

Atributos Químicos do Solo em Áreas de Vinhedos na Região da Campanha Gaúcha

Viviana Meneghini^{1*}, Arcângelo Loss²

⁽¹⁾Acadêmica do curso de Agronomia; Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Rodovia Admar Gonzaga, 1346 - Itacorubi, Florianópolis – SC, Brasil, CEP 88034-000.

⁽²⁾Engenheiro Agrônomo (UFRRJ); Mestrado em Ciência do Solo (UFRRJ); Doutorado em Ciência do Solo (UFRRJ); Professor Associado ao Departamento de Engenharia Rural; Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Rodovia Admar Gonzaga, 1346 - Itacorubi, Florianópolis - SC, Brasil, CEP 88034-000.

*Autor correspondente – Email: vivianameneghini4@gmail.com

Resumo

O objetivo do trabalho foi avaliar alterações nos atributos químicos do solo provenientes das práticas de manejo utilizadas em vinhedos com diferentes históricos de condução na região da Campanha Gaúcha, RS. O estudo foi realizado em áreas de vinhedos no município de Santana do Livramento, onde foram selecionados vinhedos de acordo com seu tempo de cultivo (13, 19 e 36 anos) com coletas realizadas na linha e na entrelinha de plantio. Foi selecionada uma área de campo nativo para ser utilizada como referência. Amostras de Argissolo Vermelho foram coletadas nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm. As amostras foram submetidas às análises de pH em água, índice SMP, teores de carbono orgânico total, teores trocáveis de Al, Ca e Mg e teores disponíveis de P, K, Cu e Zn a partir dos quais estimou-se a capacidade de troca catiônica (CTC_{pH7,0}), V% e Al%. Verificou-se alterações nas propriedades químicas do solo ao longo do tempo. Os valores de pH, Ca, Mg e V% encontram-se adequados para o desenvolvimento das videiras. Constatou-se teores de P acima do limite crítico ambiental. O uso de fungicidas contribuiu com o acúmulo de Cu e Zn nos solos de vinhedos ao longo do tempo.

Palavras chave: *Vitis*, metais pesados, acidez do solo, limite crítico ambiental, plantas de cobertura.

Soil Chemical Properties in Vineyard Areas in the Campanha Gaúcha Region

Abstract

The objective of this work was to evaluate changes in soil chemical attributes resulting from management practices used in vineyards with different management histories in the region of Campanha Gaúcha, RS. The study was carried out in vineyard areas in the municipality of Santana do Livramento, where vineyards were selected according to their cultivation time (13, 19 and 36 years) with collections carried out in the line and between planting lines. A native field area was selected to be used as a reference. Soil samples were collected in layers

of 0-5, 5-10, 10-20 and 20-40 cm, in a Typic Hapludult. The samples were submitted to analyzes of pH in water, SMP index, total organic carbon contents, exchangeable contents of Al, Ca and Mg and available contents of P, K, Cu and Zn from which the cation exchange capacity (CEC_{pH7.0}), V % and Al%. There were changes in the chemical properties of the soil over time. The values of pH, Ca, Mg and V% are adequate for the development of the vines. P levels were found above the environmental critical limit. The use of fungicides contributed to the accumulation of Cu and Zn in vineyard soils over time.

Key words: *Vitis*, heavy metals, soil acidity, environmental critical limit, cover crops.

Introdução

A videira é tradicionalmente cultivada no sul do Brasil, sendo o estado do Rio Grande do Sul (RS) responsável por, aproximadamente, 49% da produção nacional de uvas (IBGE, 2020). Uma das regiões produtoras de uvas viníferas que vem se destacando é a Campanha Gaúcha (MELO; ZALAMENA, 2016), considerada ideal para o cultivo. O município de Santana do Livramento é o maior produtor da região com a produção de 6,9 mil toneladas na safra de 2020, cerca de 10% do total da produção de uvas viníferas do estado.

Os solos do sul do Brasil são naturalmente ácidos (ERNANI et al., 2000; MOREIRA et al., 2001; CQFS-RS/SC, 2016), caracterizados por apresentarem, normalmente, pH inferior a 5,5, formas de alumínio fitotóxico (Al^{+3}) e baixa disponibilidade de nutrientes essenciais às plantas (MALAVOLTA, 1979). Para a videira, a faixa ideal de pH do solo é de 5,5 a 6,5 (CQFS-RS/SC, 2016), o que permite o bom desenvolvimento das plantas. Por isso, para a implantação dos vinhedos são necessárias práticas de manejo, como a calagem e a adubação de pré-plantio, as quais influenciam os atributos químicos do solo.

A calagem eleva o pH, corrigindo a acidez do solo e, como consequência, ocorre a neutralização dos efeitos tóxicos do Al^{+3} às plantas. Um dos corretivos geralmente utilizados é o calcário, que contém altos teores de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) (PARAHYBA, 2009; RAIJ, 2011). Portanto, além de permitir o melhor aproveitamento dos nutrientes pelas culturas, disponibiliza alguns dos nutrientes essenciais para o cultivo (EMBRAPA, 2010).

No entanto, muitas vezes a calagem e adubação são realizadas sem o uso de critérios técnicos adequados, dispensando as análises de solo, que são necessárias para compreender a capacidade de fornecimento de nutrientes pelo solo e estabelecer as doses recomendadas às videiras. Dentre as consequências, estão os desequilíbrios nutricionais (TECCHIO et al., 2007), prejuízos econômicos ao produtor e contaminação ambiental (TEIXEIRA et al.,

2011), que poderiam ser evitados com o reconhecimento da real necessidade das plantas associada a interpretação correta da análise de solo.

O uso de fertilizantes fosfatados e potássicos, especialmente na adubação de pré-plantio, às vezes são aplicados em quantidades acima da necessidade da videira (SCHMITT et al., 2014). Dessa forma, espera-se aumentos nos teores de fósforo (P) e potássio (K) no solo, especialmente nas camadas superficiais, por causa da saturação dos grupos funcionais das partículas reativas do solo, especialmente em solos arenosos e com baixos teores de matéria orgânica, que é o caso dos vinhedos na região da Campanha Gaúcha (MELO et al., 2016; SANTOS et al., 2008).

Em solos arenosos de vinhedos com diferentes tempos de cultivo no sul de Santa Catarina, avaliando Cambissolos Húmicos, Bordallo et al. (2021) constataram maiores valores de pH e teores disponíveis de P, K, Ca, Mg, cobre (Cu), zinco (Zn) e saturação por bases, além de redução da saturação por Al, nos vinhedos com maior histórico de cultivo. Além disso, os teores de P observados encontram-se acima do limite crítico ambiental de P (LCA-P) (GATIBONI et al., 2014), indicando alto potencial de contaminação ambiental por esse elemento nas áreas avaliadas. O Limite Crítico Ambiental de P (LCA-P) baseia-se em uma equação que considera o teor de P disponível (extraído por Mehlich 1) e o teor de argila no solo, resultando na quantidade máxima de P disponível que pode existir no solo sem implicar na contaminação de recursos hídricos.

Além da aplicação excessiva de fertilizantes, as videiras apresentam susceptibilidade a algumas doenças fúngicas foliares que, normalmente, são submetidas ao controle por meio da aplicação de fungicidas que possuem Cu e Zn na sua composição (MACKIE; MUELLER; KANDELER, 2012). Com essas aplicações, ao longo dos anos, ocorre o aumento da concentração desses elementos no solo (CASALI et al., 2008; BRUNETTO et al., 2014), o que pode causar toxidez às plantas (NAGAJYOTI; LEE; SREEKANTH, 2010), retardando o início do período produtivo e atrasando o estabelecimento das mudas no campo (AMBROSINI et al., 2016).

Em geral, são cultivadas plantas de cobertura nas entrelinhas dos vinhedos ou tem-se plantas espontâneas, com manutenção dos resíduos vegetais sobre a superfície do solo. É possível que essa condição favoreça a manutenção dos teores de carbono orgânico total (COT) ou o incremento dos seus teores com o tempo. Devido ao histórico de manejo e adubação nas videiras, espera-se que os valores de pH estejam adequados para a cultura da uva. Espera-se também maiores teores de nutrientes nas camadas superficiais e altos teores

de P e K, devido a adubação e calagem. Além de altos valores de Cu e Zn, devido às aplicações de fungicidas ao longo do tempo.

A falta de critérios técnicos adequados para a calagem e adubação em áreas de vinhedos e a aplicação excessiva de metais pesados via fungicidas ocasionam, com o passar do tempo, alterações nos atributos químicos do solo de vinhedos, podendo apresentar consequências ao cultivo da videira. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar alterações nos atributos químicos do solo provenientes das práticas de manejo utilizadas em vinhedos com diferentes históricos de condução na região da Campanha Gaúcha, estado do Rio Grande do Sul.

Material e Métodos

Para a realização deste estudo foram selecionadas três áreas de vinhedos em Santana do Livramento, na Campanha Gaúcha, no estado do Rio Grande do Sul (RS). O município está localizado em altitude que varia de 162 a 303 m (EMBRAPA, 2012), apresentando médias anuais de precipitação, temperatura e umidade relativa do ar de 1.370 mm, 18,4 °C e 75%, respectivamente. O solo das áreas avaliadas foi classificado como Argissolo Vermelho, apresentando textura arenosa e relevo plano a suave ondulado (SANTOS et al., 2013). Os vinhedos foram selecionados de acordo com seu histórico de cultivo, sendo também selecionada uma área de campo natural (CN), próxima aos vinhedos, para ser utilizada como referência às condições originais do solo.

Os três vinhedos são cultivados com a cultivar Cabernet Sauvignon (*Vitis vinífera*), enxertada sobre o porta-enxerto SO4 (*Vitis berlandieri* x *Vitis riparia*), conduzidos em sistema de espaldeira. Anualmente, em cada vinhedo, aplica-se aproximadamente 9 kg ha⁻¹ de sulfato de Cu e 8 kg ha⁻¹ de hidróxido de Cu, resultando na aplicação anual de 8,79 kg ha⁻¹ de Cu. O vinhedo com menor tempo de cultivo foi implantado em 2004, tendo 13 anos de cultivo (V13) e possui área plantada de 4,73 ha. O vinhedo com tempo intermediário de cultivo foi implantado em 1998, tendo 19 anos de cultivo (V19) e possui área plantada de 5,30 ha. O vinhedo com maior tempo de cultivo foi implantado em 1981, tendo 36 anos de cultivo (V36) e possui área plantada de 6,45 ha. Os vinhedos V13 e V19 apresentam vegetação espontânea nas entrelinhas, dessa forma, o solo foi coletado apenas nas linhas de plantio, enquanto no vinhedo V36, o solo foi coletado nas linhas e nas entrelinhas de plantio (V36EL), onde há o manejo com plantas de cobertura. O objetivo dessa coleta na linha e

entrelinha do V36 foi avaliar o efeito da ausência de plantas de cobertura, nas linhas de plantio das videiras, e a presença de plantas de cobertura, nas entrelinhas de plantio, nos atributos químicos do solo após longo histórico de cultivo. Na área de campo nativo, as principais espécies encontradas são: *Paspalum notatum*, *Paspalum plicatulum*, *Desmodium incanum*, *Ageratum conyzoides* L., *Chevreulia acuminata* Less e *Cyperus brevifolius*. O manejo realizado nos vinhedos incluiu a calagem e adubação com aplicação de 45 kg N ha⁻¹ ano⁻¹, 45 kg P₂O₅ ha⁻¹ ano⁻¹ e 45 kg K₂O ha⁻¹ ano⁻¹. Na linha de plantio das videiras o manejo realizado foi a dessecação, em torno de 50 cm de cada lado, e na entrelinha foi realizada a roçada.

Nas áreas selecionadas foram coletadas amostras de solo, em julho de 2017, nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, com auxílio de uma pá de corte, enxada, espátula e trado holandês, sendo coletadas cinco amostras simples para formar uma composta, perfazendo três repetições em cada área amostrada. Após a coleta, as amostras foram ensacadas, etiquetadas e transportadas para o Laboratório de Solo, Água e Tecidos Vegetais do Departamento de Engenharia Rural da Universidade Federal de Santa Catarina, onde foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira com malha de 2 mm para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA).

A TFSA foi submetida a granulometria e análises químicas, sendo determinados os seguintes parâmetros: pH em água (relação 1:1); índice SMP; teores trocáveis de Al, Ca e Mg (extraídos por KCl 1 mol L⁻¹); teores disponíveis de P, K, Cu e Zn (extraídos por Mehlich 1), conforme descrito em Tedesco et al. (1995); e teores de C orgânico total (COT) conforme descrito em Embrapa (2017). A partir dos dados obtidos, calculou-se a acidez potencial (H+Al), capacidade de troca de cátions potencial (CTC_{pH7,0}), saturação por bases (V%) e por Al (Al%), conforme equações apresentadas pela CQFS-RS/SC (2016). Também foi calculado o potencial de contaminação do solo pelo P, estimado pelo limite crítico ambiental de P (LCA-P) para solos do estado do Rio Grande do Sul, conforme estabelecido por Gatiboni et al. (2020), conforme equação abaixo.

$$LCA - P \text{ [(mg kg)}^{-1}\text{]} = 20 + \%Argila$$

Onde: LCA-P: limite crítico ambiental de P, em mg kg⁻¹; %Argila: teor de argila no solo, em percentagem (%).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância com aplicação do teste F e os valores médios, quando significativos na comparação das áreas na mesma profundidade

e na comparação das profundidades na mesma área, comparados entre si pelo teste Tukey ($p > 0,05$), por meio do software Sisvar (FERREIRA, 2011).

Resultados e Discussão

Os valores de pH em água apresentaram diferença entre as áreas avaliadas, com maiores valores sendo observados nas áreas de vinhedos, na comparação com a área de referência (CN), na maioria das camadas avaliadas (Tabela 1). Os resultados obtidos mostram que nas áreas de vinhedos os valores de pH encontram-se adequados para o bom desenvolvimento das videiras ($\text{pH} > 5,5$) (CQFS-RS/SC, 2016), indicando que as práticas adotadas foram adequadas para manter os valores de pH. Considerando a camada de 0-10 cm, utilizada como camada diagnóstica para avaliar a fertilidade do solo em áreas de pomares já implantados no sul do Brasil (CQFS-RS/SC, 2016), os valores de pH foram 5,5, 6,5, 6,4, 6,6 e 5,9 para as áreas de CN, V13, V19, V36 e V36E, respectivamente.

Tabela 1. Valores de pH em água e saturação por alumínio (Al%) em solos de áreas de vinhedos e campo nativo na região da Campanha Gaúcha (RS).

Camada, cm	Área					CV%
	CN	V13	V19	V36	V36EL	
pH em água (1:1)						
0-5	5,70 aC ⁽¹⁾	6,50 aAB	6,44 aAB	6,68 aA	6,17 abB	2,55
5-10	5,31 bB	6,45 aA	6,38 aA	6,43 aA	5,67 bB	2,63
10-20	5,02 cC	5,70 bB	6,31 aA	5,68 bB	6,24 aAB	3,73
20-40	4,84 cB	5,40 bAB	5,36 bBA	5,12 bB	5,87 abA	3,97
CV%	1,89	3,08	3,17	3,93	3,47	
Al %						
0-5	3,44 bA	0,00 bB	0,00 bB	0,00 bB	0,57 aB	53,2
5-10	12,34 bA	1,36 bB	0,00 bB	2,72 bB	2,14 aB	73,03
10-20	42,70 aA	3,14 bB	3,11 aB	3,05 bB	1,35 aB	17,44
20-40	51,11 aA	9,84 aBC	4,43 aC	22,36 aB	2,87 aC	26,9

CV%	12,7	33,6	51,93	75,05	59,54
-----	------	------	-------	-------	-------

⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna ou maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste Tukey 5%; CN = Campo Nativo (Área de Referência). V13 = Vinhedo com 13 anos de histórico de cultivo; V19 = Vinhedo com 19 anos de histórico de cultivo; V36 = Vinhedo com 36 anos de histórico de cultivo; V36EL = Vinhedo com 36 anos de histórico de cultivo e coleta realizada na entrelinha de plantio.

Pode-se atribuir os menores valores de pH observados no CN ao processo natural de acidificação dos solos brasileiros (ERNANI et al., 2000; MOREIRA et al., 2001), que difere dos solos de vinhedos, uma vez que estes receberam calagem. Esse processo permite a neutralização dos íons H^+ e Al^{3+} , responsáveis pela acidificação do solo e que estão adsorvidos às cargas negativas dos coloides e reduzem a saturação por bases do solo (PARAHYBA, 2009).

Em relação a saturação por alumínio (Al%), as áreas de vinhedos apresentaram os menores valores, quando comparado ao CN, sendo que os maiores valores foram observados nas camadas mais profundas (Tabela 1). Avaliando a camada 0-10 cm, o valor de Al% foi 11 vezes menor, nulo e 6 vezes menor, no V13, V19 e V36, respectivamente, em comparação ao CN. É possível observar que existe uma relação entre a diminuição do pH do solo e o aumento do Al% em profundidade. A presença de Al^{3+} na solução do solo pode causar toxicidade às videiras, afetando seu desenvolvimento radicular e, conseqüentemente, a ciclagem de nutrientes e a proteção do solo (MIGUEL et al., 2010; VIEIRA et al., 2009). Segundo CQFS-RS/SC (2016), valores de Al% acima de 10% podem afetar o desenvolvimento das plantas, como observado no CN e nas camadas mais profundas dos vinhedos, em que o pH é inferior a 5,5.

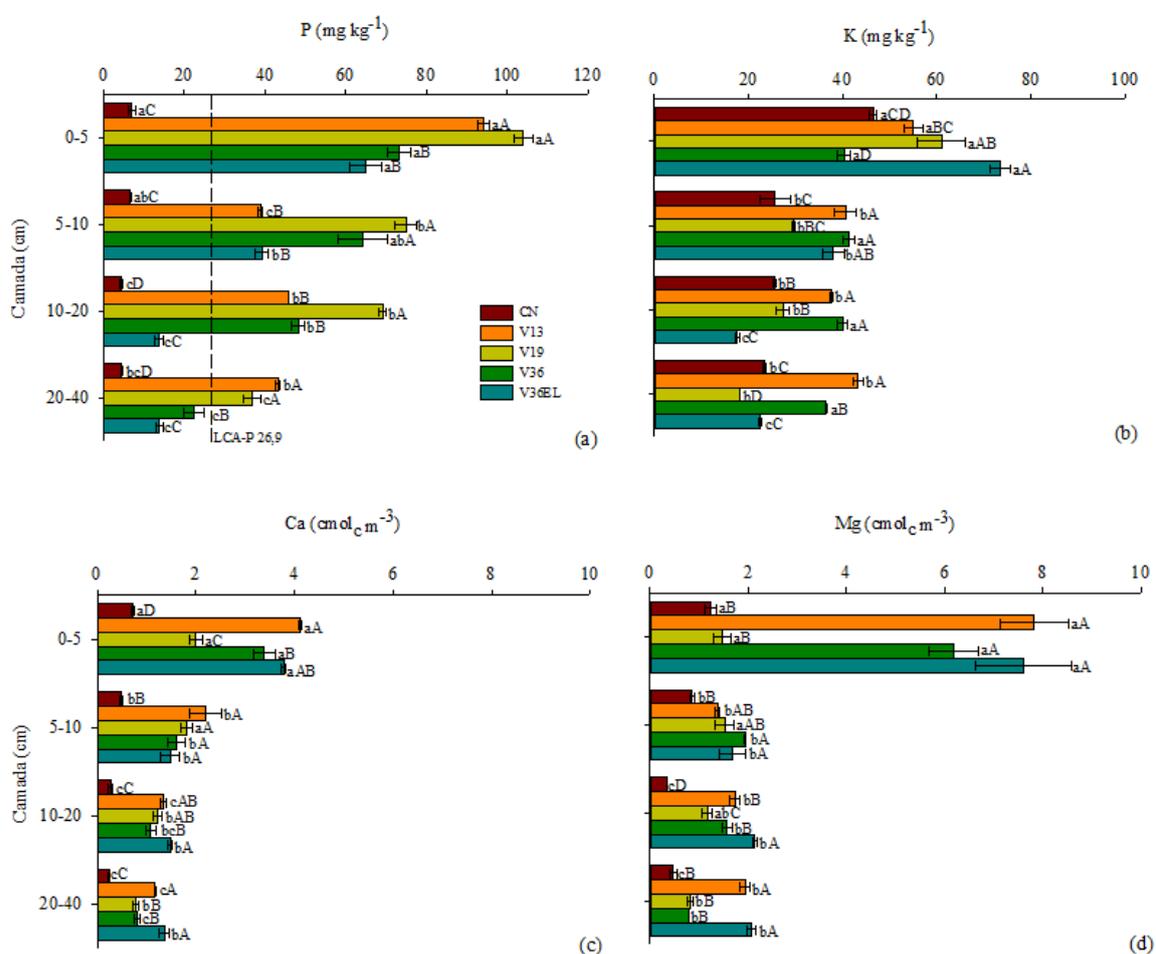
Em trabalho conduzido em áreas de vinhedos no estado de São Paulo, Tecchio et al. (2012) constataram que os níveis de pH também se encontravam adequados ao desenvolvimento das videiras e sem a presença de Al, atribuindo os resultados ao processo da calagem. Em adição, Bordallo et al. (2021) avaliaram três áreas de vinhedos com diferentes históricos de cultivo (22, 36 e 60 anos) em Cambissolo Húmico no sul de Santa Catarina e encontraram maiores valores de pH nas áreas com maiores históricos de cultivo, sendo que as áreas com 36 e 60 anos apresentavam valores de pH superiores a 5,5, adequado ao cultivo das videiras. Em áreas de vinhedos de Anchuras, Espanha, sul da Europa, Jiménez et al. (2022) constataram baixos valores de pH, considerados inadequados para o cultivo da videira, variando de 4,4 a 5,3, determinados na proporção 1:2,5 em solos classificados como

Cambissolos, Luvisolos e Argissolos. Porém, neste trabalho, não foram avaliados os valores referentes ao Al.

Em relação a comparação linha e entrelinha, avaliando o pH do solo, foram observadas diferenças significativas, na camada superficial de 0-10 cm, em que a linha apresentou maiores valores em relação à entrelinha. Essa diferença pode ser atribuída à uma possível aplicação recente de calcário localizada na linha de plantio, permitindo um aumento na camada superficial. Na camada de 20-40 cm, a entrelinha apresentou maiores valores de pH e menores de Al em comparação com a linha. Nesse caso, a calagem inicial, realizada em toda a área, favoreceu o desenvolvimento das raízes das plantas de cobertura alcançando as camadas mais profundas, permitindo uma maior ciclagem de nutrientes (MELO et al., 2016).

Em relação a granulometria, os teores de argila encontrados foram 74 g kg^{-1} , 80 g kg^{-1} , 74 g kg^{-1} e 54 g kg^{-1} para as áreas de CN, V13, V19 e V36, respectivamente. Os maiores teores de P foram observados nas áreas de vinhedos, em todas as camadas avaliadas, sendo que na camada de 0-5 cm os teores variaram de $4,19 \text{ mg kg}^{-1}$, na área de CN, a $104,07 \text{ mg kg}^{-1}$, no V19 (Figura 1a). Em relação a comparação da linha e entrelinha, houve diferença significativa, exceto na camada 0-5 cm, sendo que o solo da linha de plantio apresenta maiores valores de P em comparação com a entrelinha, devido a adubação de manutenção ser realizada apenas na linha de plantio. Considerando a camada de 0-10 cm, utilizada como camada diagnóstica para pomares já implantados no sul do Brasil (CQFS-RS/SC, 2016), todas as áreas de vinhedos avaliadas, com exceção da entrelinha (V36E), apresentam teores de P considerados “muito altos” no solo ($P > 60 \text{ mg kg}^{-1}$ para solos com teores de argila $\leq 20\%$). Isso indica que as adubações realizadas são excessivas e não representam a necessidade nutricional de P das videiras. Cabe lembrar que a adubação nas áreas de vinhedos é realizada em superfície, sem incorporação, para evitar danos mecânicos às raízes. De acordo com Fregoni (1980), o excesso de P no solo pode aumentar a acidez do mosto e causar deficiência de Fe e Zn no solo. Em pomares de maçã, no Sul do Brasil, Schmitt et al. (2014) observaram maiores teores de P extraído por Mehlich-1 nos pomares com maior histórico de cultivo, atribuindo esses resultados à contínua aplicação de fertilizantes fosfatados nas áreas avaliadas.

Figura 1. Teores de P (a), com o valor do Limite Crítico Ambiental - LCA (linha tracejada) e K (b), extraídos por Mehlich 1, e Ca (c) e Mg (d), extraídos por KCl 1 mol L⁻¹, em solos de áreas de vinhedos e campo natural em Santana do Livramento (RS). Médias seguidas pela mesma letra minúscula, entre camadas na mesma área, ou maiúscula, entre as áreas na mesma camada, não diferem entre si pelo teste Tukey 5%. CN = Campo Nativo (Área de Referência). V13 = Vinhedo com 13 anos de histórico de cultivo; V19 = Vinhedo com 19 anos de histórico de cultivo; V36 = Vinhedo com 36 anos de histórico de cultivo; V36EL = Vinhedo com 36 anos de histórico de cultivo e coleta realizada na entrelinha de plantio.



O LCA-P obtido para as áreas avaliadas foi de 26,9 mg kg⁻¹ (GATIBONI et al., 2020). Conforme os teores médios de P disponíveis da camada 0-10 cm, os três vinhedos estão acima desse valor, com 66,5, 89,5, 68,8 e 52,1 mg kg⁻¹, para as áreas V13, V19, V36 e V36E, respectivamente (Figura 1a). Importante destacar também que os teores de P da camada de 10-20 cm também estão acima do LCA-P em todas as áreas de vinhedos. Dessa

forma, é recomendado suspender a aplicação de qualquer tipo de fertilizante fosfatado até que os teores de P retornem a valores abaixo do LCA-P. Resultados semelhantes foram observados por Bordallo et al. (2021) em áreas de vinhedos de Santa Catarina, em que todas as áreas de vinhedos avaliadas apresentavam teores de P disponível acima do LCA-P, os quais são devidos ao uso excessivo de adubação fosfatada nas áreas avaliadas, com efeitos mais acentuados nas áreas com maior tempo de cultivo. No estado de São Paulo, em solos de vinhedos de ‘*Niagara Rosada*’, Tecchio et al. (2012) constataram teores $>300 \text{ mg kg}^{-1}$ de P e associaram esses resultados ao excesso de adubação, realizadas, normalmente, sem levar em consideração os resultados das análises químicas do solo.

Em relação ao K, as áreas V19 e V36EL apresentaram maiores teores em relação à área de referência, enquanto as demais áreas não diferiram do CN (Figura 1b). Em todas as áreas avaliadas, os teores de K foram maiores na camada superficial (0-5 cm), com exceção do V36 que apresentou migração no perfil do solo e teores semelhantes em todas as camadas avaliadas. De acordo com a CQFS-RS/SC (2016), os teores de K encontram-se médios em V19 (K entre 41 e 60 mg kg^{-1} , solos com $\text{CTC}_{\text{pH}7,0} \leq 7,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), enquanto que, nas áreas V13, V36 e V36EL, os teores encontram-se baixos (K $< 60 \text{ mg kg}^{-1}$, solos com faixa de CTC entre $7,6$ e $15 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) (CQFS-RS/SC, 2016)), indicando a necessidade de adubação de manutenção. Analisando a camada de 0-5 cm no V36, houve um incremento de K de 82,4% na entrelinha, quando comparado a linha de plantio. Percebe-se um gradiente mais acentuado da camada superficial para a camada mais profunda, associado aos teores de COT, como pode ser observado na Figura 2. Além disso, a presença de plantas de cobertura e os resíduos da videira, contribuem para a ciclagem e manutenção de K nas camadas mais superficiais do solo (LEHMANN et al., 2016).

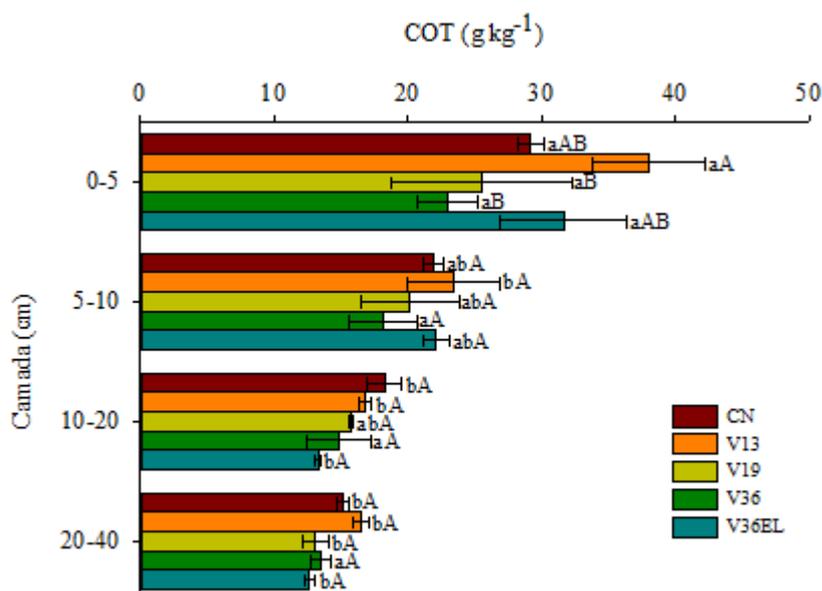
Em todas as áreas os maiores teores de Ca e Mg foram observados na camada de 0-5 cm, sendo que as áreas de vinhedos apresentam valores significativamente mais altos em relação ao CN. O V13 apresentou os maiores teores de Ca e Mg, provavelmente, por ser um vinhedo mais jovem, que recentemente passou pelo processo de calagem. Na comparação entre linha e entrelinha (V36 e V36EL), diferenças significativas foram observadas nas camadas mais profundas, em que a entrelinha apresentou os maiores valores. Na comparação entre camadas, os nutrientes tiveram comportamento similar, os maiores teores foram observados na camada superficial (0-5 cm), na linha ocorreu decréscimo em profundidade e na entrelinha ocorreu a manutenção dos teores em profundidade (5-40 cm). Os teores de Ca e Mg, em todas as áreas de vinhedos avaliadas, encontram-se adequados para o bom

desenvolvimento das videiras ($\text{Ca} > 2,1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e $\text{Mg} > 0,6 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), conforme recomendações da CQFS-RS/SC (2016) (Figura 1c, 1d). Isso normalmente é observado nas áreas de vinhedos devido a correção do pH do solo com o uso de calcário dolomítico, que possui Ca e Mg na sua composição (PARAHYBA, 2009).

Avaliando solos de vinhedos, Tecchio et al. (2012), em São Paulo, e Bordallo et al. (2021), em Santa Catarina, constataram altos teores de Ca e Mg ($\text{Ca} > 4,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e $\text{Mg} > 1,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, na camada 0-10 cm), sendo o último com efeitos mais acentuados nas áreas com maior tempo de cultivo.

Os maiores teores de COT foram observados na camada superficial (0-5 cm) em todas as áreas avaliadas (Figura 2). Em geral, os teores de COT nas áreas cultivadas foram semelhantes aos teores na área de referência, demonstrando que ocorreu manutenção de COT nos vinhedos e baixa degradação da MOS por meio das práticas de manejo utilizadas. A entrelinha apresentou maiores teores de COT em relação a linha na camada superficial, devido a presença de plantas de cobertura que permitem a manutenção dos resíduos vegetais sobre o solo e, conseqüentemente, um maior aporte de carbono (LEHMANN et al., 2016; MELO; ZALAMENA, 2016).

Figura 2. Teores de Carbono Orgânico Total (COT) em solos de áreas de vinhedos e campo nativo em Santana do Livramento (RS). Médias seguidas pela mesma letra minúscula, entre camadas na mesma área, ou maiúscula, entre as áreas na mesma camada, não diferem entre si pelo teste Tukey 5%. CN = Campo Nativo (Área de Referência). V13 = Vinhedo com 13 anos de histórico de cultivo; V19 = Vinhedo com 19 anos de histórico de cultivo; V36 = Vinhedo com 36 anos de histórico de cultivo; V36EL = Vinhedo com 36 anos de histórico de cultivo e coleta realizada na entrelinha de plantio.



As áreas de vinhedos apresentaram os maiores valores de $CTC_{pH7,0}$ em relação a área de CN, com exceção do V19 que não diferiu da área de referência (Tabela 2). Na comparação entre as camadas, os maiores valores foram observados na camada superficial (0-5 cm), exceto o V19 que não apresentou diferenças significativas nos primeiros 20 cm (Tabela 2). Não foram observadas diferenças significativas entre os valores da linha de plantio e a entrelinha. Os valores de $CTC_{pH7,0}$ são considerados médios em V13 e V36 (solos com faixa de $CTC_{pH7,0}$ entre 7,6 e 15,0 $cmol_c dm^{-3}$ (CQFS-RS/SC, 2016)), enquanto CN e V19 apresentaram valores considerados baixos (solos com faixa de $CTC_{pH7,0} \leq 7,5 cmol_c dm^{-3}$) (CQFS-RS/SC, 2016). Isso ocorre, pois para o cálculo da $CTC_{pH7,0}$, são utilizados os teores de Ca e Mg, os quais foram menores no V19 em comparação às outras áreas de vinhedos. Em geral, os valores nas áreas de vinhedos se devem à adição de adubos e corretivos ao solo

como fonte de K, Ca e Mg, uma vez que os solos da Campanha Gaúcha são arenosos (MELO et al., 2016) e possuem baixa CTC, como é possível observar na área de referência.

Tabela 2. Valores de capacidade de troca de cátions a pH 7,0 (CTC_{pH7}) e saturação por bases (V%) em solos de áreas de vinhedos e campo nativo em Santana do Livramento (RS).

Camada, cm	Área					CV%
	CN	V13	V19	V36	V36EL	
$CTC_{pH7,0}$ ($cmol_c\ dm^{-3}$)						
0-5	3,86 aB	13,70 aA	5,49 aB	10,99 aA	13,39 aA	13,06
5-10	3,53 abB	5,38 bA	4,93 abAB	5,02 bA	5,22 bA	10,91
10-20	3,23 bC	5,30 bA	4,10 abB	4,65 bAB	5,05 bA	6,53
20-40	3,97 aBC	6,34 bA	3,52 bC	5,22 bABC	5,35 bAB	13,26
CV%	5,76	10,42	15,83	11,83	14,53	
V%						
0-5	53,9 aC	88,2 aA	66,7 aB	88,1 aA	86,5 aA	5,68
5-10	40,3 bB	68,3 bA	69,2 aA	72,9 abA	61,9 bA	9,13
10-20	20,8 cB	59,9 bcA	60,3 aA	60,0 bA	72,5 bA	13,62
20-40	19,3 cC	51,0 cAB	49,4 aAB	33,0 cBC	65,2 bA	18,85
CV%	10,42	8,81	16,77	10,06	7,14	

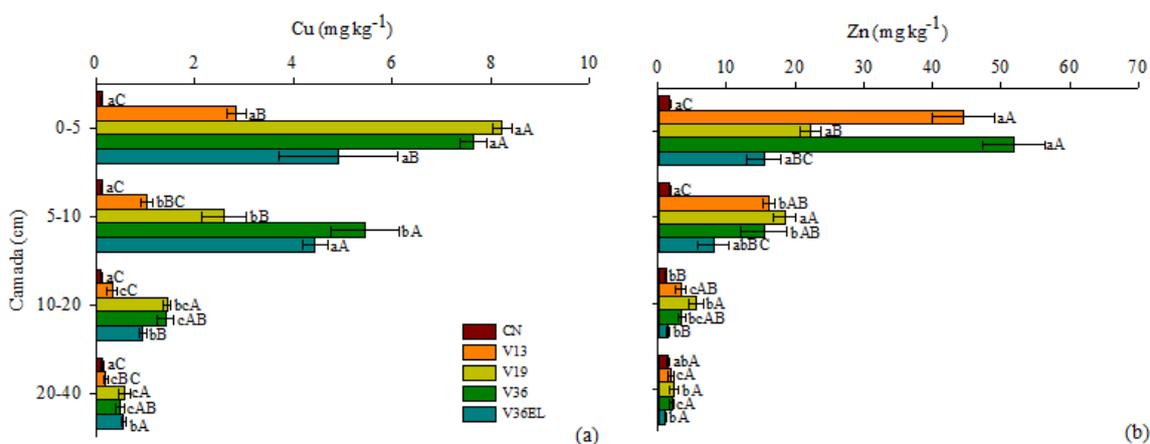
⁽¹⁾Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna ou maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste Tukey 5%; CN = Campo Nativo (Área de Referência). V13 = Vinhedo com 13 anos de histórico de cultivo; V19 = Vinhedo com 19 anos de histórico de cultivo; V36 = Vinhedo com 36 anos de histórico de cultivo; V36EL = Vinhedo com 36 anos de histórico de cultivo e coleta realizada na entrelinha de plantio.

Os maiores valores de V% foram observados nas áreas de vinhedos, principalmente, na camada de 0-20 cm do solo (Tabela 2). Observou-se a diminuição dos teores de V% ao longo do perfil do solo em todas as áreas. Não foram observadas diferenças significativas entre os valores da linha de plantio e a entrelinha, exceto na camada de 20-40 cm, em que o solo da entrelinha apresentou maiores valores em relação ao solo da linha de plantio. A presença de plantas de cobertura pode ter permitido a manutenção dos valores em profundidade por conta do sistema radicular que promove a ciclagem de nutrientes (LEHMANN et al., 2016). Nas áreas de vinhedos foram observados os maiores valores de V% especialmente pelo histórico de aplicação de calcário que é fonte de Ca e Mg (RAIJ,

2011) e, também, por conta dos maiores valores de pH que contribuem com maior adsorção destes nutrientes (PAVINATO; ROSOLEM, 2008).

Os maiores teores de Cu e Zn foram observados na camada superficial em todas as áreas de vinhedos (Figura 3). Para Cu, o V19 e o V36 apresentaram os maiores teores em relação às demais áreas. Para Zn, os maiores teores foram observados no V13 e o V36 em relação às demais áreas. Houve diminuição dos teores em profundidade, que no caso do Cu, pode estar associado a redução do pH e da matéria orgânica do solo em profundidade, diminuindo também a capacidade de adsorção deste metal (GIROTTI, 2010), já o Zn possui grande afinidade pela ligação com grupos funcionais de argilominerais que se concentram em superfície (FERNÁNDEZ-CALVIÑO et al., 2012). É possível observar incrementos superiores a 50%, no caso do Cu, e 200%, no caso do Zn, quando comparado o V36 ao V36EL (Figura 3a e b, respectivamente). Ou seja, os maiores teores desses metais foram observados na linha de plantio, devido a aplicação foliar de fungicida nas videiras. Normalmente a chuva carrega o fungicida das folhas para o solo, afetando principalmente a linha de plantio, a entrelinha é menos afetada devido a proteção do solo com plantas de cobertura, em que a lixiviação é menor e a ciclagem de nutrientes é mais eficiente (MELO et al., 2016). As áreas de vinhedos apresentaram altos teores de Cu ($\text{Cu} > 0,4 \text{ mg kg}^{-1}$), de acordo com CQFS-RS/SC (2016) (Figura 3a). A Figura 3b mostra que as áreas de vinhedos apresentaram altos teores de Zn em todas as camadas ($\text{Zn} > 0,5 \text{ mg kg}^{-1}$), de acordo com CQFS-RS/SC (2016).

Figura 3. Teores de Cu e Zn extraídos por Mehlich 1 em solos de áreas de vinhedos e campo nativo em Santana do Livramento (RS). Médias seguidas pela mesma letra minúscula, entre camadas na mesma área, ou maiúscula, entre as áreas na mesma camada, não diferem entre si pelo teste Tukey 5%. CN = Campo Nativo (Área de Referência). V13 = Vinhedo com 13 anos de histórico de cultivo; V19 = Vinhedo com 19 anos de histórico de cultivo; V36 = Vinhedo com 36 anos de histórico de cultivo; V36EL = Vinhedo com 36 anos de histórico de cultivo e coleta realizada na entrelinha de plantio.



Os elevados teores de Cu e Zn no solo devem-se à presença desses metais na formulação dos fungicidas foliares utilizados pelos viticultores que, com o passar das safras, acumulam-se no solo devido às perdas na aplicação ou pela lavagem por meio da chuva (BORDALLO et al., 2021; BRUNETTO et al., 2014). Os incrementos de Cu na comparação entre as áreas na camada 0-5 cm foram muito expressivos, representando um acréscimo de 21 a 63 vezes o valor da área de referência que foi de 0,13 mg kg⁻¹ (os valores foram de 2,85 no V13 até 8,23 mg kg⁻¹ no V36, respectivamente). Os incrementos de Zn, na comparação entre as áreas na camada 0-5 cm, representaram acréscimos de 12 a 28 vezes em relação ao teor da área de referência que foi de 1,79 mg kg⁻¹ (os valores foram de 22,42 no V19 até 51,83 mg kg⁻¹ no V36, respectivamente). Os vinhedos com maior tempo de cultivo apresentaram maiores teores de Cu e Zn, principalmente nas camadas mais superficiais, apresentando baixa mobilidade a partir de 10 cm. O mesmo foi observado por Brunetto et al. (2014) e por Bordallo et al. (2021) em áreas de Cambissolo Húmico com, respectivamente, 10 e 60 anos de cultivo em vinhedos de SC.

Conclusões

Os valores de pH, Ca, Mg e V% encontrados nessas áreas de vinhedos são considerados adequados para o bom desenvolvimento das videiras, indicando que as práticas de manejo adotadas foram adequadas para a manutenção dos valores dos atributos químicos do solo.

Os teores de COT das áreas de vinhedos são similares aos da área de referência, indicando que as práticas adotadas ao longo do cultivo e o manejo de plantas de cobertura na entrelinha, favoreceu a manutenção dos atributos dentro do sistema.

Os maiores teores de nutrientes no solo foram encontrados na linha de plantio, na camada de 0-20 cm, em função da localização da adubação de manutenção dos vinhedos. Em todas as áreas, os teores de K no solo indicam a necessidade de adubação de manutenção. Constatou-se teores elevados de P devido ao excesso de adubação, realizadas, normalmente, sem levar em consideração os resultados das análises químicas do solo e a necessidade das culturas.

Os teores elevados de P no solo observados nas áreas de vinhedos estão acima do LCA-P estabelecido, caracterizando-as com alto risco de contaminação ambiental. Portanto, deve-se suspender a aplicação de qualquer tipo de fertilizante fosfatado até que este retorne aos teores de P adequados.

Além disso, existe um acúmulo de Cu e Zn nos solos de áreas vinícolas do RS ao longo do tempo que está relacionado ao uso de fungicidas.

Considerações finais

Dentre as alternativas que podem minimizar esses impactos, está o reconhecimento da real necessidade de nutrientes pelas plantas associada a interpretação correta da análise de solo. Para isso, uma ferramenta técnica disponível que auxilia é o Manual de Adubação e Calagem para o estado do RS. Além disso, a busca insumos aliando eficiência ao custo-benefício, sem extrapolar as quantidades necessárias. Outra alternativa é o manejo de plantas de cobertura que, como observado neste trabalho, permite uma contribuição para o sistema. Em relação ao acúmulo de metais no solo, uma alternativa a ser considerada é a substituição dos fungicidas utilizados por outros similares, porém que não apresentem Cu e Zn em sua composição.

Referências

AMBROSINI, V. G et al; Impacto do excesso de cobre e zinco no solo sobre videiras e plantas de cobertura. In: MELO, G. W. B. de; ZALAMENA, J.; BRUNETTO, G.; CERETTA, C. A. **Calagem, adubação e contaminação em solos cultivados com videiras**. Bento Gonçalves, RS: Embrapa uva e Vinho, p. 91-110, 2016. (Embrapa uva e Vinho. Documentos, 100).

BORDALLO, S.U. et al. Soil chemical properties in vineyard areas in the southern region of the state of Santa Catarina, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.56, e01548, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1678-3921pab2021.v56.01548X>.

BRUNETTO, G. et al. Frações de cobre e zinco em solos de vinhedos no Meio Oeste de Santa Catarina. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.18, n.8, p.805–810, 2014.

CASALI, C. A. et al. Formas e dessorção de cobre em solos cultivados com videira na Serra Gaúcha do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1479-1487, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF : Embrapa, 2017. 574 p. : il. color. ISBN 978-85-7035-771-7

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA FLORESTAS. **Atlas Climático da Região Sul do Brasil**: Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Brasília – DF, 2012, 2 ed. 333p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA SEMIÁRIDO. **Sistema de Produção: cultivo da videira**. 2010, 2 ed.

ERNANI, P. R. et al. Influência da combinação de fósforo e calcário no rendimento de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 3, 2000.

FERREIRA, D.F. **Sisvar: a computer statistical analysis system**. Ciência e Agrotecnologia (UFPA), v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

FERNÁNDEZ-CALVIÑO et al; Zinc distribution and acid-base mobilisation in vineyard soil and sediments. **Science of the Total Environment**, v.414, p.470-479, 2012.

FREGONI, M. **Nutrizione e fertilizzazione della vite**. Bologna: Edagricole, 1980. 418p.

GATIBONI et al; Establishing environmental soil phosphorus thresholds to decrease the risk of losses to water in soils from Rio Grande do Sul, Brazil. **Rev Bras Cienc Solo**. 2020;44:e0200018.

GATIBONI, L.C.; SMYTH, T.J.; SCHMITT, D.E.; CASSOL, P.C.; OLIVEIRA, C.M.B. de. **Proposta de limites críticos ambientais de fósforo para solos de Santa Catarina**. Lages: UDESC/CAV, 2014. (Boletim técnico, 2).

GIROTTI, E. **Alterações fisiológicas e bioquímicas em plantas cultivadas em solos com acúmulo de cobre e zinco**. Santa Maria: UFSM, 2010. 147p. Tese Doutorado.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **Evolução anual da área plantada e da quantidade produzida de uva 2000-2015 - BR e RS**. Produção Agrícola Municipal, Rio Grande do Sul, 2020.

JIMÉNEZ-BALLESTA, R. et al. Characteristics of vineyard soils derived from Plio-Quaternary landforms (raña or rañizo) in southern Europe. **European Journal of Soil Science**, 73(4), e13291, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1111/ejss.13291>

LEHMANN, D.H. et al. Cobertura do solo em vinhedos modifica os atributos do solo e o estado nutricional das videiras. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.15, p.198-207, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5965/223811711532016198>.

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. ABC da adubação. 4. ed. São Paulo, **Agronômica Ceres**, 1979. 256p.

MELO, G. W.; ZALAMENA, J. **Retrato da Fertilidade de Solos Cultivados com Videira nas Regiões da Serra e Campanha Gaúcha**. Embrapa Uva e Vinho - Bento Gonçalves, RS, 2016. (Comunicado Técnico, 181)

MELO et al. **Calagem, Adubação e Contaminação em Solos Cultivados com Videiras**. Bento Gonçalves, RS: Embrapa Uva e Vinho, 2016. 138 p. : il. color. (Documentos, 100). ISSN 1516-8107

MIGUEL, P. S. B. et al. Efeitos tóxicos do alumínio no crescimento das plantas: mecanismos de tolerância, sintomas, efeitos. **CES Revista**, v. 24, Juiz de Fora, 2010.

MOREIRA, S. G. et al. Calagem em sistema de semeadura direta e efeitos sobre a acidez do solo, disponibilidade de nutrientes e produtividade de milho e soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 1, 2001.

NAGAJYOTI, P. C.; LEE, K. D.; SREEKANTH, S. V. M. Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review. **Environmental Pollution**, v.8, p.199-216, 2010.

PARAHYBA, R. E. Calcário agrícola. *In*: Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM. **Economia Mineral do Brasil**. Brasília-DF: DNPM, 2009, p. 536-545.

PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. **Disponibilidade de nutrientes no solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais**. Rev. Bras. Ciênc. Solo vol.32 no.3 Viçosa May/June 2008.

RAIJ, B. Van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: IPNI, 420 p. 2011.

SANTOS et al. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.2, p.576-586, mar-abr, 2008. ISSN 0103-8478

SANTOS, H. G. et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília. 2013. 306p.

SCHMITT, D. E. et al. Phosphorus fractions in the vineyard soil of the Serra Gaúcha of Rio Grande do Sul, Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.2, p.134–140, 2014. ISSN 1807-1929.

CQFS-RS/SC SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO - SBSC. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Porto Alegre: Núcleo Regional Sul, 10 ed, Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2016. 376 p.

TECCHIO, M. A. et. al. Características físicas e acúmulo de nutrientes pelos cachos de ‘Niagara Rosada’ em vinhedos na região de Jundiá. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 29, n. 3, p. 621-625, 2007.

TECCHIO, M. A. et al. Atributos químicos do solo em vinhedos de ‘Niagara Rosada’ nas regiões de Jundiá, São Miguel Arcanjo e Jales. **Ambiência - Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais** V. 8 N. 2 Maio/Ago.2012. ISSN 1808 - 0251 DOI:10.5777

TEDESCO, M.J. et al. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5).

TEIXEIRA, L. A. J. et. al. Alterações em atributos químicos de um solo submetido à adubação e cultivado com videira ‘Niagara Rosada’. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 33, n. 3, p. 983-992, 2011.

VIEIRA, F.C.B. et al. Speciation of aluminum in solution of an acidic sandy soil amended with organic composts. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.40, p.2094-2110, 2009.

ZALAMENA, J. **Plantas de cobertura na redução do vigor da videira em solo com alto teor de matéria orgânica**. Tese (Doutorado em Manejo do Solo). Lages. UDESC/CAV. 73f. 2012.