, nas quais os cultivos tradicionais não garantem mais a sustentabilidade. Além disto, os avanços da vitivinicultura na busca pela qualidade, em detrimento da quantidade têm aumentado à elaboração de vinhos varietais, o que também alterou o perfil de muitos produtores, entre os quais se encontram hoje empresários de outros setores e profissionais liberais (Rigon, 2006).

Desta forma, uma questão importante na cadeia produtiva do vinho é encontrar áreas com bom potencial para a instalação de novos vinhedos, visto que os custos de estabelecimento e a manutenção são altos, assim os produtores necessitam informações adequadas sobre a aptidão das terras para auxiliar a tomada de decisão. Por outro lado, a subutilização de terras, com a produção de videira em áreas não favoráveis a cultura, pode acarretar aumento nos custos de produção e, ainda mais importante, perda de qualidade dos vinhos. Estes aspectos justificam a importância da utilização de um sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras adaptado a cultura e ao seu manejo.

Cada lavoura tem respostas diferentes diante de limitações por deficiência de fertilidade natural, necessidade de água ou qualquer outra condição agrícola, de forma que a avaliação da aptidão por cultura culminaria em resultados mais efetivos para a produção agrícola (Ribeiro, 2007). Larach (1990) ressalta que, embora a concepção da metodologia de aptidão agrícola tenha sido desenvolvida para interpretação de levantamentos generalizados, ela é suficientemente elástica para permitir ajustes a demandas específicas. Neste sentido, Araújo & Assad (2001) utilizaram o SAAAT como base para propor metodologia de zoneamento pedoclimático para o arroz de sequeiro, das terras de Goiás e do Distrito Federal.

A importância dos atributos do solo no cultivo da uva para produção de vinho é reconhecida pela maioria dos produtores, mas é geralmente tratada como um fator secundário quando comparado ao clima e ao manejo da copa (Santos, 2006). O solo influencia na produtividade da videira e qualidade do vinho, através de muitos de seus componentes.

Avaliando os efeitos das condições meteorológicas e do tipo de solo sobre características físico-químicas e compostos fenólicos da uva 'Cabernet Sauvignon', em Cambissolo Háplico e Cambissolo Húmico, Luciano et al. (2013) observaram que a disponibilidade de água foi o principal fator de diferença entre os dois solos e, provavelmente, a variável com maior efeito sobre a composição da uva (Van Leeuwen et al., 2009).

O SAAAT apresenta algumas vantagens para sua adaptação a condições específicas de determinada cultura, entre elas: a) reconhecimento em nível nacional; b) considera, na sua estrutura, diferentes níveis de manejo em função de características dos agricultores; c) pode ser ajustado e atualizado frente a novos conhecimentos; d) aceita adaptações e aplicações em diferentes escalas de mapeamento das terras; e) considera a viabilidade de redução de limitações, pelo uso de capital e tecnologia, distinguindo assim o agricultor pelo seu potencial de investimento em práticas agrícolas.

Assim, a hipótese deste estudo é de que a aplicação de sistema de avaliação da aptidão agrícola adaptado para a cultura da videira e para as condições de produção específicas de elevada altitude em Santa Catarina contribuirá para melhorar a eficiência da avaliação, com a inclusão de níveis de manejo diferenciados para a cultura, bem como a redefinição dos graus de limitações das condições agrícolas das terras.

Diante deste contexto, objetivou-se neste estudo adaptar o SAAAT, preconizado por Ramalho Filho & Beek (1995), para a cultura da videira produzida em região de altitude no estado de SC.

A definição e o mapeamento de áreas potenciais adequadas para o cultivo de uvas direcionadas a produção de vinho, através da análise do clima e variáveis do solo, tem sido foco de inúmeras pesquisas em diferentes regiões produtoras do mundo (Young et al., 2000; Bowen & Hollinger, 2004; Jones et al., 2004; Smith, 2006; Day et al., 2006).

Para a obtenção de maiores produções e melhor qualidade dos produtos, o zoneamento pedoclimático é um fator básico na definição das culturas mais indicadas para determinadas áreas ou regiões. O resultado representa assim, uma ferramenta de grande importância para o planejamento de uma agricultura técnica e economicamente bem sucedida, observadas as exigências da cultura eleita e o nível de tecnologia a ser empregado (Aguiar et al., 2000). Para Flores et al. (2011), a determinação de zonas de aptidão potencial podem ser obtidas a partir de um modelo que incorpore um conjunto de dados, desenvolvidos em nível de escala regional ou local, como ferramenta para a avaliação de cenários alternativos de ordenamento territorial.

Para a realização de um zoneamento direcionado a uma determinada atividade, como a viticultura, por exemplo, primeiramente é necessário determinar os fatores que de alguma forma afetarão o sucesso ou não da produção dos vinhedos. Neste sentido, os fatores ambientais são os principais elementos, sendo o solo, o relevo e o clima os fatores preponderantes para estabelecer as aptidões de cada unidade da paisagem (Boldrini, 2009).

O zoneamento deve conter os elementos técnicos necessários à delimitação de zonas de excelência da produção, onde deve ser remetida ao consumidor a tipicidade dos vinhos oriundos especificamente da área geográfica, destacado a qualidade e as características ímpares do produto nelas cultivado (Tonietto & Flores, 2004).

Apesar da proximidade dos campos de conhecimento da pedologia e da agronomia, ainda não foi possível transpor as unidades de mapeamento de solos diretamente para um mapa de áreas potenciais para obtenção de vinhos de qualidade. Muitas vezes, pequenas diferenças entre dois perfis de solo (diferenças na quantidade de MO ou na espessura do solo, por exemplo) podem ser suficientes para modificar o potencial de qualidade para a produção de vinho, sem que haja uma mudança na classificação pedológica.

Os solos apresentam uma grande variabilidade no espaço e não é raro encontrar várias classes de solo em apenas um hectare. Desta forma, mapas de solo possuem maior utilidade para avaliação do potencial agrícola quando confeccionados em grandes escalas (1:25.000 a 1:5.000). Em escalas menores (1:100.000 e 1:250.000) várias classes de solo são agrupadas em unidades de mapeamento, dificultando seu estudo para definição de áreas potenciais a vitivinicultura. Bodin & Morlat (2006) criaram um modelo sintético elaborado para solos de formações sedimentares com base na profundidade do solo e o grau de evolução do perfil. Este modelo permite um zoneamento de potencial vitícola eficiente a um custo menor em comparação com o mapeamento dos solos tradicional.

Com o avanço constante das ferramentas de geoprocessamento, a realização de zoneamentos ambientais tornou possível e de forma rápida obter resultados confiáveis para a interpretação do potencial de uso para lavouras. Essas ferramentas permitem a estruturação da base de dados espaciais e sua posterior sobreposição para a geração de novas informações de forma a alcançar os objetivos pretendidos (Ranieri, 2007). Os sistemas de informações geográficas (SIGs) possibilitam a manipulação integrada de conjuntos de diferentes dados e assim, contornam as dificuldades logísticas que existem nos estudos em grandes escalas, como os realizados em escalas regionais e locais (Burrough & McDonnell, 2005).

O custo de implantação de vinhedos é elevado, assim, o objetivo do presente estudo foi elaborar uma proposta para seleção de áreas potenciais para vitivinicultura, utilizando-se de variáveis ambientais, para sua posterior utilização com auxílio de SIG. Essa proposta poderá ser aplicada como ferramenta na geração de mapas de áreas potenciais para vitivinicultura possibilitando a expansão da atividade e/ou orientar os produtores para investimentos vitivinícolas no ambiente de altitude de SC.

8.4. MATERIAL E MÉTODOS

8.4.1. Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras

Os perfis foram classificados de acordo com a sua aptidão ou potencial agrícola pelo Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras (SAAAT) proposto por Ramalho Filho e Beek (1995), o Sistema de Classificação da Capacidade de Uso (SCCU) adaptado por Lepsch (1991), a metodologia para Classificação da Aptidão de Uso das Terras do Estado de Santa Catarina (CAUTSC) de Uberti et al. (1991), e pelos critérios edáficos para a viticultura no Vale dos Vinhedos (CEVVV) de Sarmiento et al. (2011).

8.4.2. Bases e Critérios para Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola para Videira em Ambiente Altomontano

Para a implementação de sistema de aptidão agrícola para a cultura da videira em regiões de altitude, utilizou-se o método preconizado pelo SAAAT (Ramalho Filho & Beek, 1995) com modificações a partir das exigências e forma de manejo da cultura, sendo realizada, a incorporação, eliminação, ajustes e atualizações de parâmetros e critérios usados no SAAAT.

As modificações ocorreram tanto nos níveis de manejo como nas condições agrícolas das terras, estabelecendo-se valores e/ou intervalo de valores para todos os parâmetros considerados na avaliação, tendo como referência o que foi apresentado por Pereira (2002). O princípio básico foi eleger indicadores com significância para a cultura, nas condições específicas de elevada altitude, assim estabelecendo critérios diferenciados para a avaliação da aptidão das terras.

Além da introdução de novos parâmetros, alguns deles foram combinados nas avaliações. Foram utilizados para tal, dados disponíveis na bibliografia sobre a produção da uva, sendo agrupados em cinco graus de limitação: nulo (N); ligeiro (L); moderado (M); forte (F) e muito forte (MF).

Os fatores de limitação foram determinados da seguinte forma:

a) Fatores topográficos: avaliados com base em três componentes da paisagem - altitude, orientação das vertentes e declividade.

A avaliação dos níveis de altitude está relacionada ao preconizado no regulamento da marca coletiva Acavitis - Associação Catarinense dos Produtores de Vinhos Finos de Altitude (2006), que limita a faixa mínima de altitude para seus vinhedos em 900 m. A orientação das vertentes (aspecto) baseou-se nos estudos de Acharya & Yang (2015), adaptados para as condições do hemisfério sul. A declividade foi baseada nas classes propostas por Jones et al. (2004).

b) Fator fertilidade: a interpretação dos níveis de fertilidade foi feita através da combinação dos atributos edáficos teores de fósforo (Raij et al., 1997) e de potássio (Lanyon et al., 2004).

c) Excesso de água ou deficiência de oxigênio: este fator foi estabelecido a partir das classes de drenagem (Santos et al., 2013a), com adaptações na metodologia original do SAAAT (Ramalho Filho & Beek, 1995).

d) Suscetibilidade à erosão: foi considerada a erodibilidade, fator K (Giboshi, 1999), associada às classes de declividade, estabelecendo-se assim os graus de limitação, conforme Pereira (2002).

e) Impedimento à mecanização: foi considerada a adaptação realizada por Pereira (2002), que considera a combinação entre a pedregosidade/rochosidade e a declividade do terreno.

f) Profundidade efetiva: com base nas exigências da cultura da videira, especialmente relacionada ao sistema radicular, que raramente excede 1,20 m em que 90 % das raízes se distribuem nos primeiros 0,60 m de profundidade. Ainda, a maior parte das raízes responsáveis pela absorção de nutrientes ocorre entre 0,20 e 0,60 m de profundidade (Sarmiento et al., 2011).

As classes de aptidão agrícola foram as mesmas do SAAAT (boa, regular, restrita e inapta), porém sua definição resulta da interação das condições agrícolas e do nível de manejo dos viticultores no ambiente de alta altitude no estado de SC. O quadro-guia, que constitui orientação geral para a classificação da aptidão agrícola das terras em função dos graus de limitação dos fatores, relacionados com os níveis de manejo e a viabilidade de melhoramento, foi também ajustado em relação ao SAAAT.

8.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

8.5.1. Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras

Os resultados observados com a aplicação do SAAAT (Tabela 48) mostram que as terras onde atualmente estão sendo produzidos os vinhos de altitude pertencem na sua maioria ao grupo 4, subgrupo 4P (42 %), 4(p) (34 %) e 4p (13 %), ou seja, com aptidão agrícola boa, restrita e regular respectivamente, para pastagem plantada e não recomendada para culturas de uso mais intensivo.

A baixa aptidão agrícola das terras condiciona o uso das terras a atividades menos intensivas no nível de manejo B. A baixa fertilidade dos solos com graus de limitação moderada a forte, associada à declividade, com graus de limitação em alguns casos classificada como muito forte (Perfis 1, 8, 9, 13, 19 e 33), constituíram as principais limitações quanto ao uso agrícola destas áreas.

Essas áreas apresentam solos que exigem elevadas doses de fertilizantes e corretivos, em função da baixa disponibilidade de nutrientes e dos elevados teores de MO e alumínio trocável, limitantes nos níveis de manejo B que possui baixa capacidade de investimento de capital e uso menos intenso de tecnologias que o nível de manejo C.

Fatores como deficiência de água, excesso de água ou deficiência de oxigênio não influenciaram na classificação devido aos fatores climáticos da região, com chuvas regulares durante o ano todo o que conduz a ausência de deficiência de água. Além disto, as áreas cultivadas encontram-se na maioria dos casos em encostas com orientação para o norte e as áreas de baixada são ignoradas pelos produtores, o que também elimina os problemas com excesso de água.

No SAAAT, os perfis 24, 15 e 28 apresentaram as melhores classes de aptidão: 1ABC, terras pertencentes à classe de aptidão boa para lavoura, nos níveis de manejo A, B e C; 2abc terras pertencentes à classe de aptidão regular para lavoura nos níveis de manejo A, B, e C; e 3(abc) terras pertencentes à classe de aptidão restrita para lavouras nos níveis de manejo A, B e C, respectivamente. Já o perfil 6 (Neossolo Litólico) apresentou classificação 5n devido a sua baixa profundidade efetiva, sendo caracterizado como terras inaptas para lavoura e pastagens plantadas, porém regulares para pastagens naturais.

A metodologia do SCCU (adaptada por Lepsch, 1991) foi desenvolvida prioritariamente para o planejamento de práticas de conservação do solo exigidas em terras consideradas aráveis e estabelece oito classes variando de I, a melhor capacidade de uso, a VIII, para terras destinadas a preservação de fauna e flora. Assim, a capacidade de uso da terra (SCCU) varia com o conjunto dos atributos do solo e do ambiente, tais como a profundidade efetiva do solo, a drenagem interna do perfil, a declividade do terreno e a suscetibilidade à erosão superficial, os quais influenciam a classificação tanto em nível de grupo quanto de classe (Santos et al., 2013a). As recomendações de uso das terras da SCCU supõem um nível de manejo desenvolvido, com significativa aplicação de capital e tecnologia (Lepsch et al., 1991).

Entre os perfis avaliados, segundo a metodologia SCCU, a classe **IV** foi a mais expressiva, ocorrendo em 15 perfis avaliados, destacando a subclasse **IVe** classificada como terras limitadas por risco de erosão para cultivos intensivos, com declividades acentuadas que foi observada em 14 perfis. Nessa classe as terras considera-se riscos ou limitações permanentes muito severas quando usadas para culturas anuais. Devem ser mantidas, preferencialmente como pastagens, mas podem ser suficientemente boas para certos cultivos ocasionais ou para certas culturas anuais ou perenes, porém com cuidados muito especiais.

Tabela 48. Perfis de solo, com coordenadas e altitude e classificação da aptidão agrícola através das metodologias SAAAT, SCCU, CAUTSC e CEVVV.

Perfil n°	Coordenadas*		Atitude (m)	Classificação	SAAAT	SCCU	CAUTSC	CEVVV
	x	y						
1	648336	6929661	902	CAMBISSOLO HÁPLICO Alítico típico	4(p)	Vle	3f	PR
2	634183	6928696	864	CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico léptico	4P	IVe	3f	PR
3	640564	6909346	1.144	CAMBISSOLO HÚMICO Alítico típico	4(p)	IVe	3f	PR
4	692137	6933879	1.059	CAMBISSOLO HÁPLICO Alítico típico	4(p)	IVe	3f	PR
5	614882	6887112	1.258	NITOSSOLO BRUNO Distrófico húmico	4P	IIIes	3f	NR
6	614804	6886861	1.282	NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico típico	5n	IVs	3prf	PR
7	614952	6887292	1.259	NITOSSOLO BRUNO Alumínico típico	4p	IVe	3f	PR
8	617122	6886388	1.359	CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico	4(p)	Vle	3d	PR
9	616935	6888630	1.259	CAMBISSOLO HÁPLICO Alítico típico	4(p)	Vle	3d	P
10	601323	6872431	1.304	CAMBISSOLO HÁPLICO Alítico típico	4P	IVe	3f	NR
11	602781	6874099	1.274	CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico léptico	4P	IVe	2d	PR
12	601649	6874949	1.240	CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico	4P	IVe	3f	PR
13	602748	6876005	1.227	CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico	4(p)	Vle	3d	PR
14	598834	6876373	1.302	CAMBISSOLO HÁPLICO Alítico típico	4P	IVe	3d	PR
15	599164	6876935	1.301	CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico	2abc	Ies	2f	R
16	598479	6880683	1.270	CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico	4P	IIIes	3f	R
17	600111	6874767	1.328	CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico	4p	Vle	3f	PR
18	591146	6876251	1.112	NITOSSOLO HÁPLICO Distrófico típico	4P	IVe	2d	PR
19	587203	6878623	1.146	CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico	4(p)	Vle	3d	PR
20	595322	6892674	1.109	CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico	4P	IIIes	2prf	PR
21	593195	6856252	1.217	CAMBISSOLO HÁPLICO Alítico típico	4p	IIIes	3f	PR
22	525172	6939550	900	NITOSSOLO VERMELHO Distrófico típico	4p	Vle	3d	PR
23	507146	6925654	989	CAMBISSOLO HÁPLICO Alítico típico	4P	IIIes	3f	PR
24	419723	7015409	1183	NITOSSOLO VERMELHO Alítico típico	1ABC	Ies	2f	PR
25	484770	6953453	869	NITOSSOLO HÁPLICO Distrófico típico	4P	IIIes	3f	NR
26	483745	6975319	976	NITOSSOLO HÁPLICO Alumínico típico	4P	IIIes	2f	PR
27	472186	6955375	877	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico	4P	Ies	2f	PR
28	470390	6961938	852	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico	3(abc)	Ies	2f	PR
29	477522	6971137	949	CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico	4P	IVe	3f	PR
30	494783	6969905	880	NITOSSOLO HÁPLICO Distrófico típico	4P	IVe	3f	PR
31	482296	6992408	912	NITOSSOLO VERMELHO Alumínico típico	4(p)	IVe	3f	PR
32	488274	6989440	1.162	CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico típico	4p	Vle	3f	PR
33	487706	6988949	1.055	NITOSSOLO HÁPLICO Eutrófico típico	4(p)	Vle	3d	PR
34	485194	7006662	919	NITOSSOLO HÁPLICO Distrófico típico	4P	IIIes	3f	PR
35	488210	7009152	849	CAMBISSOLO HÚMICO Alítico típico	4(p)	IIIes	3f	NR
36	448263	7030119	1.330	CAMBISSOLO HÚMICO Alítico típico	4(p)	IVe	3f	PR
37	450148	7045289	1.260	CAMBISSOLO HÁPLICO Alítico típico	4(p)	IIIes	3f	PR
38	456577	7045197	1.260	CAMBISSOLO HÁPLICO Alítico típico	4(p)	IVe	2d	PR

*Datum SAD69

A classe **III** foi observada em 10 perfis e caracteriza-se por agrupar terras que podem ser cultivadas com culturas anuais, perenes, pastagem e reflorestamento, desde que haja adoção de práticas intensivas de conservação do solo. A declividade foi o fator mais limitante, o que implica em especial atenção ao controle da erosão, especialmente se cultivadas sob preparo convencional.

A classe **VIe** foi observada em 9 perfis, são terras consideradas impróprias para lavouras intensivas e aptas para pastagens, florestas e algumas culturas permanentes protetoras do solo, desde que sejam usadas práticas complexas de conservação do solo. Essa classe caracteriza por apresentar declividade acentuada > 20 %.

A classe **Iies**, observada nos perfis 15, 24, 28 e 27, representa terra boa para o cultivo de culturas anuais, com baixo índice de saturação por bases ($V \% < 50 \%$) e que apresenta ligeiro a moderado risco de erosão, sendo necessárias práticas simples de conservação do solo. Há problemas de elevado teor de Al, que devem ser corrigidos através de práticas de calagem.

Segundo a metodologia CAUTSC (Uberti et al., 1991), a classe de aptidão mais representativa foi a classe **3**, identificada para 76 % dos perfis avaliados. Essa classe apresenta aptidão com restrições para culturas anuais climaticamente adaptadas, aptidão regular para fruticultura e boa aptidão para pastagem e reflorestamento. São terras com alto risco de degradação ou limitações fortes para utilização com culturas anuais. Nesta classe foram observadas 3 subclasses: **3f** (21 perfis), onde a maior limitação foi a fertilidade; **3d** (7 perfis), em que a maior limitação por declividade (20 a 45 %); **3prf** (perfil 6), com maiores limitações pela profundidade efetiva e a fertilidade (necessitando de mais de 12 t ha^{-1} de calcário).

Os demais perfis foram classificados como classe **2**, com aptidão regular para culturas anuais climaticamente adaptadas. São terras que apresentam limitações moderadas para sua utilização com culturas anuais e/ou com riscos moderados de degradação. Nesta classe foram observadas as subclasses: **2d** (3 perfis) – em que a maior limitação é a declividade (8 a 20 %); **2f** (5 perfis) – com maiores limitações relacionadas a fertilidade (necessitando de 6 a 12 t ha^{-1} de calcário); **2prf** (perfil 20) – com maiores limitações relacionadas a profundidade efetiva e a fertilidade.

De acordo com os critérios edáficos para a viticultura (Sarmiento et al., 2011) utilizados para a região específica do Vale dos Vinhedos no Estado do Rio Grande do Sul (CEVVV) que, inicialmente, dentre as metodologias utilizadas neste estudo teria a maior possibilidade de se adequar como proposta de modelo para avaliar a aptidão na região em estudo, 31 dos 38 perfis foram classificados como áreas pouco recomendadas para a viticultura, 4 perfis como não recomendados, perfis 15 e 16 como recomendados e apenas o perfil 9 foi classificado como preferencial para a viticultura.

Tais resultados estão relacionados principalmente devido ao elevado teor de MO no horizonte A nas regiões de altitude de SC, a baixa profundidade efetiva, à pequena espessura de um dos horizontes A, a textura argilosa a muito argilosa e a baixa fertilidade.

Quando são comparados os dados observados na metodologia SAAAT com as demais metodologias (Tabela 49), observa-se que, em muitos casos, ocorre similaridade entre as classificações, da mesma forma que em outros casos ocorre grande diferenciação na classificação entre as metodologias.

Em estudo que objetivou identificar e contrastar o potencial agrícola das terras em duas vilas rurais situadas no município de Rio Negro, estado do Paraná, utilizando as metodologias SAAAT e SCCU, Costa et al. (2008) concluíram que o SAAAT mostrou-se mais apropriado do que o SCCU para determinação do potencial agrícola das terras.

Em estudo no estado do Acre avaliando como diferentes especialistas percebem a importância relativa dos indicadores de um sistema de aptidão agrícola e como eles interpretam estes atributos para a definição das diferentes classes de aptidão, Delarmelinda et

al. (2011) concluíram que a avaliação da aptidão agrícola realizada por diferentes avaliadores resultou em classificações de grupos de uso da terra distintos para os mesmos solos e ambientes.

Entre as metodologias aplicadas no estudo a idealizada para as condições do estado de Santa Catarina foi a menos restritiva para a produção e a metodologia para a vitivinicultura a menos apropriada, uma vez que resultou em menor proporção de terras aptas para este uso. O fato discrepante é que nas áreas do estudo atualmente se cultiva a uva para produção de vinho, apesar de que, de acordo com as metodologias mais utilizadas, essa não seria a melhor alternativa de uso destas terras.

Os resultados observados evidenciam a importância da elaboração de metodologia específica para os vinhedos das regiões altomontanas do estado de SC, considerando os fatores específicos destas áreas e o nível de tecnologia aplicado pelos produtores, que conduzem ao uso favorável das terras para a vitivinicultura.

Tabela 49. Comparação entre o sistema SAAAT, com SCCU, CAUTSC e CEVVV em perfis de solo localizados nas regiões de altitude de SC.

SAAAT	SCCU						CAUTSC						CEVVV				
	Ies	IIes	IIIs	IVe	IVs	VIe	1/2f	2d	2f	2prf	3d	3f	3prf	P	R	PR	NR
1ABC	1						1										1
2abc	1							1								1	
3(abc)	1							1									1
4P	1	7		8				2	2	1	1	10			1	12	3
4p		1		1	3						1	4				5	
4(p)		1	1	5		6		1			5	7		1		11	1
5n					1								1			1	
Total	4	9	1	14	4	6	1	3	4	1	7	21	1	1	2	31	4

8.5.2. Aplicação de Proposta de Sistema de Aptidão para Produção de Uva em Ambiente Altomontano

Uma primeira modificação em relação ao SAAAT foi que na adaptação do sistema para a videira no estado de Santa Catarina os custos de implantação e manutenção da cultura excluem o agricultor de nível A desta forma de uso da terra. Assim foram considerados quanto ao perfil dos produtores apenas os níveis de manejo B e C, abaixo definidos:

8.5.2.1. Níveis de manejo

- Manejo B - Viticultor

Este nível de manejo é composto por pequenos produtores de uva, agricultores familiares, cuja produção de vinho é realizada fora da propriedade (viticultor). Baseia-se em práticas agrícolas que refletem um nível tecnológico médio; caracteriza-se pela modesta aplicação de capital e de resultados de pesquisas para manejo, melhoramento e conservação das condições das terras e das lavouras. Neste nível de manejo a mecanização, quando presente, é de baixa intensidade e restrita às práticas simples de preparo e manejo do solo; a assistência técnica é realizada por meio de instituições públicas.

- Manejo C - Vitivinicultor

Produtores que não se enquadram como agricultor familiar. Empresários de outros setores, profissionais liberais e grandes produtores que demandam mão-de-obra externa. São

adotadas práticas de manejo complexas para otimizar a lucratividade e o máximo rendimento da lavoura, com intensa utilização de insumos de capital (corretivos, fertilizantes, variedades melhoradas, produtos para controle de pragas e doenças) e são dependentes de mecanização agrícola. A assistência técnica é privada, com suporte adicional de instituições públicas.

8.5.2.2. Fatores de limitação

a) Fatores topográficos

- Altitude

A altitude média dos vinhedos cadastrados no estado até 2013 foi de 1.136 m, o mais baixo a 675 m e o mais alto, a 1.452 m. A faixa entre 1.201 e 1.300 m foi a que apresentou a maior área plantada (45,43 %). As elevadas altitudes influenciam as temperaturas noturnas na época de colheita, conferindo maturação fenólica mais completa e, desta forma, um produto de melhor qualidade. Em SC os solos encontrados neste ambiente de altitude apresentam, em geral, pH baixo, teores elevados de Al^{+3} e altos teores de MO. Essas características determinam a tipicidade dos vinhos produzidos.

Aumentos da altitude tendem a resultar na diminuição da temperatura na proporção de menos 1 °C por cada aumento de 100 m para a temperatura do ar seco (Preston-Whyte & Tyson 1988). Este efeito pode ser atenuado com o aumento da radiação, superfícies de solo mais quentes, pouca ventilação e circulação de ar frio e quente. Em inventário da capacidade de uso das terras na região da denominação de origem Umpqua Valley, no Oregon, EUA, Jones et al. (2004) concluíram que a topografia e os solos de um local desempenham papel importante no crescimento da videira e na qualidade da uva, com efeitos interativos com os elementos climáticos. Segundo estes autores os fatores topográficos que exercem a maior influência sobre o clima, incluem a altitude, a declividade, o aspecto e o isolamento das colinas, para eles, os valores utilizados como ideais para a cultura da videira na área do estudo são de 120 a 240 m de altitude.

- Orientação das vertentes (aspecto)

A orientação direcional das fileiras tem grande importância para a obtenção de produtos de qualidade. Inicialmente deve se considerar o relevo local do vinhedo, evitando fileiras no sentido do maior declive. A orientação norte-sul (aspecto) tende a ser a mais favorável nas regiões vitivinícolas do Brasil, pois proporciona maior exposição solar em ambas as laterais das fileiras, principalmente nos horários do dia com temperaturas mais amenas (Santos, 2006).

A produção de uvas para elaboração de vinhos finos é favorecida pela alta disponibilidade de radiação solar (Santos et al., 2011). Na cultura da videira a disponibilidade de radiação relaciona-se com a posição do sol ao longo do dia, de acordo com o ângulo de incidência dos raios solares (Cardoso et al., 2010). No hemisfério sul, as vertentes orientadas para o Equador recebem maior radiação solar, afetando os regimes térmicos e hídricos do sistema planta-solo, influenciando as propriedades do solo devido à alteração de umidade e vegetação. De acordo com Valeriano (2008), este parâmetro deve ser considerado para o planejamento de atividades agrícolas, a distribuição de culturas e previsão e planejamento de colheitas. Em escala regional, influencia também a distribuição da precipitação. Além disto, a orientação das vertentes pode levar a ocorrência de microclimas, onde algumas áreas recebem mais radiação, chuvas ou poeira depositada. Avaliando a orientação norte-sul de uva da variedade Merlot, em Washington, Spayd et al. (2002) observaram que os frutos dispostos no lado leste e que receberam radiação apenas no período da manhã tiveram maiores teores de antocianinas do que os frutos localizados na parte oeste.

Os vinhedos em SC (Vianna et al., 2016) encontram-se instalados preferencialmente no quadrante norte, representando estes 194,1 ha (58,40 %). No quadrante oeste ocorrem 75,5

ha (22,73 %) e no quadrante leste 45,3 ha (13,65 %). Já voltados para o sul são apenas 17,3 ha (5,22 %).

- Declividade

O relevo é um fator importante no reconhecimento de padrões na distribuição espacial de propriedades do solo. Segundo dados de Vianna et al. (2016) e utilizando a classificação Uberti et al. (1991), a maior parte dos vinhedos de altitude em SC está em terreno de relevo suave ondulado, com declividades que variam entre 3 e 8 % (39,38 %), seguido de ondulado, de 8 a 20 % (37,21 %).

Considerando as condições de relevo ondulado e forte ondulado predominante em muitas regiões do estado de SC, foram adotadas as classes propostas por Jones et al. (2004), que consideram valores menos restritivos. Desta forma, na Tabela 50 são apresentados os valores de declividade adequados para a produção de vinhos em SC.

É fundamental adequar as classes de declividade com as exigências da cultura. Relevos planos são favoráveis para a mecanização e reduzem os riscos de perdas de solo por erosão; porém a videira não tolera solos encharcados ou mal drenados, assim áreas planas apresentam outras restrições físicas para o desenvolvimento da cultura.

Utilizando o sistema Agriculture Land Suitability Evaluator (ALSE) como ferramenta de apoio à decisão e planejamento para as culturas tropicais e subtropicais, Elsheikh et al. (2013) apresentam como classes de declividade para produção de uva os valores de 0 a 6 % como adequada, 6 a 12 % como moderada, 12 a 20 % marginalmente adequada, 20 a 25 % inadequada por razões econômicas e maior que 25 % insustentável por razões físicas. Isso reforça a importância, independentemente do sistema de avaliação utilizado, de fazer modificações de acordo com a realidade local e exigências da cultura.

Tabela 50. Classes de altitude, aspecto e declividade com graus de limitação propostos para o sistema de avaliação da aptidão agrícola da cultura da videira em regiões de altitude, em Santa Catarina.

Grau de limitação	Fatores Topográficos		
	Altitude (m)	Aspecto	Declividade (%)
Nulo	1100 - 1500	N (337,5°-22,5°), NO (292,5°-337,5°), NE (22,5°-67,5°)	3 a 15
Ligeiro	900 - 1100	O (247,5° - 292,5°)	15 a 20
Moderado	750 - 900	E (67,5 ° - 112,5°)	1 a 3/20 a 45
Forte	500 - 750	SO (202,5° - 247,5°), SE (112,5° - 157,5°)	0 a 1
Muito Forte	<500	S (157,5° - 202,5°)	> 45

b) Fertilidade

As características químicas dos solos influenciam no comportamento da videira, e a reação do solo (pH) e a disponibilidade de nutrientes são as características químicas mais importantes (Melo, 2003). Considerando que os solos da região de produção de uva em SC são naturalmente ácidos, a correção da acidez do solo com aplicação de calcário é uma técnica associada tanto ao nível de manejo B como ao C. Desta forma a acidez do solo não foi considerada como fator de limitação para a aptidão agrícola uma vez que já é uma prática inerente ao sistema de produção da cultura no estado.

Com respeito ao rendimento, a videira depende diretamente da capacidade de suprimento de nutrientes do solo, para o seu melhor desempenho produtivo (Melo, 2003).

- Fósforo

Os solos em ambiente de altitude no estado de SC naturalmente apresentam limitações nutricionais, sendo o fósforo o macronutriente mais limitante, devendo ser adicionado ao solo para que a lavoura expresse seu máximo potencial produtivo.

A fertilização do solo é prática comum entre os produtores de uva, porém os indicadores da necessidade de adubação não estão bem definidos no estado, tornando a recomendação de adubação uma atividade empírica. Isto gera insegurança nos produtores (nível de manejo B) e eles ficam na dependência de recomendações originadas de revendedores de fertilizantes, cujos critérios, muitas vezes, são de cunho comercial. Como resultado a maioria dos produtores aplica doses de fertilizantes além das exigências das plantas, com prejuízos econômicos, na produção da lavoura e também ambientais, pois o excesso de fertilizantes leva ao desequilíbrio de um dado nutriente no solo e na planta. Portanto, o fósforo é inserido como parâmetro relevante no sistema de avaliação, cujas classes são apresentadas na Tabela 51.

Tanto a falta como o excesso de fósforo podem causar problemas na produção das uvas. Este nutriente é importante na formação da copa, na frutificação, no desenvolvimento das raízes, além de favorecer a fermentação do mosto (Souza, 1996) e acentuar o aroma e o sabor dos vinhos (Regina et al., 2006). Em estudo avaliando a influência dos fatores edafoclimáticos nas uvas e vinhos Cabernet Sauvignon de diferentes polos vitícolas do Rio Grande do Sul, González (2005) observou ampla variação entre os vinhedos. A concentração de fósforo variou entre 4,3 e 53 mg dm⁻³ e a de potássio, entre 78 e 254 mg dm⁻³.

Tabela 51. Classes de fósforo e potássio com graus de limitação propostos para o sistema de avaliação da aptidão agrícola da cultura da videira em regiões de altitude, em SC.

Grau de limitação	Fatores Fertilidade	
	Fósforo ¹ (mg dm ⁻³)	Potássio ² (mg dm ⁻³)
Nulo	13 - 30	100 - 250
Ligeiro	30 - 60	51 - 100
Moderado	6 - 12	250 - 350
Forte/ Muito Forte	0 - 5 e > 60	≤ 50 > 350

¹ Extrator Mehlich 1 e Extrator Mehlich 1² – Métodos de análise, (Embrapa, 1997)

- Potássio

O potássio é outro macronutriente importante para a videira, sendo acumulado nas bagas durante a fase de maturação (Mafra et al., 2011). Também aumenta a resistência à seca, ao frio, às doenças e às pragas (Souza, 1996). O potássio aumenta a produtividade da videira e influencia o processo inicial de fermentação do mosto, melhorando o aroma e o sabor do vinho (Regina et al., 2006). O processo de maturação das uvas é caracterizado por aumento significativo na quantidade de potássio nas bagas e pelo aumento do peso das mesmas.

Assim como o fósforo, o excesso de potássio no solo pode reduzir a concentração de açúcares nas bagas, aumentar o pH do mosto e, conseqüentemente, resulta em vinho de qualidade inferior (Mota et al., 2006), além de poder inibir competitivamente a absorção de N, Mg e Ca.

As classes de teores de potássio adequadas para a cultura da videira nas regiões de altitude de SC são apresentadas na Tabela 51. Foi também considerado como fator negativo o

excesso de potássio, já que muitos solos da região possuem naturalmente valores elevados deste elemento.

c) Excesso de água ou deficiência de oxigênio

A uva tem melhor desenvolvimento em solos bem drenados, e este é um dos atributos físicos do solo mais importante para a "saúde" da videira, ou seja, a drenagem interna da água ou a permeabilidade do solo. Na Tabela 52 são apresentados os graus de limitação e as classes relacionadas ao fator excesso de água.

Nos solos mal drenados aumenta a ocorrência da podridão de raiz de fungos e de outros organismos patogênicos que prejudicam o desenvolvimento do sistema radicular da videira (Wolf & Boyer, 2003). Por outro lado, a disponibilidade de água é a variável com maior efeito sobre a composição da uva (Van Leeuwen et al., 2009).

Em estudo utilizando sistema de informação geográfico para definir regiões adequadas para vitivinicultura no estado de Nebraska, EUA, Chen (2011) atribuiu pesos de 0 a 10 para variáveis selecionadas de clima, solo e relevo. A drenagem do solo e a temperatura mínima de inverno foram os fatores mais importantes e com peso 10; para a ocorrência de geadas foi atribuído o peso 9; para graus-dia o peso 8 para a declividade e orientação do terreno os pesos 6 e 5, respectivamente; e para os valores de pH e teores de MO o peso 4.

Tabela 52. Classes de drenagem e graus de limitação propostos para o sistema de avaliação da aptidão agrícola da cultura da videira em regiões de altitude, em SC.

Grau de limitação	Classe de drenagem
Nulo	Excessivamente; Fortemente; Acentuadamente; Bem drenado
Ligeiro	Modernamente drenado
Moderado	Imperfeitamente drenado
Forte	Mal drenado
Muito Forte	Muito mal drenado

d) Suscetibilidade à erosão

O fator suscetibilidade à erosão diz respeito à facilidade com que o solo é removido, por ação do vento e/ou da água. Este fator possui grande importância pois solos com menor suscetibilidade tende a ter menores perdas de solo e conseqüentemente de nutrientes, favorecendo práticas de manejo e conservação do solo, diminuindo os custos de produção e os impactos ambientais.

Alguns solos são mais erodidos que outros, mesmo que as condições de declividade, chuva, cobertura vegetal e práticas de manejo sejam idênticas. Essa diferença, devida à natureza do próprio solo, é denominada erodibilidade, fator K (Bertoni & Lombardi, 1990). O fator suscetibilidade à erosão foi avaliado com base em dois parâmetros, a erodibilidade (Tabela 53) e a declividade do terreno (Tabela 54).

Tabela 53. Graus de limitação devidos à erodibilidade do solo propostos para o sistema de avaliação da aptidão agrícola da cultura da videira em regiões de altitude, em SC.

Grau de limitação	Erodibilidade (t h MJ⁻¹ mm⁻¹)
0= Nulo	< 0,010
1= Ligeiro	0,010 a 0,020
2= Moderado	0,020 a 0,030
3= Forte	0,030 a 0,040
4= Muito Forte	> 0,040

Tabela 54. Suscetibilidade a erosão (declividade x erodibilidade) e graus de limitação propostos para o sistema de avaliação da aptidão agrícola da cultura da videira em regiões de altitude, em SC.

Declividade		Relevo	Erodibilidade (t h MJ⁻¹ mm⁻¹)				
			Nulo	Ligeiro	Moderado	Forte	Muito Forte
Classe	%	Tipo	Grau de limitação¹				
A	0 - 3	Plano	0	1	1	2	3
B	3 - 8	Suave ondulado	1	1	2	3	4
C	8 - 13	Moderadamente ondulado	2	3	3	4	4
D	13 - 20	Ondulado	3	4	4	4	4
E	20 - 45	Forte ondulado	4	4	4	4	4
F	> 45	Montanhoso ou escarpado	4	4	4	4	4

¹ Graus de Limitação: 0= Nulo 1= Ligeiro; 2= Moderado; 3= Forte; 4= Muito Forte

e) Impedimento à mecanização

A mecanização é um fator importante na produção da uva e, a cada ano, é mais utilizada pelos produtores nos níveis de manejo B e C, para a otimização nos tratamentos culturais da videira. Na avaliação das terras, para avaliar o grau de limitação por impedimento à mecanização considerou-se a combinação da pedregosidade/rochosidade e declividade (Tabelas 55 e 56), dada a grande importância destes atributos para uso e manejo das terras.

A pedregosidade pode ser um grave problema para algumas culturas, principalmente as de ciclo curto, por dificultar a mecanização. Para culturas perenes como a videira, mesmo a pedregosidade moderada não se reflete em limitação ao desenvolvimento das plantas. As pedras podem até ser retiradas da linha de plantio em alguns casos, já que se trata de cultura que irá se manter por muitos anos em produção, e o custo da remoção das pedras se torna economicamente viável com o tempo.

Tabela 55. Graus de limitação referentes à rochosidade e/ou pedregosidade, propostos para o sistema de avaliação da aptidão agrícola da cultura da videira em regiões de altitude, em SC.

Grau de limitação	Rochosidade (%)	Pedregosidade (%)
0= Nulo	Sem rochas	Sem fragmentos
1= Ligeiro	< 2	< 15
2= Moderado	2 a 15	15 a 50
3= Forte	15 a 50	50 a 75
4= Muito Forte	> 50	> 75

Tabela 56. Graus de limitação devido ao impedimento à mecanização (declividade x rochosidade e/ou declividade), propostos para o sistema de avaliação da aptidão agrícola da cultura da videira em regiões de altitude, em SC.

Declividade	Relevo	Nulo	Erodibilidade (t h MJ ⁻¹ mm ⁻¹)				
			Ligeiro	Moderado	Forte	Muito Forte	
Classe	%	Tipo	Grau de limitação*				
A	0 - 3	Plano	0	1	3	4	4
B	3 - 8	Suave Ondulado	1	2	4	4	4
C	8 - 13	Moderadamente ondulado	2	3	4	4	4
D	13 - 20	Ondulado	3	4	4	4	4
E	20 - 45	Forte ondulado	4	4	4	4	4
F	> 45	Montanhoso ou escarpado	4	4	4	4	4

¹ Graus de Limitação: 0= Nulo 1= Ligeiro; 2= Moderado; 3= Forte; 4= Muito Forte

f) Profundidade efetiva

A profundidade efetiva é outro fator de limitação importante, visto que os solos na área de produção da videira em SC são, em geral, rasos e pouco profundos. As classes de profundidade efetiva para avaliação da aptidão das terras para produção de videira são apresentadas na Tabela 57.

Cabe destacar que a profundidade efetiva refere-se à profundidade máxima que as raízes da videira penetram livremente no corpo do solo, em razoável número, sem impedimentos, propiciando às plantas suporte físico e condições para absorção de água e nutrientes. Destaca-se que, além da limitação física para o enraizamento das plantas em profundidade (quantidade de material e espessura), pode ocorrer limitação química devido à alta saturação por alumínio, comum nos solos em ambiente de altitude em SC, abaixo da camada arável. Este fator representa impedimento à penetração radicular, mesmo em solos profundos, e requer a calagem em maior profundidade ou, se possível, a aplicação de gesso nessas áreas.

Tabela 57. Graus de limitação devido à profundidade efetiva, propostos para o sistema de avaliação da aptidão agrícola da cultura da videira em regiões de altitude, em SC.

Grau de limitação	Profundidade efetiva (cm)
Nulo	≥ 80
Ligeiro	50 - 80
Moderado	25 - 50
Forte/ Muito Forte	0 - 25

8.5.2.3. Quadro guia e classes de aptidão das terras

O quadro-guia para a classificação da aptidão agrícola para vinhedos de altitude em SC é apresentado na Tabela 58. No referido quadro constam os graus de limitação máximos que as terras podem apresentar com relação a cada um dos seis fatores, para pertencer às classes de aptidão designadas na coluna a esquerda. A classe de aptidão é definida em função do grau limitativo mais forte referente a qualquer um dos fatores, para cada nível de manejo.

Na Tabela 59 é apresentada a simbologia adotada, no intuito de permitir a apresentação, em um só mapa, da classificação da aptidão agrícola proposta. É composta pelas classes de aptidão e os níveis de manejo, seguido da identificação numérica dos graus de limitação.

As uvas para produção de vinhos finos são cultivadas em diferentes solos nas mais diferentes regiões do mundo. Desta forma, não existe um solo ideal para a produção de vinho, mas sim um conjunto ideal de características ligadas ao solo para um dado clima, que determinarão a tipicidade do vinho e sua associação a um dado ambiente ou região geográfica.

A determinação de um dado conjunto de atributos edáficos serve como parâmetro na tomada de decisão sobre a implantação ou mesmo ampliação de vinhedos, o que contribuirá para a produção de vinhos de qualidade. Assim, o desenvolvimento de um sistema de avaliação da aptidão agrícola específico para a cultura considerando aspectos ambientais da região é importante para os produtores e para órgãos ligados à agricultura e à assistência rural, permitindo indicar áreas potenciais para a viticultura de altitude.

Tabela 58. Quadro-guia do sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras, nos níveis de manejo B e C, para a cultura da videira em regiões de altitude em SC.

Aptidão Classe	Fatores limitantes e graus de limitação nos níveis de manejo B e C					
	Topográficos		Fertilidade		Excesso de água	
	B	C	B	C	B	C
Boa	N	N	N/L	N	L	N/L
Regular	L	L	L	L	L/M	L
Restrita	M	M	M	L/M	M	L/M
Inapta	F	F	F	F	F	F

Classe	Susceptibilidade a					
	erosão		Fertilidade		Prof. efetiva	
Boa	L	N	L	N	N	N
Regular	L/M	L	M	L	L	L
Restrita	M	L	M/F	M	M	M
Inapta	F	F	F	F	F	F

Tabela 59. Simbologia correspondente as classes do sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras, nos níveis de manejo B e C, para a cultura da videira em regiões de altitude em SC.

Classes de aptidão agrícola	Nível de manejo		Graus de limitação	Identificação	Variável	Identificação
Boa	B	C	Fator topográfico	1	Altitude	*
Regular	b	c			Aspecto	**
Restrita	(b)	(c)			Declividade	***
Inapta	-	-	Fertilidade	2	V%	*
					Fósforo	**
					Potássio	***
			Excesso de água	3		
			Suscetibilidade erosão	a 4		
			Impedimento mecanização	a 5		
			Profundidade efetiva	6		

8.5.3. Proposta de Zoneamento de Áreas Potenciais para Viticultura no Estado de Santa Catarina com Base na Aptidão Agrícola

As etapas para o desenvolvimento do zoneamento são detalhadas a seguir.

Etapa 1 – Definição das áreas preferenciais

A proposta de zoneamento é implementada através da utilização de um Sistema de Informações geográficas - SIG, para que os dados geográficos sejam estruturados em planos de informação, também denominados de camadas. Para o presente estudo foram criadas várias camadas para os diferentes fatores ambientais utilizados que, posteriormente, serão sobrepostos. Para a correta sobreposição entre as camadas, é necessário que elas possuam projeção cartográfica, sistema de coordenadas comuns e tenham sido geradas em escalas próximas.

É importante a seleção de um SIG, que torne possível que os dados sejam comparáveis, bem como seja possível o cruzamento de todos os fatores para a produção do mapa de zoneamento da viticultura. Após o tratamento das informações armazenadas no banco de dados, a proposta buscará gerar planos de informação para a área de estudo, conforme ilustrado na Figura 28, que representarão a etapa 1, e relaciona-se a definição das áreas preferenciais I e II, restritas e inaptas.

O MDT é uma fonte importante, e frequentemente usada para a obtenção de dados de variáveis que possuem interferência da elevação do terreno. Para a construção de um MDT, é necessário que os dados sejam adquiridos a partir de um mapeamento planialtimétrico, compatível com o nível de detalhe que se deseja obter. Dessa forma, foi utilizado Levantamento Aerofotogramétrico do estado de Santa Catarina (SDS, 2014), com curvas de nível de 1 em 1 metro.

Para a geração do MDT, inicialmente os dados vetoriais são processados em uma rede triangular irregular (TIN, Triangular Irregular Network), formado por triângulos adjacentes e não superpostos, calculados a partir da articulação de vértices representados por pontos de

coordenadas tridimensionais irregularmente distribuídos na superfície amostrada (Longley et al., 2013).

A partir da TIN, também em ambiente SIG, é elaborado, então, o MDT através de interpolação pelo método do “vizinho natural”, utilizando o módulo 3D analyst do software ArcGIS 10.1 (ESRI®), com uma malha triangular irregular, que apresenta uma melhor definição para o terreno.

Através do MDT foram então realizadas as derivações básicas da informação topográfica através do cálculo de atributos primários e secundários do relevo, tornando possível: a) Representar a altimetria da área de estudo através do mapa de hipsométrico organizado em classes de valores expressos em metros; b) Elaborar automaticamente mapear automaticamente mapa de declividade, expresso em graus e percentagem e; c) Representar a orientação das encostas através do mapa do aspecto, definido a partir das direções de declive.

Além de permitir as derivações da informação topográfica, o MDT foi utilizado também para: a) Ajustar e refinar o traçado das redes de drenagem e; b) Mapeamento dos padrões de cobertura do solo na área de estudo.

Os seguintes planos de informação são utilizados:

a) Mapa de altimetria: O primeiro plano de informação é o da altitude, obtido através da utilização do Levantamento Aerofotogramétrico do estado de Santa Catarina (SDS, 2014). Este levantamento consistirá de fotografias aéreas digitais coloridas e infravermelhas com resolução de 39 cm, permitindo a geração de modelos digitais de superfície com resolução de um (1,0) metro, além da geração de modelo digital de terreno com um (1,0) metro de resolução e ortofotomosaicos em recortes do mapeamento topográfico sistemático na escala de 1:10.000, coloridos e com composição falsa cor. O MDT é representado por uma grade regular (formato matricial) com tamanho de célula pré-definido, cujo valor corresponde à cota de elevação local.

A qualidade deste levantamento permite a elaboração de mapa hipsométrico com grande nível de detalhe, diferenciando as áreas de altitude entre: 1.100 a 1.500 m, neste trabalho nomeadas como Preferenciais I; entre as altitudes 900 a 1.100 m, chamadas de Preferenciais II, essas consideradas pela Acavitis (2006) como limite para inclusão nas áreas de altitude e critério na obtenção da marca coletiva, ou seja, novas áreas com altitudes abaixo de 900 m não poderiam fazer parte da marca coletiva vinhos finos de altitude de Santa Catarina.

Áreas de altitudes inferiores a 900 até 500 m serão consideradas como restritas e as inferiores a 500 m serão consideradas como inaptas, para serem enquadradas como pertencentes à região produtora de vinhos de altitude, pelo fato que essa grande variação pode refletir em diferenças significativas nos fatores climáticos e pedológicos.

b) Mapa de cobertura vegetal: Após a seleção das áreas preferenciais e restritas, quanto à altitude, será confeccionado nas áreas selecionadas, o mapa de uso e ocupação das terras. Para o caso em estudo, considerando a grande área de abrangência, cerca de 3.173.300 ha do estado de Santa Catarina estão acima de 900m de altitude e, devido ao objetivo fim do zoneamento, nessa etapa serão apenas separadas as áreas de floresta das áreas com outras coberturas e usos, além dos campos de altitude.

Este procedimento nessa etapa, considera que não serão realizados desmatamentos para a implantação de vinhedos, conforme previsto no Código florestal Brasileiro, Lei 12.651 (Brasil, 2012).

Considerando o tamanho da área a ser analisada, essa classificação será feita de forma não supervisionada, que usualmente é utilizada como análise preliminar das classes predominantes em determinada área ou cena. A partir desta análise é possível determinar o

número, a distribuição e o tipo de uso do solo a serem definidos na classificação supervisionada.

As técnicas de classificação de imagens não-supervisionada não requer qualquer informação sobre classes de interesse, somente examinando sem auxílio do analista, os agrupamentos espectrais do alvo e dividindo-os em classes. Já a classificação supervisionada consiste na identificação prévia das classes de informação (tipos de cobertura do solo), chamadas áreas de treinamento, que nada mais são do que representações do comportamento médio das classes que serão mapeadas automaticamente (Rosa, 2009).

Além da definição das áreas de floresta e com outros usos, serão separadas as áreas de conservação, além da delimitação de zonas urbanas e delimitação de um *buffer* de acordo com o previsto nos planos diretores e unidades de conservação. Essas áreas, florestas, unidades de conservação e zonas urbanas com *buffer*, também serão consideradas áreas inaptas para a implantação da viticultura, o que muitas vezes não é considerado quando elaborados estudos ou propostas de zoneamento para culturas específicas.

Os polígonos do mapa de uso do solo são traçados na escala de visualização de 1:10.000. O mapeamento depois é validado através de observações de campo complementares. O programa ArcGIS 10.1 (ESRI®) é utilizado para realizar todas as etapas do processo de edição do mapa de uso do solo.

c) Mapa de distância relacionada a drenagens: Neste plano de informação, também será utilizada a rede de drenagem disponível no levantamento da SDS (2014) e observadas as áreas de mata ciliar (Área de Preservação Permanente - APP), de acordo com a Lei 12.651 (Brasil, 2012). Será criado um *buffer* de 30 metros de largura que representa as áreas de APP para rios menores de 10 m de largura. Para os rios com largura de 10 a 50 m a APP (*buffer*) é de 50 m, e para aqueles com largura entre 50 e 200 m a APP é de 100 m. As áreas compreendidas em todos os *buffer* relacionados a rede de drenagem são consideradas inaptas para a atividade. Para a delimitação das APP's no entorno da rede de drenagem das áreas selecionadas, utilizou-se a ferramenta Create Buffers, disponível no software ArcGIS 10.1.

O termo *buffer* significa em um SIG, uma forma de análise de proximidade onde zonas de uma determinada dimensão são delimitadas em volta de uma feição ou de um elemento geográfico, levando-se em conta um determinado atributo (Teixeira & Christofolletti, 1997).

Depois de delimitadas as APPs relacionadas a mata ciliar, com todos os arquivos vetoriais projetados para o mesmo sistema de coordenadas, é efetuado o cálculo das mesmas, utilizando-se a ferramenta intersect do ArcGIS 10.1, no intuito de intersectar as áreas vegetadas com as APPs, gerando um novo vetor (shp) com a APP Vegetada.

Neste estudo não serão consideradas as nascentes, que compõem as áreas de APP (Brasil, 2012), pela dificuldade de sua representação no mapa.

d) Mapa de distância a estradas: A proximidade de estradas pavimentadas é de grande importância na escolha do local ideal para implantação do vinhedo. Áreas muito afastadas elevam os custos de produção, pois aumentam os deslocamentos relacionados com a colheita e comercialização do produto. Para o turismo enológico áreas muito distantes podem dificultar o acesso aos turistas e inviabilizar este tipo de agregação de valor para a área a ser implantada. Desta forma, recomendam-se áreas mais próximas as rodovias pavimentadas. Áreas com distâncias superiores a 5 km de estradas pavimentadas, são consideradas como restritas para a atividade. Neste plano de informação não ocorrem áreas inaptas.

Esta etapa também será realizada no ArcGIS 10.1, utilizando a malha de estradas disponível, definindo as áreas próximas a essas estradas pavimentadas.

e) Mapa de orientação das vertentes: A orientação das vertentes é definida pelo ângulo horizontal da direção esperada do escoamento superficial em relação ao Norte geográfico (Valeriano, 2008). Para tanto, os valores foram reclassificados em intervalos através do

estabelecimento de cinco faixas (quadrantes) de valores azimutais do ângulo horizontal da direção esperada do escoamento superficial (Tabela 50).

Para a orientação das vertentes, que é um aspecto fundamental para a videira e a qualidade dos frutos. Por definição, o grau de limitação nulo refere-se às áreas preferenciais; o ligeiro refere-se às áreas restritas; e os demais graus de limitações relacionam-se às áreas inaptas.

f) Mapa de declividade: A excelente base de dados que o estado de Santa Catarina possui, permite separar com grande eficiência as classes de declividade e desta forma as áreas, até mesmo em uma pequena propriedade rural. Assim, será utilizando o modelo digital de terreno (MDT) com resolução de um (1,0) metro gerado no levantamento aerofotogramétrico do estado de SC, disponível pela Secretaria de Desenvolvimento Sustentável (SDS, 2014). Serão consideradas como áreas preferenciais as que se encontram entre 2 a 20 % de declividade; como áreas restritas as que se encontram entre as declividades 0 a 2 % e entre 20 e 45%; e inaptas para a atividade aquelas com declividade acima de 45 %.

É importante salientar que serão consideradas apenas áreas com medida superior a 0,5 hectares, considerada como mínima para implantação de um vinhedo. Áreas inferiores a este valor podem ser inviáveis economicamente e, assim, serão definidas como inaptas.

A declividade é o ângulo de inclinação da superfície local em relação ao plano horizontal. Refere-se à relação entre a amplitude e o comprimento de rampa, podendo ser expressa em grau (declividade) ou percentagem (gradiente topográfico) (Valeriano 2008).

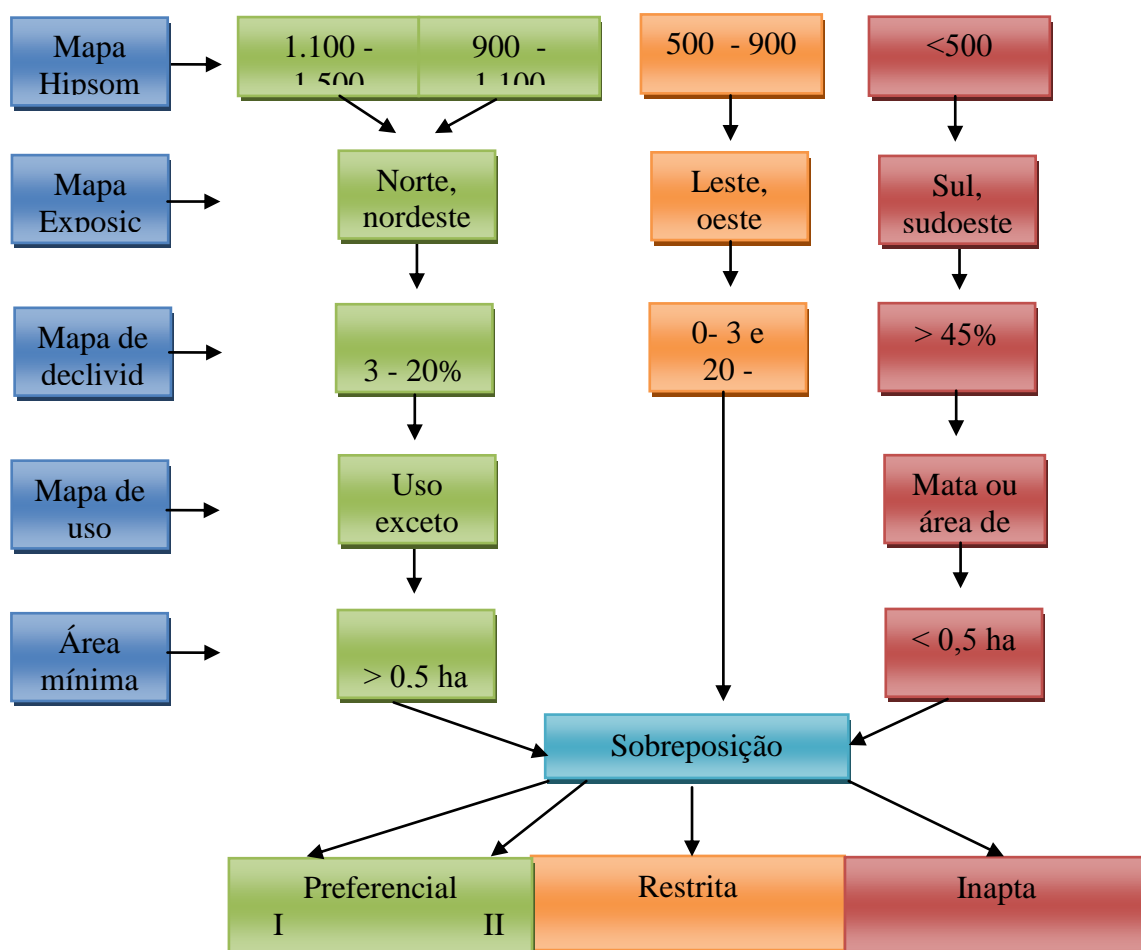


Figura 28. Fluxograma para identificação de áreas para o zoneamento da viticultura de altitude.

Etapa 2 Definição das regiões

A etapa 2 está relacionada com os planos de informação sobre geologia e clima e, nela, serão diferenciadas regiões homogêneas quanto a estes dois planos. Assim, de posse dos mapas da etapa 1, gerados após o cruzamento dos planos de informação e definindo as áreas preferenciais, restritas e inaptas, os mesmos serão utilizados na segunda etapa, quando estes serão correlacionados o clima e a geologia, conforme apresentado na Figura 29.

O cruzamentos dos planos de informação é realizado utilizando a ferramenta ArcToolbox, componente do ArcGIS. Dos vários tipos de análises disponíveis na ferramenta, foi selecionada a opção Overlay (sobreposição), por apresentar as características necessárias para o andamento do trabalho. Utiliza-se então o Intersect, que apresenta melhor resultado quando da sobreposição de dois mapas.

O detalhamento dos planos de informação para essa etapa é apresentado abaixo:

a) Mapa Geológico: As áreas mapeadas serão cruzadas com o mapa geológico na escala 1:500.000 (DNPM, 1986). Assim, priorizando as áreas relacionadas a ocorrência de rochas ígneas extrusivas, serão consideradas as 4 regiões definidas no Capítulo I.

b) Mapa climático: Quanto ao clima, as áreas serão cruzadas com os tipos climáticos observados pelo trabalho Braga & Ghellere (1999).

Assim, os cruzamentos formam n regiões com características diferenciadas, onde poderão ser produzidos vinhos de altitude. A importância desta etapa está em possibilitar a identificação do potencial das diferentes regiões e, dentro delas, a seleção de áreas de maior potencial para produção de vinhos, incluindo então a escolha do solo e clima, e topografias preferenciais. Da mesma forma, será possível a indicação de porta-enxerto, variedades, sistemas de cultivo e roteiros para o tratamento enológico para os vinhos de alta qualidade no estado de Santa Catarina.

De todos os fatores específicos de importância para a cultura (clima, relevo e solo), o clima exerce o mais profundo efeito sobre a capacidade de uma dada região ou local para a produção de frutos de qualidade (Jones et al, 2004).

Definidas as n regiões na etapa 2, será aplicado então o sistema de avaliação da aptidão agrícola para a vitivinicultura, proposto no Capítulo VI, finalizando com a utilização do quadro guia, apresentado na Tabela 59, que neste momento já deverá ter recebido checagem e calibrado no campo. Portanto, pode ser utilizado para a aplicação de modelos de seleção de áreas potenciais para a vitivinicultura com base em SIG.

Os resultados serão então apresentados em mapas na forma digital e através de figuras que permitam visualizar a distribuição espacial dos fatores e índices, individualmente e de forma integrada. O zoneamento será composto pela combinação dos cenários construídos a partir da seleção e integração dos fatores e índices, através da sobreposição dos planos de informação.

A proposta pretende apresentar os resultados em duas classes de escalas: i) menores, entre 1:250.000 e 1:100.000, com o intuito de gerar informações que possam subsidiar processos de Indicações Geográficas (IG), bem como a identificação de diferentes *terroir*; e ii) maiores, 1:10.000, para caracterizar as áreas atuais de cultivo da videira segundo alguns parâmetros ambientais e produtivos.

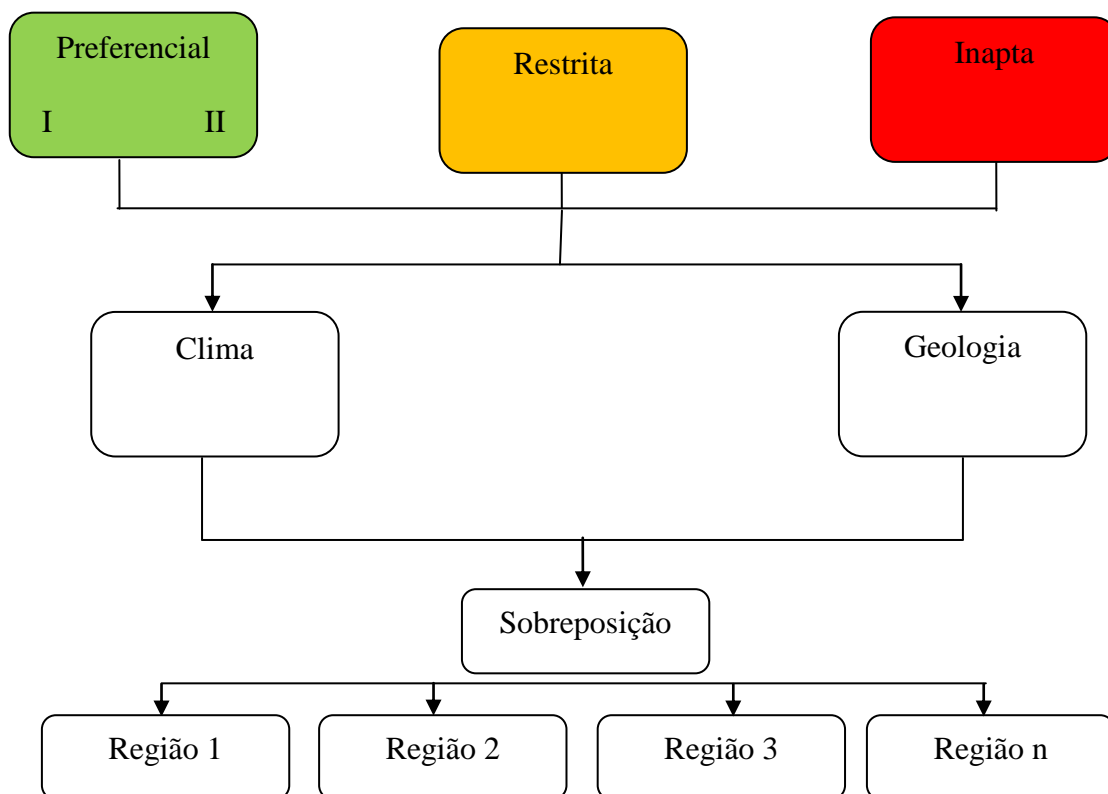


Figura 29. Fluxograma para identificação de regiões com aptidão para a viticultura de altitude.

Estes mapas e as áreas preferenciais para implantação de novos vinhedos serão disponibilizados em pagina da web, associada a Epagri, onde já se encontram armazenados os demais dados das propriedades vitícolas do estado, entre os quais se destacam a localização de todos os vinhedos georreferenciados (Epagri, 2016).

Outra forma de apresentação dos mapas, será a espacialização destas áreas por municípios, produto este que será repassado aos extensionistas e demais tomadores de decisão. Desta forma, a proposta pode se tornar uma ferramenta motivacional para os produtores rurais que tenham áreas contempladas no zoneamento e abre a possibilidade de mudança de atividade ou a incorporação de uma nova, mesmo que em áreas pequenas, sendo assim importante material para a tomada de decisão.

Aos atuais produtores, o trabalho abre a possibilidade de escolha da melhor área para a expansão da atividade na propriedade, possibilitando assim, a implantando de novos vinhedos.

É importante destacar que, neste estudo, não são avaliados os cultivares de uva, visto que eles variam muito em termos da sua resistência ao frio, tolerância às doenças e vigor do dossel; aspectos estes que devem ser considerados após a escolha das áreas com aptidão para a vitivinicultura.

Assim, o estudo, após a confecção dos mapas e a geração das informações, será importante para subsidiar políticas agrícolas relacionadas ao potencial de expansão da cultura e a abertura de linhas de crédito voltadas ao desenvolvimento econômico da vitivinicultura.

Por fim, o zoneamento será também a base para a delimitação de IGs de vinhos ou indicações de procedência, possibilitando a seleção de zonas de produção que valorizem a qualidade associada à tipicidade da produção.

8.6. CONCLUSÕES

As áreas onde são produzidos vinhos de altitude, possuem baixa aptidão agrícola para culturas anuais de acordo com os modelos aplicados para avaliação dos perfis de solos. Entre os fatores limitantes destacam-se a fertilidade do solo e a declividade.

A discrepância entre a aptidão e o uso e produção atual da cultura de uva mostra que é necessário o desenvolvimento de metodologia de aptidão específica para os vinhedos em ambiente altomontano em Santa Catarina.

A adaptação do SAAAT para a videira para as condições de altitude no estado de Santa Catarina incorpora e ajusta aspectos locais relevantes para o sistema de produção da uva.

A proposta de sistema de avaliação da aptidão agrícola da cultura da videira em regiões de altitude, em Santa Catarina é uma ferramenta importante para a tomada de decisões na implantação de novos vinhedos, contribuindo para ampliação desta atividade na região e possibilitando identificar áreas potenciais para obtenção de produtos de qualidade e também permitindo diminuir os custos com a seleção de novas áreas.

9. CONCLUSÕES GERAIS

Os solos onde atualmente são produzidos os vinhos de altitude em Santa Catarina apresentam-se muito modificados, quando se comparam os atributos das áreas produtoras e do perfil de referência na propriedade.

As substâncias húmicas apresentam a mesma proporção de ocorrência entre as áreas de vinhedo e a floresta; entretanto, através da avaliação da abundância natural do ^{13}C , verifica-se uma intensa alternância do uso e da cobertura destes solos, o que pode ter contribuído para redução nos teores de matéria orgânica e na espessura dos horizontes superficiais evidenciando alterações antrópicas.

Os vinhedos, mesmo que distribuídos em diferentes regiões do estado, com características diferenciadas de material de origem e relevo, podem em sua maioria ser agrupados por similaridade dos atributos químicos do solo e assim possibilitar a definição de uma região de indicação geográfica para os vinhos finos de altitude de Santa Catarina.

As áreas onde são produzidos os vinhos de altitude possuem baixa aptidão agrícola para culturas anuais, segundo os métodos mais utilizados na literatura para avaliação da aptidão agrícola das terras. Entre os fatores mais limitantes destacam-se a fertilidade do solo e a declividade.

A adaptação do sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras para a videira nas condições de altitude no estado de Santa Catarina incorpora e ajusta aspectos locais relevantes para o sistema de produção da uva. Assim, é importante ferramenta para tomada de decisão por produtores e órgãos governamentais.

A proposta de zoneamento das áreas potenciais para viticultura no estado de Santa Catarina permite diferenciar através da avaliação de vários fatores ambientais as áreas potenciais para a expansão da atividade.

10. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O material desenvolvido nessa tese reúne grande quantidade de informações referentes as áreas produtoras de vinhos finos de altitude de Santa Catarina, podendo vir a ser utilizado como material base para a implantação de uma Indicação Geográfica, visando melhorar a competitividade e agregação de valor aos produtos.

Além disto, pesquisas futuras, como implantação de experimentos para a avaliação de cultivares, devem levar em consideração os solos de maior ocorrência, avaliados neste estudo, e ainda que sejam contempladas as diferentes regiões produtoras.

A partir do material da pesquisa serão produzidos boletins técnicos com o apoio da Epagri e da Acavitis para serem utilizados por extensionistas, produtores e tomadores de decisão, como material motivador, orientando para novos investimentos na expansão da atividade, incluindo assim novos produtores.

A proposta de zoneamento, utilizando áreas aptas para a atividade, reduz os custos no estabelecimento e manutenção de vinhedos que são elevados, sendo assim, uma ferramenta importante para auxiliar na tomada de decisão.

11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACAVITIS - Associação Catarinense de Produtores de Vinhos Finos de Altitude. 2006. Disponível em <http://www.acavitis.com.br/site/web/>. Acessado em 10 mai 2013.
- ACHARYA, T.D. & YANG, I.T. Vineyard suitability analysis of Nepal. *Int. J. Environ Sci.*, v.6, p.13-19, 2015.
- ALBRECHT, S.L.; RASMUSSEN, P.E. & SKIRVIN, K.W. Is burning an effective management practice for the Pacific Northwest cereal region? In: ALBRECHT, S.L., editor. *Columbia Basin agricultural research annual report*; 1995. p.105-109. (Special report, 946).
- ALLEONI, L.R.F.; CAMPRI, M.A. & CAIRES, E.F. Atributos químicos de um latossolo de cerrado sob plantio direto, de acordo com doses e formas de aplicação de calcário. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 29, p. 923-934, 2005.
- ALLOWAY, B.J. *Heavy Metals in Soils*. Chapman & Hall, London. 1995.
- ALMEIDA, J.A. Fatores abióticos. In: Boldrini, I.I. (org). *Biodiversidade dos campos do Planalto das Araucárias*. Brasília, Ministério do Meio Ambiente, 2009, p.19-38 (Série Biodiversidade, 30).
- ALMEIDA, J.A.; KAMPF, N. & KLAMT, E. Uso de amidas e hidrazina na identificação de caulinita desordenada em solos brunos subtropicais do RS e SC. *R. Bras. Ci. Solo*, v.16, n.2, p.169-175, 1992.
- ALMEIDA, J.A.; MAÇANEIRO, K.C. & KLAMT, E. Mineralogia da fração argila de solos vermelhos com horizontes superficiais brunados do Planalto de Lages (SC). *R. Bras. Ci. Solo*, v.24, p.815-828, 2000.
- AMARO FILHO, J.; ASSIS JÚNIOR, R.N. & MOTA, J.C.A. *Física do solo: Conceitos e aplicações*. Fortaleza, Imprensa Universitária, 2008. 290p.
- ANDREUX, F. Humus in world soils. In: PICCOLO, A. editor. *Humic substances in terrestrial ecosystems*. Amsterdam, Elsevier; 1996. p.45-100.
- ANGELO, L.C.; MANGRICH, A.S.; MANTOVANI, K.M. & DOS SANTOS, S.S. Loading of VO^{2+} and Cu^{2+} to partially oxidized charcoal fines rejected from Brazilian metallurgical industry. *J. Soils Sediments*, v. 53, p.353-359, 2014.
- APCARIAN, A.; ECHENIQUE, M.C.; ARUANI, M.C. & REEB, Y.P. Efecto de capas endurecidas de suelos sobre el potencial productivo de viñedos, Alto Valle de Río Negro, Patagonia, Argentina. *Agric. Téc. (Chile)*, v.66, p.70-79, 2006.
- ARAÚJO, A.G. & ASSAD, M.L.L. Zoneamento pedoclimático por cultura a partir de levantamento de solos de baixa intensidade. *R. Bras. Ci. Solo.*, v.25, p.103-111, 2001. Doi: 10.1590/S0100-06832001000100011
- ASSIS, C.P.; JUCKSCH, I.; SÁ MENDONÇA, E. & NEVES, J.C.L. Carbono e nitrogênio em agregados de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. *Pesq. Agrop. Brasileira*, v.41, p.1541-1550, 2006.
- BARRETO, A.C.; FREIRE, M.B.G.S.; NACIF, P.G.S.; ARAÚJO, Q.R.; FREIRE, J. & INÁCIO, E.S.B. Fracionamento químico e físico do carbono orgânico total em um solo de mata submetido a diferentes usos. *R. Bras. Ci. Solo*, v.32, p.1471-8, 2008. Doi: 10.1590/S0100-06832008000400011

- BATTANY, M.C. & GRISMER, M.E. Rainfall runoff and erosion in Napa Valley vineyards: effects of slope cover and surface roughness. *Hydrology Processes*, v.14, p.1289-1304, 2000.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L. & ERNANI, P.R. Stocks and humification degree of organic matter soil as affected by no-tillage on a subtropical soil. *Plant Soil*, v.238, p.133-140, 2002.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J. & PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. *Pesq. Agrop. Brasileira*, v.39, p.677-683, 2004.
- BAYER, C.; SPAGNOLLO, E.; WILDNER, L. do P.; ERNANI, P.R. & ALBURQUEQUE, J.A. Incremento de carbono e nitrogênio num Latossolo pelo uso de plantas estivais para cobertura do solo. *Ci. Rural*, v.33, n.3, p.469-475, 2003.
- BEHLING, H. & PILLAR, V.D. Late Quaternary vegetation, biodiversity and fire dynamics on the southern Brazilian highland and their implication for conservation and management of modern Araucaria forest and grassland ecosystems. *Philos Trans. Royal Soc. B.*, v.362, p.243-51, 2007.
- BELL, S.J. & HENSCHKE, P.A. Implications of nitrogen nutrition for grapes, fermentation and wine. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, v.11, p.242-295, 2005.
- BENITES, V.M.; MADARI, B. & MACHADO, P.L.O.A. Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: Um procedimento simplificado de baixo custo. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2003. 7p.
- BENITES, V.M.; SCHAEFER, C.E.G.R.; MENDONÇA, E.S. & MARTIN NETO, L. Caracterização da matéria orgânica e micromorfologia de solos sob campos de altitude no Parque Estadual da Serra do Brigadeiro (MG). *R. Bras. Ci. Solo*, v.25, p.661-674, 2001.
- BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. 2ª.ed. São Paulo: Ícone; 1990. 355p.
- BIGARELLA, J.J & ANDRADE, G.O. Contribution to the study of the Brazilian Quaternary. In: WRIGHT, H.E. Jr. & FREY, D.G. (eds.) *International Studies on the Quaternary*. Geol. Soc. Am. Spec. Papers. New York, 84, p. 433-451, 1965.
- BODIN, F. & MORLAT, R. Characterization of viticultural terroirs using a simple field model based on soil depth. I. Validation of the water supply regime, phenology, and vine vigour, in the Anjou vineyard (France). *Plant and Soil*, v.281, p.37-54, 2006.
- BOHNEN, H. Acidez e calagem. In: GIANELLO, C., BISSANI, C.A. & TEDESCO, M.J. (eds.) *Princípios de fertilidade de solo*. Porto Alegre: Dep. de Solos. Fac. de Agronomia. UFRGS, 1995. p.51-76.
- BOLDRINI I. Biodiversidade dos campos do planalto das araucárias. Brasília: Ministério do Meio Ambiente; 2009. 240p.
- BONA, I.A.T.; SARKIS, J.E.S. & SALVADOR, V.L.R. *Quim. Nova*. 2007, p.785.
- BOONTERM C.W.; SILAPAPUN A. & BOONKERD N. Effects of nitrogen, potassium fertilizer, and clusters per vine on yield and anthocyanin content in Cabernet Sauvignon grape. *Suranaree J. Sci. Technol*, v.17, p.155-163, 2010.
- BORGES, M. Extratabilidade do cádmio: influência de atributos de solos muito intemperizados em extratores convencionais e potencialidade de ácidos orgânicos de baixo

peso molecular. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. 2002. 88f. (Dissertação de Mestrado)

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*, v.4, p.321-335, 2014.

BORGHEZAN, M.; GAVIOLI, O.; PIT, F.A. & SILVA, A.L. da. Comportamento vegetativo e produtivo da videira e composição da uva em São Joaquim, Santa Catarina. *Pesq. agropec. bras.* Brasília, v.46, n.4, p.398-405, 2011.

BORSZOWSKI, P. Perda e recuperação de carbono nos compartimentos da matéria orgânica do solo nos sistemas convencional e plantio direto. Ponta Grossa: Universidade Estadual de Ponta Grossa. 2011. 96f. (Dissertação de Mestrado)

BOTELHO, R.V.; PIRES, E.J.P. & TERRA, M.M. Efeitos do cycocel na fertilidade de gemas e no crescimento dos ramos de videiras cv. Itália (*Vitis vinifera* L.). *R. Bras. Fruticultura*, Jaboticabal, v.26, n.1, p.78-81, 2004.

BOTERO, W.G.; SOUZA, S.O.; SANTOS, O.S.; OLIVEIRA, L.L.C. & AMARANTE, C.B. Influência das substâncias húmicas de sedimentos na biodisponibilidade de metais para o sistema aquático. *Quím. Nova*, São Paulo, v.37, n.6, p.943-949. 2014.

BRADY, N.C. & WEIL, R.R. Elementos da natureza e propriedades dos solos. 3.ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 704p.

BRAGA, H.J. & GHELLERE, R. Proposta de diferenciação climática para o estado de Santa Catarina. In: Anais do 11a. Congresso Brasileiro de Agrometeorologia e Reunião LatinoAmericana de Agrometeorologia [CD-ROM]; 1999; Florianópolis. Florianópolis: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia; 1999.

BRAIDA, J.A.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, A. & REICHERT, J.M. Matéria orgânica e seu efeito na física do solo. In: KLAUBERG FILHO, O., ed. Tópicos em ciência do solo. *Soc. Bras. Ci. Solo*, v.7, p.221-278, 2011.

BRASIL. Lei nº 10.267, de 28 de agosto de 2001. Institui o georreferenciamento de imóveis rurais. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/110267.htm. Acessado em 06 mar. 2014.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Código Florestal Brasileiro. Diário Oficial. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm. Acessado em 05 mar. 2016.

BREWER, R. Fabric and mineral analysis of soils. Wiley, New York. 1964. 470p.

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. *Pesq. Agrop. Brasileira*, v.49, n.6, p.465-474, 2014.

BRIMHALL, G.H. & DIETRICH, W.E. Constitutive mass balance relations between chemical composition, volume, density, porosity, and strain in metasomatic hydrochemical systems: Results on weathering and pedogenesis. *Geochimica et Cosmochimica. Acta*, v.51, 1986.

- BRUN, F.G.K. Percepção sobre a arborização urbana no Bairro Camobi, Santa Maria - RS: Estudo de um caso. Universidade Federal de Santa Maria. 2008. 75f. (Especialização em Educação Ambiental)
- BRUNETTO, G.; BONGIORNO, C.L.; MATTIAS, J.L.; DEON, M.; MELO, G.W.B. de; KAMINSKI, J. & CERETTA, C.A. Produção, composição da uva e teores de nitrogênio na folha e no pecíolo em videiras submetidas à adubação nitrogenada. *Ci. Rural*, v.38, p.2622-2625, 2008.
- BRUNETTO, G.; CERETTA, C.A.; KAMINSKI, J.; MELO, G.W.B.; LOURENZI, C.R.; FURLANETTO, V. & MORAES, A. Aplicação de nitrogênio em videiras na Campanha Gaúcha: Produtividade e características químicas do mosto da uva. *Ci. Rural*, v.37, p.389-393, 2007.
- BRUNETTO, G.; SCHMITT, D.E.; COMIN, J.J.; MIOTTO, A.; MORAES, M.P. & HEINZEN, J. Frações de cobre e zinco em solos de vinhedos no Meio Oeste de Santa Catarina. *R. Bras. Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, n.8, p.805-810, 2014.
- BUTLER, B.E. Periodic phenomena in landscape as basis for soil studied. Camberia: CSRIO, 1959. 20p. (Soil Publication, 4).
- BUTT, C.R.M.; LINTERN, M.J. & ANAND, R.R. Evolution of regoliths and landscapes in deeply weathered terrain – implications for geochemical exploration. *Ore Geology Reviews*, v.16, p.167-183. 2000.
- CALEGARI, M.R. Ocorrência e significado paleoambiental do horizonte A húmico em Latossolos. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz; 2008. 259f. (Tese de Doutorado)
- CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A. & VALADARES, J.M. Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1986. (IAC - Boletim Técnico, 6)
- CAMBARDELLA, C.A. & ELLIOTT, E.T. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Science Society of America Journal*, v.56, p.777-783, 1992.
- CANELLAS, L.P. & FAÇANHA, A.R. Chemical nature of soil humified fractions and their bioactivity. *Pesq. Agropec. Brasileira*, v.39, p.233-240, 2004.
- CANELLAS, L.P.; SANTOS, G.A.; RUMJANEK, V.M.; MORAES, A.A. & GURIDI, F. Avaliação de características de ácidos húmicos de resíduos sólidos urbanos I. Métodos espectroscópicos (IV, UV e RMN ¹³C) e microscopia eletrônica de varredura. *R. Bras. Ci. Solo*, v.24, p.741-750, 2000.
- CANELLAS, L.P.; OLIVARES, F.L.; OKOROKOVA-FAÇANHA, A.L. & FAÇANHA, A.R. Humic acids isolated membrane H⁺-ATPase activity in maize roots. *Plant Physiol*, v.130, p.1951-1957, 2002.
- CANELLAS, L.P. & SANTOS, G.A. editores. *Humosfera: Tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas*. Campos dos Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense. 2005.
- CANELLAS, L.P.; VELLOSO, A.C.X.; MARCIANO, C.R.; RAMALHO, J.F.G.P.; RUMJANEK, V.M.; REZENDE, C.E. & SANTOS, G.A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhico e adição de vinhaça por longo tempo. *R. Bras. Ci. Solo*, v.27, n.5, p.935-44, 2003.

- CARDOSO, L.S.; BERGAMASCHI, H.; COMIRAN, F.; CHAVARRIA, G.; MARODIN, G.A.B.; DALMAGO, G.A.; SANTOS, H.P. dos & MANDELLI, F. Padrões de interceptação de radiação solar em vinhedos com e sem cobertura plástica. R. Bras. Fruticultura, v.32, n.1, p.161-171, 2010.
- CARLIN, S.D.; RHEIN, A.F. de L. & SANTOS, D.M.M. dos. Efeito simultâneo da deficiência hídrica e do alumínio tóxico no solo na cultivar IAC91-5155 de cana-de-açúcar. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v.33, n.2, p.553-564, 2012.
- CARVALHO, A.P.; SANTOS, H.G. dos; BOGNOLA, I.A.; COELHO, M.R.; OLIVEIRA, J.B. de; LUMBRERAS, J.F.; ANJOS, L.H.C. dos & JACOMINE, P.K.T.; Proposta de definição e identificação de horizonte A húmico. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003a. 3p. (Comunicado Técnico, 18)
- CARVALHO, M.P.; TAKEDA, E.Y. & FREDDI, O.S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil (SP). R. Bras.Ci. Solo, v.27, p.695-703, 2003b.
- CARVALHO, L.A.; MEURER, I.; SILVA JUNIOR, C.A.; CAVALIERI, K.M.V. & SANTOS, C.F.S. Dependência espacial dos atributos físicos de três classes de solos cultivados com cana-de-açúcar sob colheita mecanizada. R. Bras.Eng. Agrícola e Ambiental, v.15, n.9, p.940-949, 2011.
- CASALI, C.A.; MOTERLE, D.F.; RHEINHEIMER, D.S.; BRUNETTO, G.; CORCINI, A.L.M.; KAMINSKI, J. & MELO, G.W.B. Formas e dessorção de cobre em solos cultivados com videira na Serra Gaúcha do Rio Grande do Sul. R. Bras. Ci. Solo, v.32, p.1479-1487, 2008.
- CASTELLARIN, S.D.; MATTHEWS, M.A.; DI GASPERO, G. & GAMBETTA, G.A. Water deficits accelerate ripening and induce changes in gene expression regulating flavonoid biosynthesis in grape berries. Planta, v.227, p.101-112, 2007.
- CHAGAS, C.S.; CARVALHO JUNIOR, W.; PEREIRA, N.R. & FERNANDES FILHO, E.I. Aplicação de um sistema automatizado (ALES – Automated Land Evaluation System) na avaliação das terras das microrregiões de Chapecó e Xanxerê, Oeste catarinense, para o cultivo de grãos. R. Bras. Ci. Solo, v.30, p.509-522, 2006.
- CHAMPAGNOL, F. Éléments de physiologie de la vigne et de viticulture generale. Montpellier: DEHAN. 1984. 351p.
- CHAMPAGNOL, F. Etude de quelques effets de La fertilization azotee sur La vigne. Progres. Agric. Vitic., v.17, p.323-329. 1971.
- CHAVARRIA, G.; BERGAMASCHI, H.; SILVA, L.C. da; SANTOS, H.P. dos; MANDELLI, F.; GUERRA, C.C.; FLORES, C.A.; & TONIETTO, J. Relações hídricas, rendimento e compostos fenólicos de uvas 'Cabernet Sauvignon' em três tipos de solo. Bragantia, v.70, p.481-487, 2011.
- CHEN, T. Using a geographic information system to define regions of grape-cultivar suitability in Nebraska. The Graduate College at the University of Nebraska. These en Geogaphy. 2011. 83p.
- CHONÉ, X.; LAVIGNE-CRUÈGE, V.; TOMINAGA, T.; VAN LEEUWEN, C.; CASTAGNÈDE, C.; SAUCIER, C. & DUBOURDIEU, D. Effect of vine nitrogen status on grape aromatic potential: flavour precursors (S-cysteine conjugates), glutathione and phenolic content in *Vitis vinifera* L. cv. Sauvignon blanc grape juice. J. Int. Sci. Vigne Vin., v.40, p.1-6. 2006.

- CHONÉ, X.; VAN LEEUWEN, C.; CHÉRY, P. & RIBÉREAU-GAYON, P. Terroir influence on water status and nitrogen status of non-irrigated Cabernet Sauvignon (*Vitis vinifera*): Vegetative development, must and wine composition. S. Af. J. Enol. Vitic., v.22, n.1, p.8-15, 2001.
- CLEMENTE, C.A. & AZEVEDO, A.C. Mineral weathering in acid saprolites from subtropical, Southern Brazil. Scientia Agricola, v.64, p.601-607, 2007.
- CONCEIÇÃO, P.C.; AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J. & SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. R. Bras. Ci. Solo, v.29, p.777-788, 2005.
- CONRADIE, W.J. & SAAYMAN, D. Effects of longterm nitrogen, phosphorous and potassium fertilization on Chenin Blanc vines. I Nutrient demands and vines performance. American Journal of Enology and Viticulture, Davis, v.40, n.2, p.85-90, 1989.
- CORDEIRO, W. A vitivinicultura em São Joaquim - SC: uma nova atividade no município. Florianópolis: Programa de Pós-graduação em Agroecossistemas, UFSC. 2006. 132f. (Dissertação de Mestrado)
- CORNU, S.; LUCAS, Y.; LEBON, E.; AMBROSI, J.P; LUIZAO, F; ROUILLER, J.; BONNAY, M. & NEAL, C. Evidence of titanium mobility in soil profile Manaus, central Amazonia. Geoderma 91, 1999.
- CORRÊA, J. Mineralogia e gênese das principais classes de solos de encostas basálticas do estado de Santa Catarina. Lages: Universidade Estadual de Santa Catarina. 2003. 146 f. (Dissertação Mestrado em Ciência do Solo)
- COSTA, F.S.; BAYER, C.; ZANATTA, J.A. & MIELNICZUK, J. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. R. Bras. Ci. Solo, v.32, p.23-332, 2008.
- COSTA, J.B. Caracterização e Constituição do Solo. 7ª. ed. Lisboa: Ed. Fundação Calouste; 2004.
- COSTA JR, C.; PICCOLO, M.C.; SIQUEIRA NETO, M.; CAMARGO, P.B.; CERRI, C. C. & BERNOUX, M. Carbono total e ¹³C em agregados do solo sob vegetação nativa e pastagem no bioma cerrado. R. Bras. Ci. Solo, v.35, p.1241-1252, 2011.
- CQFS RS/SC - COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 10.ed. Porto Alegre, SBCS - Núcleo Regional Sul/UFRGS, 2004. 400p.
- CRUZ, C.D. & CARNEIRO, P.C.S. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Viçosa: UFV, 2003. 585p.
- CURCIO, G.R. Caracterização geomorfológica, pedológica e vegetacional dos ambientes fluviais do rio Iguaçu - Paraná - Brasil. Curitiba: Universidade Federal do Paraná. 2006. 488f. (Tese de Doutorado)
- DABIN, B. Lès matières organiques dans les sols tropicaux normalement drainés. Cah Orstom, v.17, p.197-215, 1981.
- DAL BÓ, M.A. Efeito da adubação NPK na produção, qualidade da uva e nos teores foliares de nutrientes da videira. R. Bras. de Fruticultura, v.14, p.189-194, 1992.
- DE LA ROCHE, H.; LETERRIER, J. & GRANDCLAUDE, P. A classification of volcanic and plutonic rocks and associations. Chem. Geol., v.29, p.183-210, 1980.

- DEDECEK, R.A.; CURCIO, G.R.; RACHWAL, M.F.G. & SIMON, A.A. Efeitos de sistemas de preparo do solo na erosão e na produtividade de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.). R. Ci. Florestal, v.17, p.205-215, 2007.
- DELARMELINDA, E.A.; WADT, P.G.S.; ANJOS, L.H.C.; MASUTTI, C.S.M.; SILVA, E.F.; SILVA, M.B.E.; COELHO, R.M.; SHIMIZU, S.H. & COUTO, W.H. Avaliação da Aptidão Agrícola dos Solos do Acre por Diferentes Especialistas. R. Bras. Ci. Solo, v.35, n.36, p.1841-1853, 2011.
- DEMATTE, J.A.M.; HUETE A.R.; FERREIRA Jr. L.G.; ALVES M.C.; NANNI M.R. & CERRI C.E. Evaluation of tropical soils through ground and orbital sensors. In: INTERNATIONAL CONFERENCE GEOSPATIAL INFORMATION IN AGRICULTURE AND FORESTRY, 2., 2000. Proceeding...Lake Buena Vista: Erim, 2000, v.2, p.34-41, 2000.
- DEMATTE, J.A.M. & NANNI, M.R. Weathering sequence of soils developed from basalt as evaluated by laboratory (IRIS), airborne (AVIRIS) and orbital (TM) sensors. International Journal of Remote Sensing, v.24, p.4715-4738, 2003.
- DEMATTE, J.A.M. & GARCIA, G.J. Alteration of soil properties through a weathering sequence as evaluated by spectral reflectance. Soil Science Society of America Journal, v.63, p.327-342, 1999.
- DNPM - DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL. Mapa geológico do estado de Santa Catarina.1:500.000. Florianópolis. 1986.
- DOBBSS, L.B. Eletroquímica do horizonte superficial de Latossolos e caracterização de suas substâncias húmicas. Campos dos Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; 2006. 86f. (Dissertação de Mestrado)
- DONAGEMA, G.K.; CAMPOS, D.V.B. de; CALDERANO, S.B.; TEIXEIRA, W.G.; VIANA, J.H.M. (Org.). Manual de métodos de análise de solos. 2.ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p. (Embrapa Solos. Documentos, 132).
- DORTZBACH, D.; PEREIRA, M.G.; BLAINSKI, É. & GONZALEZ, A.P. Estoque de C e Abundância Natural de ¹³C em Razão da Conversão de Áreas de Floresta e Pastagem em Bioma Mata Atlântica. Rev. Bras. Ciênc. Solo. v.39, n.6, p.1643-1660, 2015.
- DUCHÊNE, E.; SCHNEIDER, C. & GAUDILLÈRE, J.P. Effects of nitrogen nutrition timing on fruit set of grapevine cv. Grenache. Vitis, v.40, p.45-46, 2001.
- DUKES, B.; GOLDSPIK, B.; ELLIOT, J. Time of nitrogen fertilization can reduce fermentation and improve wine quality. (in: Rantz, J. M. (Ed.): Proceedings of the International Symposium on Nitrogen in Grapes and Wine, 18-19 June 1991, Seattle, WA, USA). Anais.....The American Society for Enology and Viticulture. 1991. 323p.
- EBELING, A.G.; ANJOS, L.H.C; PEREZ, D.V.; PEREIRA, M.G. & GOMES, F.W.F. Atributos químicos, carbono orgânico e substâncias húmicas em Organossolos Háplicos de várias regiões do Brasil. R. Bras. Ci. Solo, v.35, n.2, p.325-336, 2011.
- EBELING, A.G.; ANJOS, L.H.C.; PEREZ, D.V.; PEREIRA, M.G. & VALLADARES, G.S. Relação entre acidez e outros atributos químicos em solos com teores elevados de matéria orgânica. Bragantia, v.67, p.261-266, 2008.
- ECHENIQUE, M.C.; APCARIAN, A.; REEB, P. & ARUANI, M.C. Growth-yield relationship of grapevine cultivars on soils with hardened layers, Alto Valle of the Río Negro, southern wine-growing region of Argentina. Agric. Técn., v.67, p.262-270, 2007.

ELAOD, A. & CHEHAIBI, S. Soil compaction due to tractor traffic. *J. Failure Anal Prev.*, v.11, p.539-545, 2011.

ELSHEIKH, R.; RASHID, A.B.; SHARIFF, M.; AMIRI, F.; AHMAD, N.B.; BALASUNDRAM, S.K. & SOOM, M.A.M. Agriculture Land Suitability Evaluator (ALSE): A decision and planning support tool for tropical and subtropical crops. *Computers and Electronics in Agriculture*, v.93, p.98-110, 2013.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 1997. 212p.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Solos do Estado de Santa Catarina. Rio de Janeiro: Embrapa, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2004. 726p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 46).

EPAGRI - EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA. Características edafoclimáticas dos vinhedos de altitude de Santa Catarina. 2016 [Acessado em: 27 de janeiro de 2016]. Disponível em: <http://ciram.epagri.sc.gov.br/igalt/>.

EMERSON, W.W.; FOSTER, R.C.D. & OADES, J.M. Organo-mineral complexes in relation to soil aggregation and structure. In: HUANG, P. M.; SCHNITZER, M. (Eds.). *Interactions of soil minerals with natural organics and microbes*. Madison: Soil Science Society of America, 1986. p. 521-548. (Special Publication, n.17)

ESWARAN, H. & DE CONINCK, F. Clay mineralogy formation and transformation in basaltic soils in tropical environments. *Pedologie*, v.21, n.2, p.181-210, 1971.

FACHINI, L. Frações e estoques de carbono orgânico em solo do Planalto Catarinense cultivado com Pinus. Lages: Universidade do Estado de Santa Catarina, Santa Catarina. 2012. 49f. (Dissertação de Mestrado)

FARIA, C.M.B & SILVA, D.J. Cultivo da videira: Nutrição, calagem e adubação. Embrapa Semi-Árido. 2004 (Sistemas de Produção, 1)

FASSBENDER, H.W. Química de suelos. Turrialba, IICA, 1975. 398p.

FAVORETTO, C.M. Caracterização da matéria orgânica humificada de um Latossolo Vermelho Distrófico a través da espectroscopia de fluorescência induzida por laser. Ponta Grossa: Universidade Estadual de Ponta Grossa; 2007. 96f. (Dissertação de Mestrado)

FEISTAUER, D.; OURIQUES, M.; MONTOYA L.J.; VIEIRA, A.R.R. & SOARES, A. Sequestro de carbono de um sistema agroflorestral com bracinga (*Mimosa scabrella* Benth) na região metropolitana de Curitiba, PR. In: *Anais 5º Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestrais*; 2004; Curitiba. Curitiba: Embrapa Florestas. 2004. p.175-77.

FERNANDES, A.N. Caracterização química e reatividade de substâncias húmicas, solos e turfas. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina. 2007. 127f. (Tese de Doutorado)

FERNÁNDEZ-CALVIÑO, D.; PATEIRO-MOURE, M.; LÓPEZ-PERIAGO, E.; ARIAS-ESTÉVEZ, M. & NÓVOA-MUÑOZ, J.C. Copper content of soils and river sediments in a winegrowing area, and its distribution among soil or sediment components. *Geoderma*, v.145, p.91-97, 2008.

- FERREIRA, J.A.; SIMÕES, M.L.; MILORE, D.M.B.P.; MARTIN-NETO, L. & HAYES, M.H.B. Caracterização Espectroscópica da Matéria Orgânica do Solo. Embrapa São Carlos, 2004. (Circular Técnica, 24)
- FIALHO, B.F; MELLO, L.M.R. de & GUZZO, C.L. Metodologia de Georreferenciamento do Cadastro Vitícola. Bento Gonçalves: EMBRAPA-UVA E VINHO, 2005. 26p. (Documentos, 50)
- FIGUEIREDO, C.C.; RESCK, D.V. & CARNEIRO, M.A. Labile and stable fractions of soil organic matter under management systems and native cerrado. R. Bras.Ci. Solo, v.34, p.907-916, 2010.
- FIORIO, P.R.; DEMATTÊ, J.A.M.; NANNI, M.R. & FORMAGGIO, A.R. Diferenciação espectral de solo utilizando dados obtidos em laboratórios e por sensor orbital. Bragantia, v.69, n.2, p.453-466, 2010.
- FOGAÇA, A.O. Avaliação do estado nutricional de vinhedos e sua correlação com a produção de uvas viníferas de qualidade. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria. 2005. 88f. (Dissertação Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos)
- FONTANA, A.; PEREIRA, M.G.; LOSS, A.; CUNHA, T.J.F. & SALTON, J.C. Atributos de fertilidade e frações húmicas de um Latossolo Vermelho no Cerrado. Pesq. Agrop. Brasileira, v.41, n.5, p.847-853, 2006.
- FONTANA, A.; BENITES, V.M.; PEREIRA, M.G. & ANJOS, L.H.C. Substâncias húmicas como suporte à classificação de solos Brasileiros. R. Bras. Ci. Solo, v.32, p.2073-2080, 2008.
- FONTANA, A.; BRITO, R.J.; PEREIRA, M.G.; LOSS, A. & BENITES, V.M. Caracterização de substâncias húmicas da camada superficial do solo sob diferentes coberturas vegetais. Magistra, v.22, p.48-55, 2010.
- FONTANA, A.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C. & BENITES, V.M. Classificação de horizontes diagnósticos em níveis hierárquicos inferiores com base nas frações húmicas. R. Bras. Ci. Solo, v.35, n.2, p.313-324, 2011b.
- FONTANA, A.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.; SANTOS, A.C. & BERNINI, T.A. Matéria orgânica de horizontes superficiais em topolitossequências em ambiente de Mar de Morros, Pinheiral, RJ. R. Ci. Agron., v.45, p.221-9, 2014.
- FONTANA, A.; SILVA C.F.; PEREIRA, M.G.; LOSS, A.; BRITO, R.J. & BENITES, V.M. Avaliação dos compartimentos da matéria orgânica em área de Mata Atlântica. Acta Sci. Agron., v.33, p.545-50, 2011a. Doi: 10.4025/actasciagron.v33i3.5169
- FRÁGUAS, J.C.; ALVARENGA, A.A.; ABRAHÃO, E. & REGINA, A.M.A. Calagem e Adubação para Videiras e Frutíferas de Clima Temperado. Belo Horizonte: EPAMIG, 2002. (Boletim Técnico nº 65).
- FRANCESCO I.; MASSIMO, B.; FULVIO, M. & ATTILIO, S. Differential effects of canopy manipulation and shading of *Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon. I. Composition of grape berries. Vitic. Enol. Sci., v.49, p.220-225, 1994.
- FREGONI, M. Viticoltura di qualità. Verona: Phytoline, 2005. 819p.
- FREITAS, M.A.; CAYE, B.R & MACHADO, J.L.F. PROESC: Diagnóstico dos recursos hídricos subterrâneos do oeste do estado de Santa Catarina – Projeto Oeste de Santa Catarina. Porto Alegre:CPRM/SDM-SC/SDA-SC/EPAGRI. 2003. 100p.

- GARDNER, L.R. Long-term isovolumetric leaching of aluminum from rocks during weathering: implications for the genesis of saprolite. *Catena*, v.19, p.521-537, 1992.
- GAZOLLA, P.R.; GUARESCHI, R.F.; PERIN, A.; PEREIRA, M.G. & ROSSI, C.Q. Frações da matéria orgânica do solo sob pastagem, sistema plantio direto e integração lavoura-pecuária. *Semina: Ciências Agrárias*, v.36, n.2, p.693-704, 2015.
- GENRO JR, S.A.; REINERT, D.J. & REICHERT, J.M. Variabilidade temporal da resistência à penetração de um Latossolo argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. *R. Bras.Ci. Solo*, v.28, p.477-484, 2004.
- GIÁCOMO, R.G.; PEREIRA, M.G. & BALIEIRO, F.C. Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição das frações húmicas no solo sob diferentes coberturas florestais. *R. Bras. Ci. Agron.*, v.3, p.42-48, 2008.
- GIBOSHI, M.L. Desenvolvimento de um sistema especialista para determinar a capacidade de uso da terra Campinas: Faculdade de Engenharia Agrícola. 1999. (Dissertação de Mestrado)
- GIOVANNINI E.; MIELE A.; FRÁGUAS J.C. & BARRADAS C.I.N. Estudo comparativo de três metodologias de diagnose nutricional foliar para a videira. *Pesq. Agrop. Gaúcha*, v.7, n.1, p.41-48, 2001.
- GONZÁLEZ, F.M. Influências dos fatores edafoclimáticos nas uvas e vinhos cabernet sauvignon de diferentes pólos vitícolas do Rio Grande Do Sul. Caxias do Sul: Universidade de Caxias do Sul, 2005. 95f. (Dissertação de Mestrado)
- GOUVEIA, S.E.M. Isótopos do carbono na avaliação do remonte biológico de Latossolos e Podzólicos e de eventos paleoclimáticos em distintas localidades do Brasil. Piracicaba: Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo. 2001. 116f. (Tese de Doutorado)
- GRIS, E.F.; BURIN, V.M.; BRIGHENTI, E.; VIEIRA, H.J. & BORDIGNON-LUIZ, M. Phenology and ripening of *Vitis vinífera* grape varieties in São Joaquim, southern Brazil: a new South American wine growing region. *Ciência e Investigación Agraria*, v.37, p.61-75, 2010.
- GUEDES, M.C. Ciclagem de nutrientes após aplicação de lodo de esgoto (biossólido) sobre latossolo cultivado com *Eucalyptus grandis*. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. 2005. 154f. (Tese de Doutorado)
- HAN X.Y.; ZHUO, S.J.; SHEN, R.X.; WANG, P.L. & JI A. Comparison of the quantitative results corrected by fundamental parameter method and difference calibration specimens in x-ray fluorescence spectrometry. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, v.97, n.1, p.68-74, 2006.
- HARRIS, D.C. *Análise Química Quantitativa*, 6^a ed. Rio de Janeiro: LTC, 2005.
- HARTEMINK, A.E.; GERZABEK, M.; LAL, R. & McSWEENEY, K. Soil carbon research priorities. In: HARTEMINK, A.E. & McSWEENEY, K. *Soil Carbon*. Dordrecht: Springer. 2014. 506p.
- HARTKAMP, A.D.; BEURS, K.; STEIN, A. & WHITE, J.W. Interpolation Techniques for Climate Variables. NRG-GIS Series 99-01. Mexico, D.F.; CIMMYT. 1999.
- HILBERT, G.; SOYER, J. P. & MOLOT, C. Effects of nitrogen supply on must quality and anthocyanin accumulation in berries of cv. Merlot. *Vitis*, v.42, p.69-76, 2003.

- HILLEL, D. Flow of water in unsaturated soil. In: HILLEL, D. Environmental soil physics. New York: Academic Press, 1998. p.203-241.
- HILLEL, D. & ROSENZWEIG, C. The role of soils in climate change. In HILLEL, D. & ROSENZWEIG, C., eds. Handbook of Climate Change and Agroecosystems: Impacts, Adaptation and Mitigation. ICP Series on Climate Change Impacts, Adaptation, and Mitigation. Imperial College Press, v.1, p.9-20, 2010.
- HORBACH, R. **et al.** Geologia. In: BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Levantamento de Recursos Naturais. Vol.33, Folha SH 22, Porto Alegre e parte das folhas SH 21 e SI 22 Lagoa Mirim. Capítulo 1, Rio de Janeiro, 1986, 796p.
- HUDSON, B.D. Reassessment of Polynov' s Ion Mobility Series. Soil Sci. Soc. Am. J., v.59, p.1101-1103, 1995.
- INDA JUNIOR, A.V. Caracterização de goethita e hematita em solos poligenéticos. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2002.126f. (Tese de Doutorado)
- IRVINE, T.N. & BARAGAR, W.R. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. Can. J. Earth Sci., v.8, p.523-548, 1971.
- IUSS - WORKING GROUP WRB. World Reference Base for Soil Resources 2014. World Soil Resources, FAO, Rome: FAO. 182p. (Report No. 106).
- JACKSON, D.I. & LOMBARD, P.B. Environmental and management practices affecting grape composition and wine quality – a review. Am J. of Enol. and Vitic., v.44, n.4, p.409-430, 1993.
- JANTALIA, C.P.; RESCK, D.V.S.; ALVES, B.J.R.; ZOTARELLI, L.; URQUIAGA, S. & BODDEY, R.M. Tillage effect on C stocks of a clayey oxisol under a soybean-based crop rotation in the Brazilian Cerrado. Soil Till. Res., v.95, p.97-109, 2007.
- JOHNSON, R.A. & WICHERN, D.W. Applied Multivariate Statistical Analysis, 6^a ed. New Jersey: Prentice Hall. 2007. 773p.
- JONES, G.V.; NELSON, P. & SNEAD, N. Modeling Viticultural Landscapes: A GIS Analysis of the Terroir Potential in the Umpqua Valley of Oregon. GeoScience Canada, v.31, n.4, p.167-178, 2004.
- KABATA-PENDIAS, A. & ADRIANO, D.C. Trace metals. In: J.E. Rechcigl (ed.), Soil Amendments and Environmental Quality. Lewis Publ., Boca Raton, Fla. 1995. 139-167p.
- KABATA-PENDIAS, A. & PENDIAS, H. Trace Elements in Soils and Plants, 2nd Edition, CRC Press, Boca Raton, Florida, 1992. 315p.
- KIEHL, E.J. Manual de edafologia. São Paulo: Agronômica Ceres. 1979.
- KLEIN, V.A. & LIBARDI, P.L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. R. Bras. Ci. Solo, v.26, p.857-867, 2002.
- KLIEWER, W.M. & TORRE, S.R. Effect of controlled day and night temperatures on grape coloration. Am. J. Enol. Vitic., v.23, p.71-77, 1972.
- KONONOVA, M.M. Materia orgânica del suelo: su naturaleza, propiedades y métodos de investigación. Barcelona: Oikos-tau, 1982. 364p.
- KÖPPEN, W. Climatologia: com um estúdio de los climas de la tierra. Publications In: Climatology. New Gersey: Laboratory of Climatology, 1948. 104p.

- KRAUSKOPF, K.B. Introdução a geoquímica. Editora USP. v.2, 1997. 311p.
- KRAVCHENKO, A.N.; BOLLERO, G.A.; OMONODE, R.A. & BULLOCK, D.G. Quantitative mapping of soil drainage classes using topographical data and soil electrical conductivity. Soil Science Society of America Journal, v.66, p.235-243, 2002.
- KREUZ, C.L. ; SOUZA, A. ; SCHUCK, Ê. & PETRI, J.L. Avaliação econômica de alternativas de investimentos no agronegócio da uva no meio oeste Catarinense. Revista Brasileira de Fruticultura. v.27, n.2. 2005.
- KURTURAL, S.K. Vineyard site selection. Cooperative Extension Service. University of Kentucky - College of Agriculture.Horticulture Department.Hort. 7p. 2006.
- LACERDA, M.P.C.; ANDRADE, H. & QUEMÉNEUR, J.J.G. Micropedologia da alteração em perfis de solos com B textural na região de Lavras, Minas Gerais. R. Bras. Ci. Solo, v.2, p.829-841, 2000.
- LAGO, P.F. Santa Catarinense: a terra, o homem e a economia. Florianópolis: Ed.UFSC, 1968.
- LAL, R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. Science, v.204, p.1623-1627, 2004.
- LALAS, A. Para o alto: É possível compensar a pouca latitude com maior altitude nos vinhedos? Revista Adega. Ed. 91. 2013.
- LANYON, D.M.; CASS, A. & HANSEN, D. The effect of soil properties on vine performance. Australia: CSIRO, 2004. (Land Water Technical Report, 34/04).
- LARACH, J.O.I. Estudos integrados e ordenamento territorial. Bol. Inf. Soc. Bras. Ci. Solo, v.15, p.100-101, 1990.
- LE BAS, M.J.; LE MAITRE, R.W.; STRECKISEN, A. & ZANETTIN, B. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. J. Petrol., v.27, p.745-750, 1986.
- LEBON, E.; PELLEGRINO, A.; LOUARN, G. & LECOEUR, J. Branch development controls leaf area dynamics in grapevine (*Vitis vinifera*) growing in drying soil. Annals of Botany, v.98, p.175-185, 2006. DOI: 10.1093/aob/mcl085.
- LEDRU, M.P. Late Quaternary Environmental and Climatic Changes in Central Brazil. Quaternary Research, v.39, p.90-98, 1993.
- LEINZ, V. & AMARAL, S. E. Águas Continentais de Superfície. Geologia Geral. 3. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1985.
- LEINZ, V. & AMARAL, S.E. Geologia Geral. Cia Editora Nacional, São Paulo, 1980, 397p.
- LEPSCH, I.F.; BELLINAZZI JR., R.; BERTOLINI, D. & ESPÍNDOLA, C.R. Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso. 4ª aproximação. Campinas: SBCS, 1991. 175p.
- LEVI, F. & MELFI, A.J. Geochemical and mineralogical studies on the first stages of weathering of basic and related rocks. R. Bras. Geociências, v.2, p.1-7, 1972.
- LEVINSON, A.A. Introduction to exploration geochemistry. Calgary: Applied Publishing, 1974. 612p.

- LIMA, C.L.R.; SILVA, A.P.; IMHOFF, S.; LIMA, H.V. & LEÃO, T.P. Heterogeneidade da compactação de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob pomar de laranja. R. Bras. Ci. Solo, v.28, p.409-414, 2004.
- LIPIEC J. & HATANO, R. Quantification of compaction effects on soil physical properties and crop growth. Geoderma, v.116, p.107-136, 2003.
- LLOPIS, G.Y. (Trad. Jorge Tonietto). Denominações de origem e indicações geográficas de produtos vitivinícolas. Bento Gonçalves: Embrapa, Uva e Vinho. 1997, 20p.
- LOMBARDO, J.A. Planalto Catarinense. Revista Anuário Vinhos do Brasil. Rio de Janeiro, p.106-112, 2013.
- LONGLEY, P.A.; GOODCHILD, M.F.; MAGUIRE, D.J. & RHIND, D.W. Sistemas e ciência da informação geográfica. 3ª ed. Porto Alegre: Bookman. 2013.
- LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L.H.C. dos & SILVA, E.M.R. Atributos químicos e físicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo em sistema integrado de produção agroecológica. Pesq. Agrop. Brasileira, v.44, p.68-75, 2009.
- LOSS, A.; PEREIRA, M.G. & BRITO, R.J. Distribuição das substâncias húmicas em solos de tabuleiros sob diferentes coberturas vegetais. R. Univ. Rural Série Ci. Vida. v.26, p.57-69, 2006.
- LOSSO, F. B. A produção de vinhos finos de altitude na região vitivinícola de São Joaquim (SC): uma alternativa para o turismo? Universidade do Vale do Itajaí: Balneário Camboriú. 2010. 206f. (Dissertação de Mestrado)
- LUCHESE, E.B.; FAVERO, L.O.B. & LENZI, E. Fundamentos da química do solo, teoria e pratica. 2ª. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos. 2002.
- LUCIANO, R.V.; ALBUQUERQUE, J.A.; RUFATO, L.; MIQUELLUTI, D.J. & WARMLING, M.T. Condições meteorológicas e tipo de solo na composição da uva 'Cabernet Sauvignon'. Pesq. Agropec. Bras., v.48, n.1, p.97-104, 2013.
- LUCIANO, R.V. Variabilidade espacial e temporal de atributos do solo e relação com a qualidade da uva para vinificação no Planalto Catarinense. Lages: Universidade do Estado de Santa Catarina, 2012. 161f. (Tese de Doutorado)
- MAFRA, M.S.H.; CASSOL, P.C.; MIQUELLUTI, D.J.; ERNANI, P.R.; GATIBONI, L.C.; FERREIRA, E.Z.; BARROS, M.; ZALAMENA, J. & GROHSKOPF, M.A. Atributos químicos do solo e estado nutricional de videira Cabernet Sauvignon (*Vitis vinifera* L.) na Serra Catarinense. R. Ci. Agroveterinárias, v.10, n.1, p.44-53, 2011.
- MACCALLISTER, D.L. & CHIEN, W.L. Organic carbon quantity and forms as influenced by tillage and cropping sequence. Comm. Soil Sci. Plant Anal., v.3, p.465-479, 2000.
- MACHADO, P.L.O.A. & GERZABEK, M. Tillage and crop rotation interactions on humic substances of a typic haplorthox from southern Brazil. Soil Tillage Research, Amsterdam, v.26, n.1, p.227-236, 1993.
- MACKIE, K.A.; MUELLER, T. & KANDELER, E. Remediation of copper in vineyards: a mini review. Environmental Pollution, v.167, p.16-26, 2012.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. de. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.
- MANDELLI, F. Comportamento meteorológico e sua influência na vindima de 2006 na Serra Gaúcha. Passo Fundo: Embrapa. 2006. 4p. (Comunicado Técnico, 67).

- MARCHIORI JÚNIOR, M. & MELO, W.J. Alterações na matéria orgânica e na biomassa microbiana em solo de mata natural submetido a diferentes manejos. *Pesq. Agrop. Brasileira*, v.35, n.3, p.1177-1182, 2000.
- McKEAGUE, J.A.; CHESHIRE, M.V.; ANDREUX, F. & BERTHELIN, J. Organo-Mineral Complexes in Relation to Pedogenesis. In: HUANG, P.M. & SCHNITZER, M. (Ed.) *Interactions of Soil Minerals With Natural Organics and Microbes*. Madison: SSSA, 1986. p.549-592.
- MELFI, A.J. & PEDRO, G. Estudo geoquímico dos solos e formações superficiais do Brasil. Parte 2: Considerações sobre os mecanismos geoquímicos envolvidos na alteração superficial e sua repartição no Brasil. *R. Bras. Geociências*, São Paulo, v.8, p.11-22, 1978.
- MELLO, F.A.F.; SOBRINHO, M.O.C.B.; ARZOLLA, S.; SILVEIRA, R.I.; NETTO, A.C. & KIELH, J.C. *Fertilidade do Solo*. São Paulo: Nobel. 1983.
- MELLO, L.M.R. de. *Viticultura Brasileira: Panorama 2012*. n.137, p.1-5, 2012. (Comunicado Técnico)
- MELO, W.J.; MARQUES, M.O. & MELO, V.P. O uso agrícola do biossólido e as propriedades do solo. In: TSUTIYA, M.T. COMPARINI, J.B.; ALEM SOBRINHO, P.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P.C.T.; MELFI, A.J.; MELO, W.J. & MARQUES, M.O. (Eds.). *Biossólidos na agricultura*. 1.ed. São Paulo: SABESP, 2001. p.289-363.
- MELO, G.W.B. Uva para processamento produção. *Frutas do Brasil*, 34. EMBRAPA Solos 45 -55p. 2003. 134p.
- MENDONÇA, E.S. & ROWELL, D.L. Mineral and organic fractions of two Oxisols and their influence on effective cation-exchange capacity. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v.60, p.1888-1892, 1996.
- MENGEL, K. & KIRKBY, E.A. *Principles of plant nutrition*. Bern: International Potash Institute, 1987. 687p.
- MICHELON, C. R. Balanço químico em seis conjuntos solosaprolito do Rio Grande do Sul. Universidade Federal de Santa Maria. 2006. 68f. (Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo)
- MIELE, A.; RIZZON, L.A. & ZANUS, M.C. Discrimination of Brazilian red wines according to the viticultural region, varietal, and winery origin. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, v.30, n.1, p.268-275, 2010.
- MIRANDA, C.C.; CANELLAS, L.P. & NASCIMENTO, M.T. Caracterização da matéria orgânica do solo em fragmentos de Mata Atlântica e em plantios abandonados de eucalipto. *R. Bras. Ci. Solo*, v.31, p.905-16, 2007.
- MIRLEAN, N.; ROISENBERG, A. & CHIES, J.O. Metal contamination of vineyard soils in wet subtropics (southern Brazil). *Environmental Pollution*, v.149, p.10-17, 2007.
- MONTEIRO, M.A. Caracterização climática do estado de Santa Catarina: uma abordagem dos principais sistemas atmosféricos que atuam durante o ano. Florianópolis: Geosul, v.16, n.31, p.69-78, 2001.
- MORENO, J.L. *La matéria orgânica en los agrosistemas*. Madrid: Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación, 1996. 174p.

- MOTA, R.V.; REGINA, M.A.; AMORIM, D.A. & FÁVERO, A.C. Fatores que afetam a maturação e a qualidade da uva para vinificação. *Informe Agropecuário*, v.27, n.234, p.56-64, 2006.
- MPELASOKA, B.S.; SCHACHTMAN, D.P.; TREEBY, M.T. & THOMAS, M.R. A review of potassium nutrition in grapevines with special emphasis on berry accumulation. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, v.9, p.154-168, 2003.
- MURTY, D.; KIRSCHBAUM, M.F.; McMURTRIE, R.E. & McGILVRAY, M. Does conversion of forest to agricultural land change soil carbon and nitrogen? A review of the literature. *Global Change Biology*, v.8, p.105-123, 2002.
- MYBURGH, P.A. & MOOLMAN, J.H. The effect of ridging on the soil water status of a waterlogged vineyard soil. *S. Afr. J. Plant Soils*, v.8, n.4, p.184-188, 1991.
- NAKATA, H. & COELHO, M de A. *Geografia geral*. 2. ed. São Paulo: Moderna, 1986.
- NANNI, M.R.; DEMATTE, J.A.M. & FIORIO, P.R. Análise discriminante dos solos por meio da resposta espectral no nível terrestre. *Pesq. Agrop. Brasileira*, v.39, p.995-1006, 2004.
- NARDY, A.J.R.; MACHADO, F.B. & OLIVEIRA, M.A.F. As rochas vulcânicas mesozóicas ácidas da Bacia do Paraná: litoestratigrafia e considerações geoquímico-estratigráficas. *Rev. Bras. Geociênc.*, v.38, n.1, p.178-195, 2008.
- NARDY, A.J.R.; OLIVEIRA, M.A.F.; BETANCOURT, VERDUGO, D.R.H. & MACHADO, F.B. Geologia e estratigrafia da Formação Serra Geral. *Geociências*, v.21, n.1, p.15-32, 2002.
- NASCIMENTO, P.C.; LANI, J.L.; MENDONÇA, E S.; ZOFFOLI, H.J.O. & PEIXOTO, H.T.M. Teores e características da matéria orgânica de solos hidromórficos do Espírito Santo. *R. Bras. Ci. Solo*, v.34, n. 1, p.339-348, 2010.
- NICOLOSO, R.S. Dinâmica da matéria orgânica do solo em áreas de integração lavoura-pecuária sob sistema plantio direto. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2005. 149f. (Tese de Mestrado)
- OLIVEIRA, J.B.; JACOMINE, P.K.T. & CAMARGO, M.N. *Classes gerais de solos do Brasil*. Jaboticabal: FUNEP/FCAV. 1992. 201p.
- PAIVA, D.M. Características físico-químicas do carvão vegetal oxidado e sua influência nas perdas e suprimento de nitrogênio em mistura com ureia. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. 2014. 69f. (Tese de Doutorado)
- PARREIRA, P.S. Metodologia de EDXRF e aplicações com um sistema portátil. Londrina: Lfnatec- Laboratório de Física Nuclear aplicada. 2006, 16p. (Publicação Técnica)
- PEDRON, F.A. Mineralogia, morfologia e classificação de saprolitos e Neossolos derivados de rochas vulcânicas no Rio Grande do Sul. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2007. 160f. (Tese de Doutorado)
- PEREIRA, L.C. Aptidão agrícola das terras e sensibilidade ambiental: proposta metodológica. Campinas: Universidade Estadual de Campinas. 2002. 122f. (Tese de Doutorado)
- PFLEGER P. Substâncias húmicas em cambissolo sob vegetação natural e plantios de pinus em diferentes idades. Lages: Universidade do Estado de Santa Catarina; 2013. 64f. (Dissertação de Mestrado)
- PICCIRILLO, E.M. & MELFI, A.J. The Mesozoic Flood Volcanism of the Paraná Basin: Petrogenetic and Geophysical Aspects. São Paulo: IAG-USP, 1988. 600p.

- PINHEIRO, E.F.M.; LIMA, E.; CEDDIA, M.B.; URQUIAGA, S.; ALVES, B.J.R. & BODDEY, R. M. Impact of pre-harvest burning versus trash conservation on soil carbon and nitrogen stocks on a sugarcane plantation in the Brazilian Atlantic forest region. *Plant Soil*, v.333, p.71-80, 2010.
- PINHEIRO, E.F.M.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C.; PALMIERI & SOUZA, R.C.; Matéria orgânica em Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo e cobertura do solo. *R. Bras. Agrociência*, v.9, p.53-56, 2003.
- PINTO, L.F.S. & KÄMPF, N. Balanço geoquímico de solos derivados de rochas básico-ultrabásicas no ambiente subtropical do Rio Grande do Sul. *R. Bras. Ci. Solo*, v.2, p.651- 658, 1997.
- POGUE, K.R. Influence of basalt on the terroir of the Columbia Valley American Viticultural Area: Proceedings of the 8th International Terroir Congress, Centro di Ricerca per la Viticoltura, Soave, Italy, v.1, p. 4-55, 2010.
- POLINOV, B.B. *The Cycle of Weathering*. London, 1937.
- POTTER, R.O.; CARVALHO, A.P.; FLORES, C.A. & BOGNOLA, I. Solos do Estado de Santa Catarina. Rio de Janeiro: Embrapa-Solos. 2004. CD ROM; mapa color. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 46).
- POTTER, R.O. & KÄMPF, N. Argilo-minerais e óxidos de ferro em Cambissolos e Latossolos sob regime climático térmico údico no Rio Grande do Sul. *R. Bras. Ci. Solo*, v.5, p.153-159, 1981.
- PRESTON-WHYTE, R.A. & TYSON, P.D. *The Atmosphere and weather of Southern Africa*, Oxford University Press. Cape Town, South Africa, 1988, 374p.
- QUINN, J.H. Paired river terraces and pleistocene glacialiation. *The Journal of Geology*, Chicago, v.65, p.149-166, 1957.
- RAIJ, B.V.A.N.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C. *Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo*. 2ª. ed. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC; 1997. (Boletim Técnico, 100)
- RAMALHO FILHO, A. & BEEK, K. J. *Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras*. 3. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1995. 65p.
- RASHEED, S. & VENUGOPAL, K. Land suitability assessment for selected crops in Vellore district based on agro-ecological characterization. *J. Indian Soc. Rem. Sens.*, v.37, p.615-629, 2009.
- REGINA, M. de A.; FRÁGUAS, J.C.; ALVARENGA, A.A.; SOUZA, C.R. de; AMORIM, D.A. de; MOTA, R.V. da & FÁVERO, A.C. *Implantação e manejo do vinhedo para produção de vinhos de qualidade*. *Informe Agropecuário*, v.27, p.16-31, 2006.
- REIMANN, C. & CARITAT, P. *Chemical elements in the environment*. Berlin: Springer, 1998, 398p.
- RESENDE, M.; CURI, N.; de RESENDE, S.B. & CORRÊA, G.F. *Pedologia: base para distinção de ambientes*. 4. ed. Viçosa: NEPUT, 2002. 338p.
- REYNIER, A. *Manual de Viticultura*. Ed. Mundi-prensa. Madrid, 2001. 497 p.
- RHUE, R.V. & WALKER, P.H. Hillslope models and soil formation. In: *Congress of Soil Science*, 9., 1968, Adelaide. 1968.

- RIBEIRO, M.R. Metodologias de avaliação da aptidão agrícola das terras e as variáveis regionais. Acad. Pernambucana Ci. Agron., v.4, p.116-125, 2007.
- RICE, J.A. & MacCARTHY, P. Statistical evaluation of the elemental composition of humic substances. Org. Geochem., v.17, p.635-648, 1991.
- RIGON, L. Anuário brasileiro da uva e do vinho. Santa Cruz do Sul. Editora Gazeta Santa Cruz, 2006. 135p.
- ROBERT, M. & BERTHELIN, J. Role of Biological and Biochemical Factors in Soil Mineral Weathering. In: HUANG, P.M. & SCHNITZER, M. (Ed.) Interactions of Soil Minerals. With Natural Organics and Microbes. Madison: SSSA, 1986. p.453-496.
- ROOSE, E.J.; LAL, R.; FELLER, C.; BARTHES, B. & STEWART, B.A. Soil erosion and carbon dynamics. Taylor & Francis Group, 2006. 378p.
- ROSA, J.D.; MAFRA, A.L.; NOHATTO, M.; FERREIRA, E.Z.; OLIVEIRA, O.L.P.; MIQUELUTTI, D.J.; CASSOL, P.C. & MEDEIROS, J.C. Atributos químicos do solo e produtividade de videiras alterados pelo manejo de coberturas verdes na Serra Gaúcha. R. Bras. Ci. Solo, v.33, p.179-187, 2009.
- ROSA, R. Introdução ao sensoriamento remoto. 7 ed. Uberlândia: EDUFU, 2009.
- ROSCOE, R. & MACHADO, P.L.O. de A. Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica, Dourados - MS: Embrapa Agropecuária Oeste e Embrapa Solos, 2002. 86p.
- ROSS, J.L.S. & MOROZ, I.C. Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. Laboratório de Geomorfologia. São Paulo: Departamento de Geografia – FFLCH – USP/Laboratório de Cartografia Geotécnica – Geologia Aplicada – IPT/FAPESP (Fundação do Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo), 1997. (Mapas e Relatórios)
- ROSSI, C.Q.; PEREIRA, M.G.; GIÁCOMO, S.G.; BETTA, M. & POLIDORO, J.C. Frações húmicas da matéria orgânica do solo cultivado com soja sobre palhada de braquiária e sorgo. Bragantia, v.70, n.3, p.622-630, 2011.
- ROSSI, C.Q.; PEREIRA, M.G.; GIÁCOMO, S.G.; BETTA, M. & POLIDORO, J.C. Frações lábeis da matéria orgânica em sistema de cultivo com palha de braquiária e sorgo. R. Ci. Agrônômicas, v.43, n.1, p.38-46, 2012.
- SANTA CATARINA - GABINETE DE PLANEJAMENTO E COORDENAÇÃO GERAL, SUBCHEFIA DE ESTATÍSTICA, GEOGRAFIA E INFORMÁTICA. Atlas de Santa Catarina. Florianópolis. 1986. 173p.
- SANTOS, C.C. Mobilidade de elementos químicos no perfil de solo e seu controle na prospecção geoquímica: aplicação na região de Santa Maria da Vitória, BA. Brasília: Universidade de Brasília; 2014. 121f. (Dissertação de Mestrado)
- SANTOS, H.G. dos; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C. dos; OLIVEIRA, V.A. de; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A. de; CUNHA, T.J.F. & OLIVEIRA, J.B. de. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2013a. 353p.
- SANTOS, R.D. dos; LEMOS, R.C. de; SANTOS, H.G. dos; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C. dos & SHIMIZU, S.H. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 6. ed. rev. e ampl. Viçosa: SBCS, 2013b. 100p.
- SANTOS, L.L.; LACERDA, J.J.J & ZINN, Y.L. Partição de substâncias húmicas em solos brasileiros. R. Bras. Ci. Solo, v.37, p.955-968, 2013c.

- SANTOS, V.R.; MOURA FILHO, G.; SANTOS, C.G.; SANTOS, M.A.L. & CUNHA, J.L.X. Contribuição de argilominerais e da matéria orgânica na CTC dos solos do estado de Alagoas. *R Caatinga*, v.22, p.27-36, 2009.
- SANTOS H.P. Aspectos ecofisiológicos na condução da videira e sua influência na produtividade do vinhedo e na qualidade dos vinhos. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2006. 9p. (Comunicado Técnico, 71).
- SANTOS, A.O.; HERNANDES, J.L.; PEDRO JR., MÁRIO J. & ROLIM, G.S. Parâmetros fitotécnicos e condições microclimáticas para videira vinífera conduzida sob dupla poda sequencial. *R. Bras. Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, n.12, p.1251-1256, 2011.
- SARMENTO, E.C.; FLORES, C.A.; WEBER, E. & HASENACK, H. Vineyards and edaphic suitability for viticulture in the Vale dos Vinhedos, Brazil. In: *Anais 34° World Congress of the International Vine and Wine*; 2011; Porto. Porto: OIV. Disponível em: <http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo/arquivos/Publicacoes/Congressos/2011/Sarmento_et_al_2011_Vineyards_and_edaphic_suitability_for_viticulture.pdf>. Acessado em: 15 de janeiro de 2016.
- SARTORI, P.L. & GOMES, C.B. Composição química-mineralógica das últimas manifestações vulcânicas na região de Santa Maria, RS. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 52, n. 1, p. 125-133, 1980.
- SCHMITT, D.E.; COMIN, J.J.; GATIBONI, L.C.; TIECHER, T.; LORENSINI, F.; MELLO, G.W.B.; GIROTTO, E.; GUARDINI, R.; HEINZEN, J. & BRUNETTO, G. Phosphorus fractions in sandy soils of vineyards in southern Brazil. *R. Bras. Ci. Solo*, v.37, p.472-481, 2013.
- SCHWERTMANN, U. & TAYLOR, R.M. Iron Oxides. In: DIXON, J.B. & WEED, S.B., eds. *Minerals in soil environments*. 2.ed. Madison, Soil Science Society of America, p.379-438, 1989.
- SCOTT, E.S.; Damberg, R.G. & Stummer, B.E. Fungal contaminants in the vineyard and wine quality. In: REYNOLDS AG. (ed). *Managing wine quality. Volume1: Viticulture and wine quality*. CRC Press: Boca Raton. p.481-514. 2010.
- SDS - SECRETARIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO SUSTENTÁVEL/SC. Levantamento aerofotogramétrico. 2014. Disponível em http://www.sds.sc.gov.br/index.php?option=com_content&task=view&id=34&Itemid=209&lang=brazilian_portuguese. Acesso em 9 de abr. 2014.
- SEGUIN, G. 'Terroirs' and pedology of vinegrowing, *Experientia*, v.42, p.861- 873. 1986.
- SENTELHAS, P.C. Aspectos climáticos para a viticultura tropical. *Informe Agropecuário*, v.9, n.194, p.9-14, 1998.
- SILVA, F.A.S. & AZEVEDO, C.A.V. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. *R. Bras. de Produtos Agroindustriais*, v.4, n.1, p.71-78, 2002.
- SILVA, I.F & DOURADO NETO, D. Princípios e Práticas da Ciência do Solo. *O Solo como um Recurso Natural*. São Paulo: Editora Andrei. 2009a. 426p.
- SILVA, A.C.; HORÁK, I.; VIDAL-TORRADO, P.; MARTINEZ CORTIZAZ, A.; RACEDO, J.R. & CAMPOS, J.R. Turfeiras da Serra do Espinhaço Meridional - MG. II- Influência da drenagem na composição elementar e substâncias húmicas. *R. Bras. Ci. Solo*, v.33, p.1399-408, 2009b. Doi: 10.1590/S0100-06832009000500031

- SILVA, I.R. & MENDONÇA, E.S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. Fertilidade do solo. Viçosa, MG: Soc. Bras. Ci. Solo; 2007. p.275-374.
- SILVA, L.B. da; DICK, D.P. & INDA JUNIOR, A.V. Solos subtropicais de altitude: atributos químicos, teor de matéria orgânica e resistência à oxidação química. Ci. Rural, v.38, n.4, p.1167-1171, 2008.
- SILVA, M.A.S.; MAFRA, A.L.; ALBUQUERQUE, J.A.; ROSA, J.D.; BAYER, C. & MIELNICZUK, J. Propriedades físicas e teor de carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob distintos sistemas de uso e manejo. R. Bras. Ci. Solo, v.30, p.327-337, 2006.
- SKJEMSTAD, J.O.; CLARKE, P.; TAYLOR, J.A.; OADES, J.M. & MCCLURE, S.G. The chemistry and nature of protected carbon in soil. Aust. J. Soil Res., v.34p, 251-271, 1996.
- SKJEMSTAD, J.O.; REICOSKY, D.C.; WILTS, A.R. & MCGOWAN, J.A. Charcoal carbon in U.S. agricultural soils. Soil Sci. Soc. Am. J., v.66, p.1249-55, 2002.
- SMART, R.E. Canopy microclimate implications for nitrogen effects on yield and quality. In: RANTZ, J.M. Proceedings of the International Symposium on Nitrogen in Grapes and Wine. June 1991, Seattle, USA. p.90-101, 1991.
- SOARES, E.M.B. Frações da matéria orgânica e composição molecular de substâncias húmicas de solos sob cultivo de eucalipto em biomas distintos. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa; 2009. 123f. (Tese de Doutorado)
- SOMMER, S.G.; SIBBESEN, E.; NIELSEN, T.; SCHJØRRING, J.K. & OLESEN, J.E. A passive flux sampler for measuring ammonia volatilization from manure storage facilities. J. Environ. Qual., v.25, p.241-247, 1996.
- SORATTO, R.P. & CRUSCIOL, C.A.C. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém implantado. R. Bras. Ci. Solo, v.32, p.675-688, 2008.
- SOUZA, J.S.I. Uvas para o Brasil. Piracicaba. FEALQ. 1996.
- SOUZA, R. de O. A ocorrência de neve em Planaltos Subtropicais: O caso do sul do Brasil. Universidades de São Paulo, São Paulo, 1997. 144f. (Dissertação de mestrado em Geografia).
- SOUZA, Z.M.; MARQUES JÚNIOR, J. & PEREIRA, G.T. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em diferentes formas de relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. R. Bras. Ci. Solo, v.28, n.3, p.937-944, 2004.
- SPAYD, S.E.; TARARA, J.M.; MEE, D.L. & FERGUSON, J.C. Separation of sunlight and temperature effects on the composition of *Vitis vinifera* cv. Merlot berries. American Journal of Enology and Viticulture, v.53, p.171-182, 2002.
- STEFÁNSSON, A.; GÍSLASON, S.R. & ARNÓRSSON, S. Dissolution of primary minerals in natural waters II. Mineral saturation state. Chemical Geology, 2001, n.172, p.251-276.
- STEVENSON, F.J. 1994. Humus chemistry: genesis, composition, reactions. 2. ed. John Wiley, New York, USA. 496p.
- STEVENSON, F.J. & ARDAKANI, M.S. Organic matter reactions involving micronutrients in soils. In: MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M. & LINDSAY, W.L., eds. Micronutrients in Agriculture. Madison, Soil Science Society of America, 1972. cap.5, p.79-114.

- STILES, C.A.; MORA, C.I. & DRIESE, S.G. Pedogenic processes and domain boundaries in a Vertisol climosequence: evidence from titanium and zirconium distribution and morphology. *Geoderma*, v.116, p.279-299, 2003.
- SWIFT, R.S. Organic matter characterization. In: SPARKS, D.L.; PAGE, A.L.; HELMKE, P.A.; LOEPPERT, R.H.; SOLTANPOUR, P.N.; TABATABAI, M.A.; JOHNSTON, C.T. & SUMNER, M.E. ed. *Methods of soil analysis*. Madison: Soil Science Society of America. 1996. p.1011-20.
- TAYLOR, H.M.; ROBERSON, G.M. & PARKER JÚNIOR, J.J. Soil strength-root penetration relations for medium- to coarse-textured soil materials. *Soil Science*, v.102, p.18-22, 1966.
- TECCHIO, M.A.; PIRES, E.J.P.; TERRA, M.M.; GRASSI FILHO, H.; CORRÊA, J. C. & VIEIRA, C.R.Y.I. Tolerância de porta-enxertos de videira cultivados, em solução nutritiva, ao alumínio. *Revista Ceres*, v.53, n.306, p.243-250, 2006.
- TEIXEIRA, W.; FAIRCHILD, T.R.; TOLEDO, M.C.M. & TAIOLI, F. *Decifrando a terra*. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 624p.
- TEIXEIRA, A.L.A. & CHRISTOFOLETTI A. *Sistema de Informações Geográficas: dicionário ilustrado*. São Paulo: Editora Hucitec, 1997.
- TESKE, R. Relações solo - litologia numa sequência de solos desenvolvidos de rochas efusivas no Planalto Sul de Santa Catarina. Lages: Universidade do Estado de Santa Catarina. 2010. 123f. (Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo)
- THANACHIT, S.; SUDDHIPRAKARN, A.; KHEORUENROMNE, I. & GILKES, R.J. The geochemistry of soils on a catena on basalt at Khon Buri, northeast Thailand. *Geoderma*, 2005.
- TITARELLI, A.H.V. A onda de frio de abril de 1971 e sua repercussão no espaço geográfico brasileiro. In: *Climatologia*. São Paulo: EDUSP. 1972. 15p.
- TONIETTO, J. Valorização do ecossistema: importância da regionalização vitivinícola na produção de vinhos de qualidade. In: *CONGRESO LATINOAMERICANO DE VITICULTURA Y ENOLOGIA*, 8, 2001, Montevidéo. *Annales*. Montevidéo: Asociación de Enólogos del Uruguay, 2001. p.1-9. (CD rom).
- Tonietto, J. & Flores, C.A. Zoneamento edafoclimático da videira no Brasil. In: *Encontro Nacional sobre Fruticultura de Clima Temperado - ENFRUTE*, 7, Fraiburgo, 2004. *Anais...* Caçador, Epagri, 2004, p.53-58.
- TONIETTO, J.; SOTÉS RUIZ, V. & GÓMEZ-MIGUEL, V.D. *Clima, zonificación y tipicidad del vino en regiones vitivinícolas iberoamericanas*. Madrid: Cytel, 2012. 411p.
- TONIETTO, J. & FALCADE, I. Vinhos regionais: regulamentação no Brasil. *X Congresso Brasileiro de Viticultura e Enologia*. Bento Gonçalves, 2003.
- TORMENA, C.A.; SILVA, A.P. & LIBARDI, P.L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, v.22; p.573-581, 1998.
- TRUCHOT, R.; SIMON, G.; GRIMAL, P. de & BESSIL, R. Variations des concentrations de zinc, cuivre et manganèse dans le raisin. /mudes des Falsifications et de l'Expertise Chimique, Paris, v.72, n. 71, p.15-24, 1979.

- TRUMBORE, S. & CAMARGO, P.B. de. Soil carbon dynamics. In: KELLER, M.; BUSTAMANTE, M.; GASH, G. & DIAS, P.S. (Ed.). Amazonia and Global Change. American Geophysical Union: Washington D.C., 2009. p.451-462.
- UBALDE, J.M.; SORT, X.; ALICIA ZAYAS, A. & POCH, R.M. Effects of soil and climatic conditions on grape ripening and wine quality of Cabernet Sauvignon. *Journal of Wine Research*, v.21, p.1-17, 2010. DOI: 10.1080/09571264.2010.495851
- UBERTI, A.A.A.; BACIK, I.L.Z.; PANICHI, J.V.; NETO, J.A.L.; MOSER, J.M.; PUNDEK, M. & CARRIÃO, S.L. Metodologia para classificação da aptidão de uso das terras do estado de Santa Catarina. Florianópolis, Empresa de Pesquisa Agropecuária de Santa Catarina, 1991. 19p. (Documentos, 119)
- UBERTI, A.A.A. Características, distribuição e aptidão de uso dos solos da encosta inferior do Nordeste do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1981. 93f. (Dissertação de Mestrado)
- USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE NATURAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE. *Keys to Soil Taxonomy*, 20.ed. Washington, DC: USDA, 2014. 360p.
- VALERIANO, M.M. Dados topográficos. In: Florenzano, T.G. editor. *Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais*. São Paulo: Oficina de Textos; 2008.
- VALOIS, C.M.; COMIN, J.J.; VEIGA, M.; BRUNETTO, G.; FAYAD, J.A.; BAUER, F.C.; LOSS, A.; MORAES, M.P. & LAZZARI, C.J.R. Atributos físicos de Cambissolo Háptico em vinhedos submetidos a intensidades de tráfego. *R. Bras. Ci. Solo*, v.38, n.4, p.1256-1267, 2014.
- VALLADARES, G.S. Proposta para classificação de solos com horizonte b textural ou nítico da região do Vale dos Vinhedos. *Rev. Ci. Rural*, v.12, n.2, p. 27-35, 2007.
- VALLADARES, G.S.; GOMES, E.G.; MELLO, J.C.C.B.S.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C.; EBELING, A.G. & BENITES, V.M. Análise dos componentes principais e métodos multicritério ordinais no estudo de organossolos e solos afins. *R. Bras. Ci. Solo*, v.32, p.285-296, 2008.
- VAN DIJCK, S.J.E. & VAN ASCH, T.H.W.J. Compaction of loamy soils due to tractor traffic in vineyards and orchards and its effect on infiltration in southern France. *Soil Till. Res.*, v.63, p.141-153, 2002.
- 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. *Journal of Wine Research*, v.17, n.1, p.1-10, 2006.
- VAN LEEUWEN, C.; TREGOAT, O.; CHONÉ, X.; BOIS, B.; PERNET, D. & GAUDILLÈRE, J.P. Vine water status is a key factor in grape ripening and vintage quality for red Bordeaux wine. How can it be assessed for vineyard management purposes? *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, v.43, p.121-134, 2009.
- VEIGA, M. Metodologia para coleta de amostras e análises físicas do solo. Florianópolis: Epagri, 2011. 52p. (Epagri. Boletim Técnico, 156)

- VIANNA, L.F.V.; MASSIGNAN, A.; PANDOLFO, C. & DORTZBACH, D. Caracterização agrônômica e edafoclimática dos vinhedos de altitude de Santa Catarina. R.Ci. Agroveterinárias, 2016.
- VIANNA, L.F.V.; MASSIGNAN, A.M. & DORTZBACH, D. Characterization of climate and physiography of the high altitude vineyards in Santa Catarina, Brazil. In. 29th Intarenation Horticultural Congress, Brisbane, Australian. 2014.
- VIEIRA, L.S. Manual da ciência do solo. São Paulo. ed. Agrônômica Ceres, 1975. 464p.
- VIEIRA, M.J. Comportamento físico do solo em plantio direto. In: FANCELLI, A.L.; TORRADO, P.V. & MACHADO, J. (Coords.). Atualização em plantio direto. Campinas: Fund. Cargill, 1985. p.163-179.
- VIEIRA, M.L. & KLEIN, V.A., Propriedades físico-hídricas de um latossolo vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo. R. Bras. Ci. Solo, v.31, p.1271-1280, 2007.
- VIEIRA, V.F. & ZAMPARETTI, A.F. Um método para o georreferenciamento dos vinhedos. Mundo Geo OnLine. 2010. Disponível em <http://mundogeo.com/blog/2000/01/01/um-metodo-para-o-georreferenciamento-dos-vinhedos/>. Acessado em 28/06/2012.
- VOLKOFF, B., FLEXOR, J.M. & SANTA-ISABEL, L.M. Natureza do húmus nos Latossolos distróficos da Bahia. R. Bras. Ci. Solo, v.2, n.1, p.59-63, 1978.
- VOLKOFF, B.; CERRI, C.C. & MELFI, A.J. Húmus e mineralogia dos horizontes superficiais de três solos de campo de altitude dos estados de Minas Gerais, Paraná e Santa Catarina. R. Bras. Ci. Solo, v.8, p.277-283, 1984.
- WHITE, R.E. Understanding Vineyard Soils. Oxford University Press. 2009. 230p.
- WHITE, A.F. Determining mineral weathering rates based on solid and solute weathering gradients and velocities - Application to biotite weathering in saprolites: Chemical Geology, v.190, p.69-89, 2002.
- WHITE, A.F. & BLUM, A.E. Effects of climate on chemical, weathering in watersheds. Geochimica et Cosmochimica. Acta, v.59, n.9, 1995.
- WINKLER, A.; COOK, J.; KLIEWER, W. & LIDER, L. General Viticulture. University of California Press, Berkeley. 1974. 710p.
- WOLF, T. & BOYER, J. "Vineyard Site Selection", Virginia Cooperative Extension Publication, Number 463-020. 2003.
- XIAN, X. Effect of chemical forms cadmium, zinc and lead in polluted soils on their uptake by cabbage plants. Plants and Soil, v.115, n.2, p.257-264, 1989.
- ZALAMENA, J. Plantas de cobertura na redução do vigor da videira em solo com alto teor de matéria orgânica. Lages: Universidade do Estado de Santa Catarina. 2012. 73f. (Tese de Doutorado)

12. ANEXOS

Os anexos estão disponíveis em um DVD (meio digital), onde constam os perfis modais de solo, com imagens da sua localização, bem como informações relacionadas a sua classificação, data de coleta, coordenadas (UTM), declividade, altitude, litologia, formação geológica, cronologia, material originário, pedregosidade, rochosidade, relevo local, relevo regional, erosão, drenagem, vegetação primária, uso atual e clima.

É apresentada também a descrição morfológica dos horizontes de cada perfil, assim como as análises físicas e químicas a eles relacionados.